



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών

Γραφικές Τέχνες Πολυμέσα

Διπλωματική Εργασία

Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Αντώνης Κιουρτσόγλου

Επιβλέπων καθηγητής : Σπυρίδων Σιάκας  
Συνεπιβλέπουσα καθηγήτρια : Δημητριάδη Νεφέλη

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2020

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Αντώνη Κιουρτσόγλου που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα. Ο συγγραφέας διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

*Στη Μαρία*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	6
Abstract.....	8
1. Εισαγωγή.....	10
1.1 Σκοπός.....	10
1.2 Ερευνητικά ερωτήματα.....	10
1.3 Προηγούμενες έρευνες – Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	10
1.4 Τεκμηρίωση της ανάγκης για την παρούσα έρευνα.....	16
2 Τεχνολογίες κατασκευής μέσω H/Y.....	17
2.1 Ψηφιακές τεχνολογίες.....	17
2.2 CAD-CAM / CNC–machining.....	18
2.3 Additive Manufacturing.....	24
2.3.1 Τεχνολογίες Προσθετικής Κατασκευής.....	26
2.4 Συγκρίνοντας Additive Manufacturing και Subtractive Manufacturing (CNS vs AM).....	28
2.4.1 Συμπεράσματα – Επιλογή Τεχνολογίας κατασκευής.....	31
2.5 Επιλογή κατάλληλης AM τεχνολογίας.....	32
2.5.1 SLS τεχνολογία.....	33
2.5.2 FDM τεχνολογία.....	34
2.5.3 SLA τεχνολογία.....	35
2.5.4 DLP τεχνολογία.....	36
2.5.5 Συγκρίσεις τεχνολογιών Προσθετικής Κατασκευής.....	37
2.5.6 Σκέψεις και διαπιστώσεις, σχετικά με τις τεχνολογίες AM που εξετάσαμε.....	38
2.5.7 Συμπερασματικά με τις τεχνολογίες 3D Printing.....	42
3 Τεχνολογίες 3D CAD – modelling.....	43
3.1.1 Παραμετρική Μοντελοποίηση.....	44
3.1.2 direct modeling.....	45
3.1.3 polygonal modeling (πολυγωνική μοντελοποίηση).....	46
3.1.4 Modelling με NURBS.....	48
3.1.5 3D sculpting modelling.....	50
3.2 Επιλογή λογισμικού 3D modelling.....	51
4 Παραδοσιακή διαδικασία κοσμήματος με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.....	54
4.1 Συρρίκνωση λόγω καλουπιών.....	61
5 Μελέτη περίπτωσης.....	64
5.1.1 Μοναδικό αντικείμενο- πρωτότυπο.....	67
5.1.2 Παραγωγική Εκδοχή.....	78
5.1.3 Συμπεράσματα από τη συγκεκριμένη διαδικασία.....	90
6 Συμπεράσματα.....	92
6.1 Ως προς την επιλογή ψηφιακής τεχνολογίας.....	92
6.1.1 Επιλογή ψηφιακής τεχνολογίας κατασκευής.....	92

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

6.1.2 Επιλογή τεχνολογίας 3D Printer.....	93
6.1.3 Η καλύτερη και πιο οικονομική ίσως τεχνολογία όσον αφορά τις προδιαγραφές της εργασίας μας, είναι εκείνη του Φωτοπολυμερισμού (Vat Photopolymerization) (SLA και DLP) .....	93
6.1.4 Επιλογή τεχνολογίας 3D CAD.....	93
6.2 Διαφοροποιήσεις που φέρνει η Ψ.Τ. στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διακίνηση των δημιουργιών.....	94
6.2.1 Ως προς την παραγωγή και τη διακίνηση των δημιουργιών.....	95
6.2.2 Ως προς το αισθητικό κομμάτι (σχεδιασμός).....	96
6.3 Αντιμετώπιση από Οίκους κοσμήματος.....	97
7 Βιβλιογραφικές αναφορές.....	99

## Περίληψη

Οι ψηφιακές τεχνολογίες, οι οποίες εξελίσσονται ραγδαία ακόμα και τη στιγμή που γράφονται αυτές οι γραμμές, χρησιμοποιήθηκαν από νωρίς στην κοσμηματοποιία και τη μικρογλυπτική.

Η χρήση μηχανημάτων που ελέγχονται από υπολογιστή, αναβάθμισαν την διαδικασία της παραδοσιακής χύτευσης με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.

Παραδοσιακά, η κατασκευή ενός κοσμήματος απαιτούσε ο σχεδιαστής να σκαλίσει την αρχική ιδέα (το αρχικό σχέδιο), στο κερί με το χέρι, να βγάλει γύψινο καλούπι με τη μέθοδο του χαμένου κεριού και τελικά να χυτεύσει το λειωμένο μέταλλο.

Με τη χρήση 3D CAD και 3D CAM – 3D printer, δημιουργείται το αρχικό μοντέλο ψηφιακά και κατόπιν ακολουθεί η παραδοσιακή συνέχεια της χύτευσης.

Με τις ψηφιακές τεχνολογίες, μειώνεται σημαντικά η ανάγκη για χειρονακτική εργασία, καθώς το αρχικό κέρινο μοντέλο δημιουργείται με τη χρήση μηχανήματος (τριδιάστατο εκτυπωτή ή CNC μηχανήμα ) το οποίο ‘διαβάζει’ το ψηφιακό μοντέλο με το οποίο το έχουμε τροφοδοτήσει.

Το ψηφιακό αυτό μοντέλο μπορεί να έχει δημιουργηθεί στον υπολογιστή, είτε με τη χρήση ενός τρισδιάστατου προγράμματος (όπως θα μας απασχολήσει στην εργασία μας), είτε με τη χρήση ενός Τρισδιάστατου Σαρωτή ( 3D Scanner), είτε με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας (Photogrammetry).

Το αρχικό σχέδιο είναι πολύ εύκολο να το αποθηκεύσουμε, να το τροποποιήσουμε ή να το ξαναχρησιμοποιήσουμε εάν χρειαστεί. Η ακολουθία 3D CAD , 3DCAM έχει μειώσει την κομβικότητα του εργαστηρίου με ότι οφέλη συνεπάγεται αυτό (οικονομικά, περιβαλλοντικά κτλ).

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται σε κάποιον που δεν επιθυμεί ή δεν μπορεί ακόμα να έχει εργαστηριακή υποδομή:

- σχεδιαστής που θέλει να αναλάβει την παραγωγή και διακίνηση των δημιουργιών του.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

- κοσμηματοποιός που είναι στην αρχή της καριέρας του,ή/και
- ερασιτέχνης που φιλοδοξεί να γίνει επαγγελματίας
- δημιουργός που θα δουλέψει με e-shop

Με ποια κριτήρια πρέπει να επιλέξει και ποιά ψηφιακή τεχνολογία;

Ποια είναι τα υπέρ και ποια τα κατά;

Τι εναλλακτικές δυνατότητες υπάρχουν στη διακίνηση των δημιουργιών του;

Παράλληλα, οι παραδοσιακοί μεγάλοι οίκοι, επενδύουν στην ψηφιακή τεχνολογία του σήμερα μόνο ενσωματώνοντας τη στις παραδοσιακές τεχνικές, ή επενδύουν και σε μελλοντικές τεχνολογίες ;

### ***Λέξεις Κλειδιά***

Ψηφιακός τρισδιάστατος σχεδιασμός, τρισδιάστατο κόσμημα, τρισδιάστατη εκτύπωση

## From the 3D design to the 3D printing and the implementation *The application in jewelry and microsculpture*

### **Abstract**

Digital technologies, which are being evolved rapidly nowadays, were used early on in the fields of jewelry and microsculpture. CNC milling and especially 3d printing, upgraded the traditional casting with the method of lost wax. The traditionally process of jewellery making, required from the designer to hand-carve the original idea (the original design) in wax, to make a plaster mold by the method of the lost wax and finally to cast molten metal. Using 3D CAD and 3D CAM - 3D printer, the original model is created digitally and then the traditional continuation of the casting is followed.

With digital technologies, the need for manual labor is significantly reduced, as the original wax model is created using a machine (3D printer or CNC machine) that 'reads' the digital model with which we have powered it. This digital model can be created on the computer, either by using a 3D program (as we will be busy in our process), or by using a 3D Scanner, or by the method of Photogrammetry. The digital model, is easily being 'stored', modified or re-used when it is needed.

The sequence, 3D CAD - 3DCAM has reduced the centrality of the laboratory with all the benefits it entails (financially, environmentally, etc.)

This paper focuses on someone who does not want or may not yet have a laboratory infrastructure:

- a designer who wants to undertake the production and distribution of his own creations
- a jeweller who is at the beginning of his work



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

- an amateur who aspires to become a professional
- a creator who will work through e-shop

On what criteria must he choose and which kind of digital technology? What are the pros and cons?

What alternatives are there in the distribution of his creations?

Simultaneously, the traditional big brands invest only to today's digital technology , integrating it in traditional techniques, or do they also invest in future technologies?

### ***Keywords***

3D modelling, 3D jewellery, 3D printing, Additive Manufacturing

## **1. Εισαγωγή**

### **1.1 Σκοπός**

Η παρούσα εργασία, έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό των παραμέτρων της 3D σχεδίασης κοσμημάτων και μικρογλυπτών, με σκοπό την τρισδιάστατη εκτύπωση και την τελική υλοποίηση της ιδέας.

Προκύπτουν κάποιοι επιπλέον στόχοι

- ο προσδιορισμός των ποιοτικών παραμέτρων επιλογής ψηφιακής τεχνολογίας σχεδιασμού και κατασκευής κοσμημάτων και μικρογλυπτών
- η διερεύνηση της επίδρασης της ψηφιακής τεχνολογίας στο σχεδιασμό και την κατασκευή κοσμημάτων και μικρογλυπτών.

### **1.2 Ερευνητικά ερωτήματα**

Από τους παραπάνω στόχους, προκύπτουν τα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

1. Με ποιο τρόπο, η ακολουθία 3d CAD - 3d Printing, μπορεί να διαφοροποιήσει ( επεκτείνει, αναβαθμίσει ή και να υποβαθμίσει ) κομμάτια της διαδικασίας;
2. Ποιές οι ανατροπές που φέρνει στην διακίνηση των δημιουργιών;
3. Σε τι βαθμό έχει γίνει αποδεκτή από τούς παραδοσιακούς μεγάλους οίκους κοσμήματος; Εκμεταλλεύονται την ψηφιακή τεχνολογία του σήμερα μόνο ενσωματώνοντας τη στις παραδοσιακές τεχνικές, ή επενδύουν και σε μελλοντικές τεχνολογίες ;

### **1.3 Προηγούμενες έρευνες – Βιβλιογραφική ανασκόπηση**

Η παρούσα εργασία, έχει ως σκοπό να προσδιορίσει τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την 3d σχεδίαση κοσμημάτων και μικρογλυπτών, με σκοπό την τρισδιάστατη εκτύπωση και την τελική υλοποίηση της ιδέας. Η τελική υλοποίηση της ιδέας περιλαμβάνει από τη μία το τρισδιάστατο αντικείμενο που μπορεί να είναι ένα

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

μοναδικό αντικείμενο αλλά και την περίπτωση, όπου το αντικείμενο θα βγει στην παραγωγή (παραγωγικό κόσμημα-μικρογλυπτό).

Επειδή το θέμα έχει να κάνει με τεχνολογίες πληροφορικής που βρίσκονται σε εξέλιξη, αλλά και με μία διαδικασία που περιλαμβάνει παραδοσιακές διαδικασίες χύτευσης, ήταν απαραίτητο να γίνει μία εκτεταμένη βιβλιογραφική έρευνα, σε πολλές πηγές που περιλαμβάνουν τις πιο πρόσφατες εξελίξεις στο πεδίο.. Η έρευνα επεκτάθηκε σε βιβλία, άρθρα, ιστότοπους, white papers, blogs, και εμπορικές παρουσιάσεις.

Η σχεδίαση και κατασκευή με τη χρήση Η/Υ, έχει απασχολήσει πολλούς επιστήμονες, οικονομολόγους, επαγγελματίες στο χώρο του σχεδιασμού και της κατασκευής, κ.ά.

Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε, ότι η Προσθετική Κατασκευή, δεν είναι μία μόνη τεχνολογία, <<αλλά ότι υπάρχει μία πληθώρα διαφορετικών τεχνολογιών, διαφορετικής ωριμότητας, που χρησιμοποιούν διαφορετικά υλικά και με διαφορετικά αποτελέσματα από άποψη ποιότητας>> όπως εύστοχα σημειώνουν οι Ford, Mortara & Minshall (2016). Η Προσθετική Κατασκευή επιτρέπει περισσότερη σχεδιαστική ελευθερία και κατασκευαστική ευελιξία (Balletti, Ballarin & Guerra, 2017) .

Γιαυτό και καθώς εξελίσσεται, την έχουν υιοθετήσει εξειδικευμένες βιοτεχνίες που παράγουν σε μικρές ποσότητες αλλά υψηλής αξίας, αντικείμενα. Μέσα σε αυτές περιλαμβάνονται και παραδοσιακές εφαρμοσμένες τέχνες όπως η κοσμηματοποιία (Ford κ.ά., ό.π.).

Στο σύγγραμμα « Σύγχρονες Τεχνολογίες Κατασκευής με τη βοήθεια Η/Υ» (Γιαννατσής, Δεδούσης, & Κανελλίδης, 2015) αναλύονται διάφορες μέθοδοι μορφοποίησης και κατασκευής, μέσω Η/Υ.

Οι συγγραφείς αναλύουν την ‘παραδοσιακή’ μέθοδο αφαίρεσης υλικού (Subtractive Manufacturing) με NC (Numerical Control) μηχανήματα αρχικά, και στη συνέχεια την είσοδο του υπολογιστή, με τα μηχανήματα CNC (Computer Numerical Control).

Τα τελευταία χρησιμοποιούνται επίσης στο κόσμημα και στα μικροαντικείμενα, πράγμα στο οποίο θα αναφερθούμε αργότερα στη συγκεκριμένη εργασία.

Οι συγγραφείς κάνουν και μία αρκετά αναλυτική αναφορά στα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα των μεθόδων προ και μετά την είσοδο του Η/Υ από μία καθαρά

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

μηχανολογική – επαγγελματική οπτική γωνία. Η οποία πάντως, μας βοηθάει να βγάλουμε γενικά συμπεράσματα.

Στη συνέχεια παρουσιάζουν την ‘αντίπαλη’ τεχνολογία, την Προσθετική Κατασκευή (Additive Manufacturing), τόσο εξηγώντας τη διαδικασία και τα στάδια που απαιτεί όσο και αναλύοντας τις διαφορετικές τεχνολογίες που εμπεριέχει σημειώνοντας τα μειονεκτήματα - αδυναμίες που συναντούν, πάλι από μία μηχανολογική-επιστημονική οπτική γωνία, η οποία όμως δίνει πολλές και χρήσιμες πληροφορίες σε κάθε μελλοντικό χρήστη.

Στην εργασία «Τρισδιάστατη εκτύπωση: Τεχνολογίες, πεδία εφαρμογής, προκλήσεις. Μελέτη δυνατοτήτων ένταξης στον τομέα της χειροτεχνίας και της καλλιτεχνικής βιοτεχνίας.» (Στραβολαίμης, 2019) , ο συγγραφέας μελετάει την την εφαρμογή ή την δυνητική εφαρμογή της ΤΕ σε διάφορους κλάδους της χειροτεχνίας και καλλιτεχνίας, κάνοντας και μία σύντομη αναφορά στον κλάδο του κοσμήματος. Στα πλαίσια της εργασίας υλοποιεί ένα πρότζεκτ κατασκευής μικροαντικειμένου με τη διαδικασία: ψηφιακό σχέδιο- μετατροπή σε εκτυπώσιμο αρχείο- τρισδιάστατη εκτύπωση σε μέταλλο με τη μέθοδο DMLS από online εταιρεία 3D υπηρεσιών. Συμπερασματικά καταλήγει, ότι ατομικές και μικρές χειροτεχνικές επιχειρήσεις έχουν οφέλη από τη χρήση της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Όμως δεν αναφέρεται ιδιαίτερα στην διαδικασία σχεδιασμού, ούτε στην διαδικασία που θα ακολουθούσε κάποιος που θα σχεδίαζε ένα αντικείμενο για παραγωγή.

Ούτε κάνει κριτική στο σχέδιο που θα εκτυπωθεί ( με την έννοια της διαφορετικότητας και της αντίστοιχα απαιτούμενης επιλογής, κατάλληλης ψηφιακής τεχνολογίας).

Στη διπλωματική εργασία «Τρισδιάστατη εκτύπωση και προοπτικές για το σχεδιασμό» (Χάλαρη, 2018) η συγγραφέας, κάνει μία μελέτη σε βάθος της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης και των προοπτικών της. Αναφέρει τη διαδικασία που ακολουθείται για να εκτυπωθεί ένα αντικείμενο, και πώς αυτό μπορεί να ενσωματωθεί, στον τομέα της βιομηχανίας παραγωγής δύσκαμπτης συσκευασίας.

Στην επίσης διπλωματική εργασία «Πολυμερή και Κράματα Πολυμερών για 3D Εκτύπωση » (Μπούτσικας, 2019) , ο συγγραφέας μελετάει, τη σημασία που έχουν οι

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

εξελίξεις τεχνολογικά των υλικών, και ιδιαίτερα τα κράματα πολυμερών, που χρησιμοποιούνται σε διάφορους επιστημονικούς τομείς.

Στην εργασία «Μελέτη και αξιοποίηση τεχνολογιών τρισδιάστατης (3Δ) εκτύπωσης για την σχεδίαση και την παραγωγή εξωτερικών σολών για αθλητικά παπούτσια» (Καρμοίρη, 2017) η συγγραφέας κάνει μία έρευνα, πάνω στη χρήση των 3D εκτυπωτών από από τη βιομηχανία αθλητικού παπουτσιού. Αναφέρει τα στάδια που ακολουθούνται στη διαδικασία, καθώς και στη δυνατότητα που υπάρχει πλέον, η σχεδιάσή της γίνεται εξατομικευμένα, στις ανάγκες του εκάστοτε αθλητή.

Στην εργασία «Αναλογικές και Ψηφιακές Μέθοδοι και Τεχνικές για την Δημιουργία Τρισδιάστατης Ανθρώπινης Κεφαλής»(Ξυνταριανός-Τσιροπινάς, 2012) , ο συγγραφέας κάνει μία μελέτη σε ένα συγκεκριμένο θέμα σχεδιασμού (ανθρώπινο κεφάλι) και ξεκινώντας από βασικές αρχές παραδοσιακής γλυπτικής (φόρμα, κίνηση, αναλογία) καταλήγει στο ψηφιακό ανάλογο της γλυπτικής, που είναι το digital clay modelling, δημιουργώντας επιπλέον, δύο πολύ ενδιαφέροντα παραδείγματα με δύο διαφορετικά προγράμματα ψηφιακής γλυπτικής.

Το σύγγραμμα «*Additive Manufacturing Technologies - 3D Printing, Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing*» (Gibson, Stucker, & Rosen, 2015), κάνει μία ενδελεχή ανάλυση στην Προσθετική Κατασκευή, στην Ταχεία Πρωτοτυποποίηση και στην χρήση της Προσθετικής Κατασκευής στην Ταχεία Πρωτοτυποποίηση.

Ακόμα, συγκρίνει τις δύο διαφορετικές τεχνολογίες κατασκευής , συγκρίνει δηλαδή, τις CNC μηχανές και τους 3D εκτυπωτές, εύστοχα και αναλυτικά.

Επίσης αναφέρονται τα υβριδικά μηχανήματα. Μηχανήματα δηλαδή που περιέχουν εργαλεία που μπορούν να εναλλάξουν τεχνολογία (αφαιρετική – προσθετική).

Περιλαμβάνει πληροφορίες για τη διαδικασία της ΤΕ, για τα υλικά, τις υποστηρικτικές δομές, τις post-processing διαδικασίες και ακόμα τη χύτευση με τη μέθοδο χαμένου κεριού.

Όλα αυτά μέσα από μία τεχνική - βιομηχανική αντίληψη. Παρόλα αυτά, αναφέρεται στο κόσμημα, χρησιμοποιώντας το όμως, ως παράδειγμα μίας κατασκευαστικής

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

διαδικασίας. Ενδιαφέρουσες είναι και οι παρατηρήσεις που γίνονται, σε σχέση με τις αλλαγές στο σχεδιασμό, που επιφέρει η τεχνολογία της ΤΕ.

Στο βιβλίο «Συστήματα CAD Βασικά Στοιχεία και Εφαρμογές» (Δεδούσης, Γιαννατσής, Κανελλίδης, 2015) κάνουν ανάλυση σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD), αναλύοντας και εξηγώντας κάποιες ψηφιακές τεχνολογίες ( παραμετρική μοντελοποίηση με χαρακτηριστικά, B-splines κτλ) που θα μας απασχολήσουν και εμάς πιά κάτω. Οι συγγραφείς ουσιαστικά μιλάνε για την εφαρμογή στον μηχανολογικό σχεδιασμό, αλλά μπορούμε να βγάλουμε πιά γενικά συμπεράσματα.

Ο Attaran (2017) Αναφέρει ότι τα εμπόδια που υπάρχουν είναι οι περιορισμοί στο μέγεθος του αντικειμένου που μπορεί να εκτυπωθεί, η χρονική διάρκεια παραγωγής, το κόστος (αυτά όμως αφορούν όμως βιομηχανική χρήση) και νομικά θέματα που εγείρονται γύρω από τα αντικείμενα που μπορούν να εκτυπωθούν.

Τα θετικά όμως είναι, ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για Μαζική Προσαρμογή, για κατά παραγγελία κατασκευή (on-Demand manufacturing), ότι βοηθάει στο να μην είναι κομβικό κομμάτι η κατασκευή ( ώς χώρος ), ότι χρησιμεύει στην κατασκευή εξαρτημάτων, στην κατασκευή αντικειμένων που αποτελούνται από πολλά εξαρτήματα και διαφορετικά υλικά, ότι προσφέρει στη δυνατότητα επιδιορθώσεων και επανασχεδιασμού, ότι αποβάλλει λίγα απόβλητα (θέματα που ενδιαφέρουν το θέμα της δικής μας εργασίας).

Ο Barry Berman (2016) εκφράζει τον προβληματισμό του, σχετικά με το ότι η ΠΕ έχει συγκριθεί ή/και συνδεθεί με τη Μαζική Προσαρμογή (Mass Customization ).

Ο όρος Mass Customization ( ονομασία από το mass production και από το customization=προσαρμογή ) στοχεύει στην παροχή προϊόντων και υπηρεσιών που εξυπηρετούν καλύτερα τις ανάγκες των μεμονωμένων πελατών (εξατομικευμένα), με σχεδόν μαζική απόδοση παραγωγής (προσιτή τιμή για τον πελάτη)(Tseng et. al. 2017) Αναφέρει ότι αν και οι δύο διαδικασίες μπορούν να κατασκευάσουν με περιθώρια κέρδους, μικρές ποσότητες με προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά (διαφορετικό μέγεθος, χρώμα κ.ά.), στην ΜΠ γίνεται συναρμολόγηση προκατασκευασμένων εξαρτημάτων, ενώ στην ΤΕ, χρησιμοποιείται ακατέργαστη, σε σχέση με το προϊόν,

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

πρώτη ύλη.

Επίσης κάνει μία ενδιαφέρουσα σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τεχνολογιών κατασκευής αφαιρετικής μεθόδου, έγχυσης (πλαστικού) με πίεση (injection molding) και Τρισδιάστατης Εκτύπωσης ) υπέρ της TE.

Ακόμα αναφέρει τις εφαρμογές της TE στη δημιουργία διάφορων προϊόντων, κάνοντας μία αναφορά στους χομπίστες και στο κόσμημα (στα πλαίσια όμως, του προσωπικού - εξατομικευμένου κοσμήματος ).

Αναφέρει επίσης, ότι λόγω της TE θα διαχωριστεί ο τομέας του σχεδιασμού του προϊόντος, από την κατασκευή του. Προέβλεψε (κάτι που γίνεται ήδη αλλά σε μικρό βαθμό), ότι ο πελάτης θα αγοράζει το σχέδιο online και θα το “χτίζει” σπίτι του, στον οικιακό του εκτυπωτή.

Όταν στο μεταξύ μειωθεί κατά πολύ η τιμή τους, θα αυξηθούν δραματικά οι οικιακοί εκτυπωτές πράγμα που θα επιφέρει αύξηση των 3D οικιακών εφαρμογών και συνακόλουθα, μείωση της τιμής των υλικών. Να σημειώσουμε εδώ, ότι αυτό ενισχύει το θέμα της εργασίας , που ουσιαστικά αντιμετωπίζει τη διαδικασία από την πλευρά ενός σχεδιαστή.

Ακόμα, έγινε έρευνα πάνω στις τεχνολογίες των 3d λογισμικών, της χύτευσης, σε ειδικευμένους ιστοτόπους , blogs και forums, όπως στα 3dcadjewelry.com, sculpteo.com, machinedesign.com, engineering.com, academy.bimobject.com, www.rhino3d.com, all3dp.com, autodesk.com, κ.ά.

Επίσης σε ηλεκτρονικά βιβλία και περιοδικά (όπως το Business Horizons, *Sensors*, ), δημοσιεύσεις διεθνών συνεδρίων κ.ά.

## **1.4 Τεκμηρίωση της ανάγκης για την παρούσα έρευνα**

Οι περισσότερες μελέτες όπως βλέπουμε, είναι πάνω στις τεχνολογίες της 3d εκτύπωσης, στα υλικά ή στο τεχνικό κομμάτι. Ακόμα και εκείνες που αγγίζουν το σχεδιαστικό κομμάτι, δεν παρουσιάζουν την διαδικασία της 3D σχεδίασης.

Δεν υπάρχει εργασία που να μελετά τη διαδικασία: ψηφιακός σχεδιασμός (επιλογή λογισμικού) – ψηφιακή κατασκευή (επιλογή ψηφιακής τεχνολογίας) – δημιουργία με σκοπό την υλοποίηση - παραγωγή. Και αυτό είναι κάτι που ενδιαφέρει τον σχεδιαστή, ή τον ερασιτέχνη, ή/και μελλοντικό επαγγελματία που ξέρει να σχεδιάζει με παραδοσιακό τρόπο.

Στη συγκεκριμένη εργασία θα μελετήσουμε: τα είδη είδη της ψηφιακής σχεδίασης και ψηφιακής κατασκευής ώστε να επιλέξουμε τα κατάλληλα. Ακόμα τις παραμέτρους που πρέπει να πάρουμε υπόψη μας, για μία όσο το δυνατόν πιο επιτυχημένη, τελική υλοποίηση της αρχικής ιδέας.



## **2 Τεχνολογίες κατασκευής μέσω Η/Υ**

### **Γενικά-ιστορικά**

Για χιλιετίες, δύο υπήρχαν οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στη δημιουργία κοσμημάτων και μικρογλυπτών. Η άμεση επεξεργασία του μετάλλου, ή γενικά του εκάστοτε τελικού υλικού, (χειροποίητα) και η χύτευση με τη μέθοδο του χαμένου κεριού (παραγωγικά). (πηγή: <https://formlabs.com/blog/3d-printed-jewelry/>). Και οι δύο μέθοδοι, πέρα από τη δημιουργική ικανότητα του δημιουργού, απαιτούν ακόμα και για πολύ απλά σχεδιαστικά κομμάτια, υψηλή τεχνική, κόπο, χρόνο και κάθε λάθος κατά τη διαδικασία, μπορεί να έχει σημαντικό κόστος.

Η κατασκευή ενός κοσμήματος, είναι μορφοποίηση υλικού. Είναι ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Για να δημιουργηθεί, πρέπει να υπάρχει ένα σχέδιο ( ιδέα) και κάποιος να μορφοποιήσει με κάποιες τεχνικές το αρχικό υλικό. Οι κατεργασίες μορφοποίησης, μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες: χύτευση, διαμόρφωση, κοπή, επεξεργασία σωματιδίων /κόκκων και πρόσθεση υλικού (Γιαννατσής κ.ά., 2015).

### **2.1 Ψηφιακές τεχνολογίες**

Οι παραπάνω κατηγορίες μορφοποίησης χρησιμοποιούνται και στην κοσμηματοποιία. Τώρα πια όμως, κάποια κομμάτια της διαδικασίας, υποβοηθούνται (σχεδιαστικό μέρος - design) ή και ελέγχονται (κατασκευαστικό μέρος – constructive part ) από υπολογιστές.

Με την εξέλιξη των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, τον σχεδιασμό του αντικειμένου τον ανέλαβε ο Η/Υ, μέσω εξελιγμένων λογισμικών. Στη συνέχεια έγινε εφικτό, ο υπολογιστής να ελέγχει και αυτή καθαυτή τη δημιουργία του αντικειμένου.

Καταρχήν θα πρέπει να υπάρχει ένα ψηφιακό μοντέλο. Αυτό μπορεί κάποιος να το δημιουργήσει είτε με κάποιο λογισμικό τρισδιάστατου σχεδιασμού ( 3D Computer

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

**Aided Design** ), είτε χρησιμοποιώντας 3D **scanner** σε υπάρχον αντικείμενο, είτε με τη μέθοδο της Φωτογραμμετρίας (**Photogrammetry**). Και ύστερα, έχει να επιλέξει μεταξύ δύο μεθόδων κατασκευής με υπολογιστή:

- την αφαιρετική μέθοδο ( **Subtractive Manufacturing**) και
- την προσθετική μέθοδο (**Additive Manufacturing**).

Στην πρώτη περίπτωση, ανήκουν τα **CNC** ( **Computer Numerical Control**) μηχανήματα, δηλαδή μηχανήματα αριθμητικού ελέγχου με H/Y.

Στην δεύτερη οι 3D printers.

Και οι δύο έχουν σημαντικές ομοιότητες. Πρώτα από όλα, είναι και οι δύο τεχνολογίες που βασίζονται σε υπολογιστή και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή προϊόντων (Gibson κ.ά., 2010).

Ακόμα,

- δημιουργούν αντικείμενα από 3D μοντέλα
- αυτό το κάνουν ακολουθώντας οδηγίες από έναν H/Y
- αναγνωρίζουν αρχεία Stl και Obj
- είναι στην αιχμή της τεχνολογίας
- είναι πια συνηθισμένες τεχνολογίες

(πηγή: <https://www.americanmicroinc.com/cnc-machining-3d-printing.html>)

## **2.2 CAD-CAM / CNC–machining**

**CAD** είναι η διαδικασία σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή, ενώ **CAM** (**Computer Aided Manufacturing**) είναι η κατασκευή μέσω υπολογιστή.

Οι κατεργασίες κοπής, και πιο γενικά αφαίρεσης υλικού, υπήρξαν οι πρώτες στις οποίες κατέστη δυνατός ο ψηφιακός προγραμματισμός και έλεγχος των μηχανών (**CNC – Computer Numerical Control**). (Γιαννατσής κ.ά., 2015).

Κατ' αυτήν, ένα λογισμικό, "μετατρέπει" τα σχεδιαστικά ψηφιακά αρχεία (δημιουργημένα είτε με CAD, είτε με 3d Scanner), σε λεπτομερείς εντολές που

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

μπορούν να καθοδηγήσουν ένα αυτοματοποιημένο εργαλείο το οποίο χρησιμοποιώντας κοπτικά και περιστρεφόμενα εργαλεία, δημιουργεί το αντικείμενο. Ένα δισδιάστατο σχέδιο παραδείγματος χάρη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ώστε να οδηγήσει μία ακτίνα laser ή κάποιο άλλο κοπτικό εργαλείο, να κόψει το υλικό στο συγκεκριμένο σχέδιο. (πηγή: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-cam-computer-aided-manufacturing>).

Τα CAM συστήματα λειτουργούν ως ενδιάμεσοι (διεπαφές) μεταξύ CAD και CNC μηχανήματος: τα πολύπλοκα σχέδια που δημιουργήθηκαν με το CAD χρειάζεται να 'μετάφραστούν' ώστε να δημιουργήσουν κώδικα που να καταλαβαίνουν οι NC μηχανές. (Mourtzis, 2017)



Εικόνα 1: Εργαλεία CNC πηγή <https://www.2m.ie/precision-engineering>

Η διαδικασία ξεκινάει με έναν καθαρό όγκο υλικού, που πρέπει να έχει τουλάχιστον το μέγεθος του τελικού αντικειμένου (και που ονομάζεται Blank). Το μηχάνημα, αφαιρεί (κόβει, τρυπά, τρίβει) υλικό, ώστε να δημιουργήσει το τελικό αντικείμενο. Αυτό το κατορθώνει, χρησιμοποιώντας κοπτικά και περιστρεφόμενα εργαλεία.

(πηγή: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-vs-cnc-160320184/>)

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου, είναι η μεγάλη ακρίβεια, καθώς και η ευρεία γκάμα υλικών (ξύλο, μέταλλο, πλαστικό, κ.α.).

(πηγή: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-vs-cnc-160320184/>)

Με απλά λόγια, το CNC είναι μια μεγάλη και ποικιλόμορφη οικογένεια μηχανημάτων

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

που ελέγχονται κυρίως από ένα πρόγραμμα υπολογιστή, για την εκτέλεση εργασιών που διαφορετικά θα είχαν γίνει χειροκίνητα. Αυτού του είδους τα μηχανήματα, πρέπει να έχουν εργαλεία που να κινούνται σε δύο τουλάχιστον διαφορετικούς άξονες. Σε όσους περισσότερους άξονες μπορεί να γίνει η κίνηση (υπάρχουν οι 3 άξονες γραμμικής μετακίνησης, αλλά και 3 ως την περιστροφή) τόσο πιο πολύπλοκη και επιτηδευμένη είναι η μηχανή. (πηγή: <https://www.treatstock.com/guide/article/122-what-is-cnc>)

Υπάρχουν διάφοροι τύποι CNC μηχανών:

**Παραδοσιακές (Conventional) τεχνολογίες:**

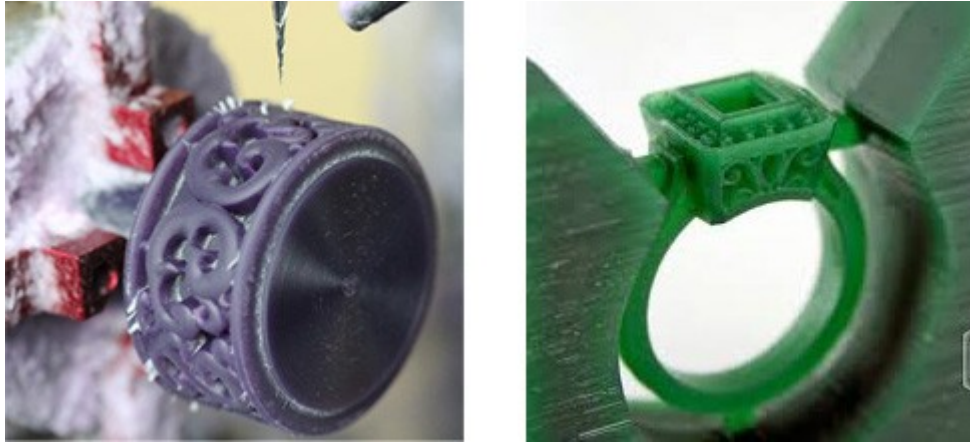
- Τρυπάνια (Drills)
- Τόρνοι (Lathes)
- Μύλοι (Milling Machines)

**Νέες (Novel) τεχνολογίες:**

- Ηλεκτρικές και/ή Χημικές τεχνολογίες.
- Άλλου τύπου τεχνολογίες ( λέιζερ, πλάσμα, υδρορροής,οξύ) (Rogers, 2015).

Στον τομέα του κοσμήματος πολλά εργαστήρια αργυροχρυσοχοΐας χρησιμοποιούν μηχανήματα CNC milling για τη δημιουργία κοσμημάτων (συνήθως του αρχικού κέρινου).

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 2: Δακτυλίδια από CNC milling σε κερί

(πηγές: <https://flaminika.com/formy-gumowe/> )

(<https://www.cnccookbook.com/18-cnc-jewelry-gift-ideas-delight-non-cncer-life/>)

## Υλικά

Οι CNC μηχανές μπορούν να επεξεργαστούν μία μεγάλη ποικιλία υλικών. Εκεί πάντως που είναι στο στοιχείο τους είναι όταν επεξεργάζονται μεταλλικά υλικά. Θα αναφέρουμε μερικά, καθώς τόσο στην κοσμηματοποιία, όσο και στη γλυπτική, μπορεί να χρειαστεί να δουλέψουμε με αρκετά, μη παραδοσιακά υλικά.

**Μέταλλα:** αλουμίνιο, ανοξείδωτο ατσάλι, τιτάνιο (λειώνει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, δεν επηρεάζεται από αλάτι, νερό και δεν είναι όλκιμο. Είναι ελαφρύ και βιοσυμβατό, αλλά ανθεκτικό και έτσι χρησιμοποιείται πολύ στην ιατρική, αεροναυπηγική και κοσμηματοποιία), χαλκός, μπρούτζος, χρυσός, ασήμι κτλ

**Πλαστικά:** PVC, Nylon, PEEK (poly-ether-ether-ketone), Ceramic PEEK , fiberglass

**Ξυλεία:** ξύλο, κόντρα πλακέ

**Αφρώδη υλικά (foam)**

**Κεριά:** μπορούν να επεξεργαστούν πολλά ήδη κεριών, μεταξύ αυτών και κερί αργυροχρυσοχοΐας, που χρησιμοποιείται για μοντελοποίηση με σκάλισμα στο χέρι

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

(πηγή: <https://www.3erp.com/blog/cnc-milling-materials-choose-application/>).

**Πολύτιμα μέταλλα:** υπάρχουν CNC μηχανές, που μπορούν να επεξεργαστούν απευθείας και πολύτιμα μέταλλα. Ιδιαίτερα χρησιμοποιούνται για να χαράξουν με ακρίβεια, πολύ λεπτομερή σχέδια. Ωστόσο πρέπει να ληφθούν πρώτα από όλα μέτρα για την ποσότητα του μετάλλου που αφαιρείται, γιατί στα πολύτιμα μέταλλα δεν μπορεί να γίνει ανεκτή ακόμα και η ελάχιστη σπατάλη υλικού (πηγή: <https://www.3erp.com/blog/cnc-machining-for-precious-metal-jewelry/>) (Ye, 2019)

### **Πλεονεκτήματα**

Σε τι είναι είναι πολύ χρήσιμα τα CNC μηχανήματα:

- Είναι εξαιρετικά για την κοπή και τη χάραξη διαφόρων υλικών, ιδιαίτερα μετάλλων.
- Αλλά μπορούν να επεξεργαστούν και κεριά, (προφανώς όσο σκληρότερα, με τόσο καλύτερα αποτελέσματα) ώστε να ακολουθήσει χύτευση με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.
- Επίσης, το κέρινο αυτό μοντέλο, μπορεί ο αργυροχρυσοχόος να το επεξεργαστεί πριν το πάει για χύτευση.  
(Πηγή:<https://www.ganoksin.com/article/cnc-milling-3d-printing/>)
- Απλά μοτίφ ή σχέδια, που δεν έχουν εσωτερικά κενά (undercuts)
- Καλή ποιότητα επιφάνειας του master μοντέλου (Pusraputra, 2017)
- Χάραξη γραμμάτων με πολύ καλή λεπτομέρεια.
- Αντικείμενα, που χρειάζεται να γίνει εργασία με το χέρι (χάραξη), πριν το χυτήριο.
- Οι CNC μηχανές,, μπορούν να δημιουργήσουν καλούπια από διάφορα υλικά. Το σχέδιο που έχει δημιουργηθεί σε ένα 3D μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε 'αρνητικό' αποτύπωμα και το μηχάνημα να το σκαλίσει. Έτσι μπορούμε να δημιουργήσουμε καλούπια από ανθεκτικό υλικό  
(πηγή:<https://www.treatstock.com/guide/article/120-8-ways-machining-takes-jewelry-making-to-a-whole-new-level>)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

- Εάν θέλουμε να δημιουργήσουμε ένα πρωτότυπο με το ακριβές υλικό που θα έχει το τελικό προϊόν, είτε για να κάνουμε δομικά τεστ, είτε για κάποιον άλλο λόγο, χωρίς να μπορούμε στη διαδικασία του χυτηρίου.  
(πηγή: <https://www.cnclathing.com/guide/cnc-machining-vs-3d-printing-the-advantages-of-cnc-machining-over-3d-printing>)

Γενικά, η χρήση ενός CNC μηχανήματος είναι πολύ καλή λύση, όταν είναι ανάγκη τα πρωτότυπα αντικείμενα να είναι πολύ ανθεκτικά, ή/και με αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Ή, όταν χρειάζονται μεγάλες ποσότητες από αυτά.

### **Μειονεκτήματα**

- Τα κομμάτια του αρχικού υλικού (blank), έχουν τυποποιημένες διαστάσεις, έτσι, εάν χρειαστεί κάποιος να ζητήσει άλλες διαστάσεις υλικού, θα ανέβει πολύ το κόστος. (<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-vs-cnc-machining/>)
- Πρέπει να υπάρχει ένας εξειδικευμένος χειριστής ώστε να επιλέγει μεταξύ των διαφορετικών κοπτικών εργαλείων, της περιστροφής, της ταχύτητας, της επανατοποθέτησης του υλικού από το οποίο δημιουργείται το αντικείμενο, κτλ.
- χρειάζεται συστήματα ψύξης, ώστε να μην παραμορφώνεται το υλικό από την υψηλή θερμοκρασία (<https://www.treatstock.com/guide/article/120-8-ways-machining-takes-jewelry-making-to-a-whole-new-level#10>)
- Τα μηχανήματα παράγουν πολύ δυνατό **θόρυβο** και υψηλές **δονήσεις**.  
(πηγή:<https://all3dp.com/3d-printing-vs-cnc-milling/>)  
Αυτό σημαίνει ότι ο χώρος που βρίσκεται το CNC πρέπει να είναι ένα παραδοσιακό εργαστήριο (μηχανουργείο).
- Τα CNC μηχανήματα, αφαιρούν υλικό χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενα κοπτικά εργαλεία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα υλικό εκτοξεύεται τριγύρω. Υλικό που μπορεί να είναι πολύ σκληρό και κοφτερό (ρινίσματα μετάλλου ή ξύλου). Αλλά και κερί να είναι, πάλι θα γεμίσει το χώρο με τρίμματα. Ακόμα

και τα μηχανήματα που είναι κλειστά θα πρέπει να καθαριστούν εσωτερικά μετά το τέλος της διαδικασίας, πράγμα που είναι χρονοβόρο. (Grieser, 2015)

- **γεωμετρική πολυπλοκότητα.** Υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί που πρέπει να λάβει κάποιος υπόψη του όταν σχεδιάζει για CNC τεχνολογία, που περιλαμβάνουν, την προσβασιμότητα του κοπτικού εργαλείου, την δυνατότητα αφαίρεσης υλικού σε συγκεκριμένα σημεία κ.ά. (Bournias-Varotsis, χ.χ.) Ορισμένες γεωμετρίες είναι αδύνατον να δημιουργηθούν με τη CNC μηχανή (ακόμη και με συστήματα CNC 5 αξόνων), καθώς το κοπτικό εργαλείο δεν μπορεί να έχει πρόσβαση σε όλες τις επιφάνειες ενός αντικειμένου.

## **2.3 Additive Manufacturing**

Ο όρος **Additive Manufacturing** αποδίδεται με τον όρο **Προσθετική Κατασκευή**, ή και **Στρωματική Κατασκευή (Layer Manufacturing)** (Γιαννατσής κ.ά., 2015), ονομάζεται έτσι, γιατί αντίθετα με το **Subtractive Manufacturing** των CNC machines, αντί να αφαιρεί υλικό, το προσθέτει κατά στρώματα. Κάθε επίπεδο, είναι μία λεπτή διατομή του αντικειμένου που εξάγεται από τα ψηφιακά δεδομένα. (Gibson κ.ά., 2010)

Ο όρος, Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D Printing) είναι η πιο διαδεδομένη ονομασία, του πιά 'έπισημου' όρου **Additive Manufacturing**.

Στην ουσία, τόσο το **Rapid Prototyping** (ταχεία προτυποποίηση) όσο και το **3d Printing**, είναι δύο υποκατηγορίες του **Additive Manufacturing**.

Τα βήματα της διαδικασίας της Προσθετικής Κατασκευής, είναι τα εξής:

1. δημιουργία αρχικού ψηφιακού μοντέλου. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ένα 3D CAD λογισμικό, ή έναν 3D Scanner, ή χρησιμοποιώντας την τεχνική της **Photogrammetry** (φωτογραμμετρίας)

2. Μετατροπή σε ένα format που αναγνωρίζει ο εκτυπωτής (συνήθως STL αρχείο), είτε μέσω του λογισμικού που σχεδιάσαμε, είτε με κάποιο άλλο πρόγραμμα (πχ το δωρεάν netfabb).



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

3. Προπαρασκευαστικές εργασίες στο 3d printer . Προσανατολισμός κατασκευής ( η θέση ως προς το σύστημα συντεταγμένων του εκτυπωτή και ειδικά ως προς το άξονα Z, που ορίζει την κατεύθυνση που θα προστίθενται τα στρώματα υλικού (layers). Κατόπιν, υπολογίζεται η υποστηρικτική δομή (support structure), έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος παραμόρφωσης ή και κατάρρευσης του μοντέλου κατά τη σταδιακή εναπόθεση στρωμάτων υλικού.

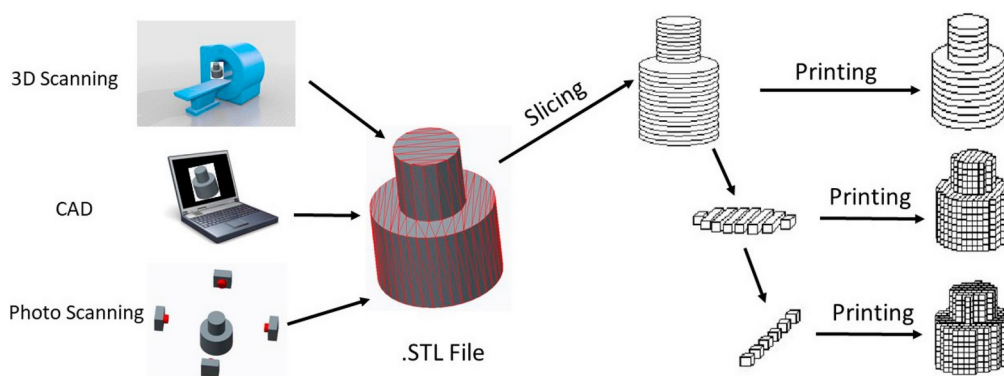
Ακολουθεί το slicing (τεμαχισμός). Είναι τα οριζόντια επίπεδα-διατομές, που ορίζουν τα στρώματα του υλικού.

Σημαντικό ρόλο εδώ παίζει και το slicing step (βήμα τεμαχισμού) που καθορίζει την απόσταση μεταξύ δύο διαφορετικών διαδοχικών επιπέδων και έχει κρίσιμο ρόλο στην λεπτομερειακή και ομαλή απόδοση του αντικειμένου.

4. 'Κτίσιμο' του αντικειμένου με εναπόθεση υλικού σε διατομές ανά στρώματα (Layers).

5. Μεταπαρασκευαστικές (post processing) διαδικασίες: αφαίρεση τυχόν υποστηρικτικών δομών και τελικό φινίρισμα του μοντέλου.

Οι υποστηρικτικές δομές, μπορεί να είναι δύο ειδών. Τα στηρίγματα που δημιουργήθηκαν ως φυσικό προϊόν της διαδικασίας κατασκευής και εκείνα τα στηρίγματα που σχεδιάστηκαν για να στηρίζουν, ή να συγκρατούν, ή και να συνδέουν το τμήμα που κατασκευάζεται.



Εικόνα 3: 3D printing steps

(πηγή: (Xu κ.ά., 2017)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Η Προσθετική Κατασκευή, δεν είναι μία μόνη τεχνολογία, αλλά περιλαμβάνει, μία πληθώρα διαφορετικών τεχνολογιών, διαφορετικής ωριμότητας, που χρησιμοποιούν διαφορετικά υλικά και με διαφορετικά αποτελέσματα από άποψη ποιότητας ( Ford, Mortara & Minshall, 2016).

Όλοι οι 3D printers, λειτουργούν με αυτή την προσθετική προσέγγιση και διαφέρουν ως προς τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιήσουν, τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούν τα επίπεδα και πως τα επίπεδα αυτά μπορούν να ενωθούν μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν ένα ενιαίο αντικείμενο. Αυτές οι διαφορές θα καθορίσουν, την ακρίβεια στη λεπτομέρεια του τελικού αντικειμένου και τις ιδιότητες του, καθώς και παράγοντες όπως την ταχύτητα κατασκευής, το μέγεθος του εκτυπωτή που θα επιλέξουμε, και το συνολικό κόστος.(Gibson κ.ά., 2010)

### **2.3.1 Τεχνολογίες Προσθετικής Κατασκευής**

#### **SLA**

Από την αρχή υπάρχει η Stereolithography (Στερεολιθογραφία), γνωστότερη ως StereoLithography Apparatus (SLA) , η πρώτη επίσημη πατέντα (1986). Η SLA μέθοδος χρησιμοποιεί ως ύλη, ρευστή φωτοδραστική ρητίνη που στερεοποιείται υπό την επίδραση UV λέιζερ. (Wohlers & Gornet, 2016)

Από την SLA έχουν γεννηθεί πολλές παραλλαγές, κυρίως ως προς το είδος της ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται για να στερεοποιηθεί η υγρή ρητίνη.(Χάλαρη, 2018)

Μία από τις πιο γνωστές είναι η **DLP** παραλλαγή, η οποία χρησιμοποιεί αντί λέιζερ για την στερεοποίηση της φωτοδραστικής ρητίνης, ένα ψηφιακό προβολέα ( ή LCD οθόνες) που προβάλλει ολόκληρη την εικόνα κάθε διατομής.

Έτσι στερεοποιείται όλη μαζί η διατομή κάθε φορά (Wohlers & Gornet, 2016)

#### **SLS**

Η Επιλεκτική Συσσωμάτωση (σύντηξη) με Λέιζερ ( **Selective Laser Sintering** ) βασίζεται στη σύντηξη πλαστικών κόκκων (πούδρας) με λέιζερ (1988).

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Τελικά αυτή η τεχνολογία, έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί διάφορα υλικά, από πολυμερή (πλαστικά) έως μέταλλα χάρη στην χρήση λέιζερ. Η εκτύπωση γίνεται προσθέτοντας επίπεδα, με σύντηξη υλικού σε μορφή σκόνης, χάρη στην θερμοκρασία που αναπτύσσεται από μία ακτίνα λέιζερ CO<sub>2</sub>.

Μετά το τέλος το αντικείμενο είναι σκεπασμένο με σκόνη και πρέπει να κρυσταλλώσει για να καθαριστεί και να υποστεί περαιτέρω εργασίες.

(<https://www.3dnatives.com/en/selective-laser-sintering100420174/#!>)

### **FDM (FFF)**

Η τρίτη από τις κύριες τεχνικές για τρισδιάστατη εκτύπωση είναι

η “ **μοντελοποίηση με εναπόθεση υλικού**”, **Fused Deposition Modeling (FDM)**, γνωστή και ως **Fused Filament Fabrication (FFF)** 1992.

Έχει καταλήξει να είναι, η πιο αναγνωρίσιμη μέθοδος στον κόσμο του 3D (Alexandrea, 2017)

([www.3dnatives.com/en/fused-deposition-modeling100420174/#!](http://www.3dnatives.com/en/fused-deposition-modeling100420174/#!))

Ένας FDM printer, αποτελείται από τρία κύρια μέλη: μία πλάκα εκτύπωσης στην οποία εκτυπώνεται το αντικείμενο, ένα καρούλι με το υλικό εκτύπωσης σε μορφή νήματος (filament) και μία κεφαλή εξώθησης, που ονομάζεται εξωθητής (extruder) (Alexandrea, ό.π.)

Το νήμα θερμαίνεται σε μία θερμοκρασία λίγο μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία τήξης από τον extruder ο οποίος εναποθέτει το υλικό στρώμα – στρώμα στην πλάκα. Μέ αυτή τη μέθοδο, μπορούν να παραχθούν αντικείμενα που έχουν ως πρώτη ύλη το ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ή άλλα θερμοπλαστικά πολυμερή, γνωστά για την ανθεκτικότητά τους.

Χρειάζεται η κατασκευή υποστηρικτικών δομών που κατασκευάζονται συνήθως, από διαφορετικό υλικό. Επιπλέον, έχουν δημιουργηθεί υδατοδιαλυτά υλικά για την κατασκευή τους οπότε είναι εύκολη η απομάκρυνσή τους. (Γιαννατσής κ.ά., 2015)

Σχετικά με τις τεχνολογίες της AM, να πούμε, ότι μετά από αυτές τις 3 αρχικές που αναφέραμε, συνέχισαν να εμφανίζονται και νέες καινοτόμες μέθοδοι. Όπως, η **Binder jetting** που αναπτύχθηκε στα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1990,

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

στο MIT κυρίως. Ο όρος που χρησιμοποίησαν ήταν 3D Printing (3DP), κατά τον οποίο μία συγκολλητική ουσία (Binder) εναποτίθεται με ψεκασμό (jetting) σε ένα επίπεδο υλικού σε μορφή σκόνης (bed powder) (Gibson κ.ά., 2015). Σημαντικό στοιχείο είναι, ότι δεν γίνεται χρήση θερμότητας, οπότε δεν υπάρχει περίπτωση να υπάρξει τοπικά παραμόρφωση της γεωμετρίας που σχετίζεται με τις διαστάσεις και έτσι μπορούν να δημιουργηθούν κομμάτια μεγάλων διαστάσεων.

Επίσης και η **Material Jetting** (PolyJet) με την οποία μπορούμε να εκτυπώσουμε απευθείας χρώματα και πολλαπλά υλικά ενσωματώνοντας τα έτσι σε ένα ενιαίο μοντέλο. (Κυριάκου, 2019)

Μία σημαντική μέθοδος, είναι η Drop **On Demand** printing. Η DOD, είναι μία τεχνολογία **Material Jetting**, που χρησιμοποιεί δύο κεφαλές εκτόξευσης υλικού (μία για το κυρίως αντικείμενο και μία για το υλικό των υποστηρικτικών δομών) (Shea κ.ά., 2016)

Από την άλλη, από την SLS γεννήθηκε η προσθετική μεταλλική κατασκευή με κύρια τεχνολογία την Direct Metal Laser Sintering (**DMLS**), γνωστή και ως Selective Laser Melting (SLM) (πατενταρισμένα ονόματα), με τη γενική ονομασία να είναι Laser Powder Bed Fusion (**LPBF**).

Εδώ, χρησιμοποιείται ένα υψηλής ισχύος λέιζερ για να λειώσει πούδρα μετάλλων στρώμα-στρώμα.

Μία ακόμα λύση είναι η **Electron Beam Melting (E-BEAM)**.

([www.3dnatives.com/en/3d-technologies/](http://www.3dnatives.com/en/3d-technologies/))

## **2.4 Συγκρίνοντας Additive Manufacturing και Subtractive Manufacturing (CNS vs AM)**

Η ταχύτητα είναι σημαντικός παράγοντας για οποιαδήποτε εργασία, αλλά στη δική μας περίπτωση ενδιαφέρει πολύ περισσότερο η ποιότητα.

Από τις δύο κύριες τεχνολογίες, όπως είδαμε παραπάνω, θα πρέπει να εξετάσουμε

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

τα θετικά και τα αρνητικά που έχει η κάθε τεχνολογία, σύμφωνα με αυτό που ενδιαφέρει εμάς:

Τόσο το κόσμημα, όσο και το μικρογλυπτό, απαιτούν μία τεχνολογία που να μπορεί να συλλάβει τις ιδιαίτερες λεπτομέρειες που θα έχει το ψηφιακό σχέδιο και να μπορεί επίσης να τις αποδώσει με ποιοτική υλοποίηση. Είναι πολύ σημαντικό να μπορούν να δημιουργηθούν αντικείμενα με πολύπλοκη γεωμετρία.

Επίσης, στην εργασία αυτή, εξετάζουμε την περίπτωση κάποιου που δεν θέλει το εργαστήριο να είναι κεντρικό κομμάτι της ασχολίας του. Είτε γιατί είναι ένας κοσμηματοποιός στο ξεκίνημα της καριέρας του, είτε γιατί είναι ερασιτέχνης που φιλοδοξεί να γίνει επαγγελματίας και δεν μπορεί να επενδύσει σε κάτι αντίστοιχο, είτε γιατί είναι σχεδιαστής που θέλει να έχει τον έλεγχο και της παραγωγής, ή γιατί θέλει να δουλέψει με e-shop. Χρειάζεται λοιπόν μία τεχνολογία που να αφαιρεί όσο γίνεται την «κομβικότητα» του εργαστηρίου (Berman, 2012) και να αφήνει, μεγαλύτερο περιθώριο στο σχεδιαστικό κομμάτι.

Ποια θα ήταν η πιο συμφέρουσα επένδυση; Να επενδύσει σε ένα CNC milling, ή σε ένα 3D printer;

Γενικά όπως έχουμε πεί, τα CNC είναι καλύτερη λύση, όταν πρέπει τα πρωτότυπα αντικείμενα, να είναι πολύ ανθεκτικά ή/ και με αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. ή όταν θέλουμε να κατασκευάσουμε μεγάλες ποσότητες. (Grieser, 2015)

Το 3D printing, έχει πιο ευρύ και σίγουρα, πίο εξωτικό πεδίο εφαρμογών: bioprinting (εκτύπωση ιστών), εκτύπωση φαγώσιμων, στην οικοδομή, στην τέχνη, στην ιατρική, στο διάστημα κτλ. (Grieser, ό.π.)

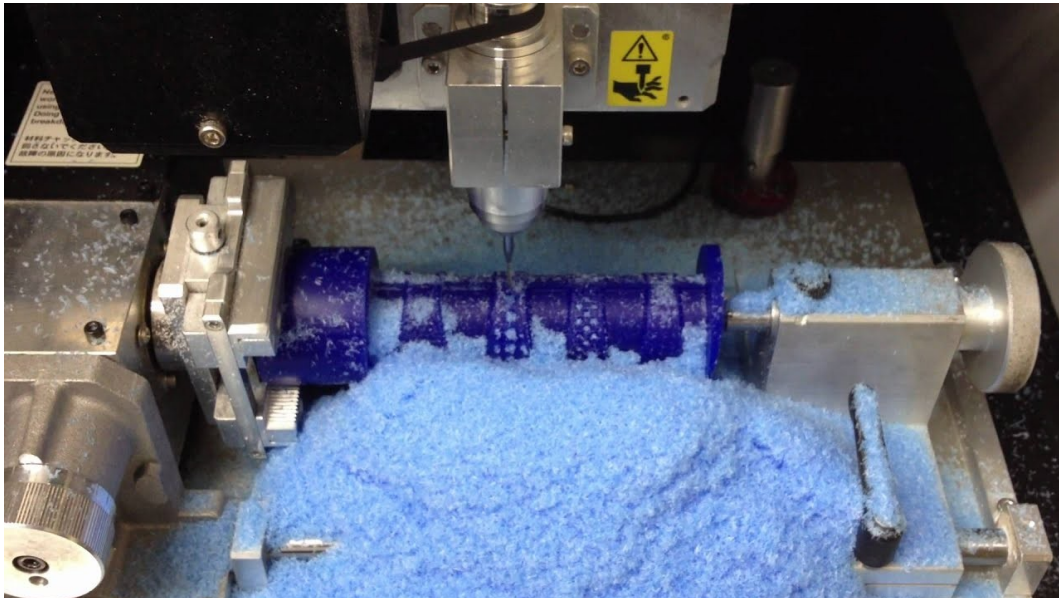
Συγκρίνοντας τις δύο τεχνολογίες, να θυμηθούμε τα θετικά και τα αρνητικά:

- στο CNC πρέπει να υπάρχει ένας ειδικευμένος τεχνίτης ώστε να επιλέγει εργαλεία και να επιβλέπει την όλη διαδικασία (Γιαννατσής κ.ά., 2015), (<https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-vs-cnc-160320184/#!>), ενώ στον 3D printer από τη στιγμή που θα αρχίσει η εκτύπωση, ουσιαστικά δεν χρειάζεται επιβλέπων.(Jamie, 2018)
- Τα CNC μηχανήματα παράγουν πολύ δυνατό θόρυβο και υψηλές δονήσεις. (Grieser, 2015)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

Αυτό σημαίνει ότι ο χώρος που βρίσκεται το CNC πρέπει να βρίσκεται σε ένα παραδοσιακό εργαστήριο (μηχανουργείο) και ίσως μία αντίστοιχη γειτονιά.

Σε αντίθεση, ο 3D printer μπορεί να είναι εξοπλισμός γραφείου.

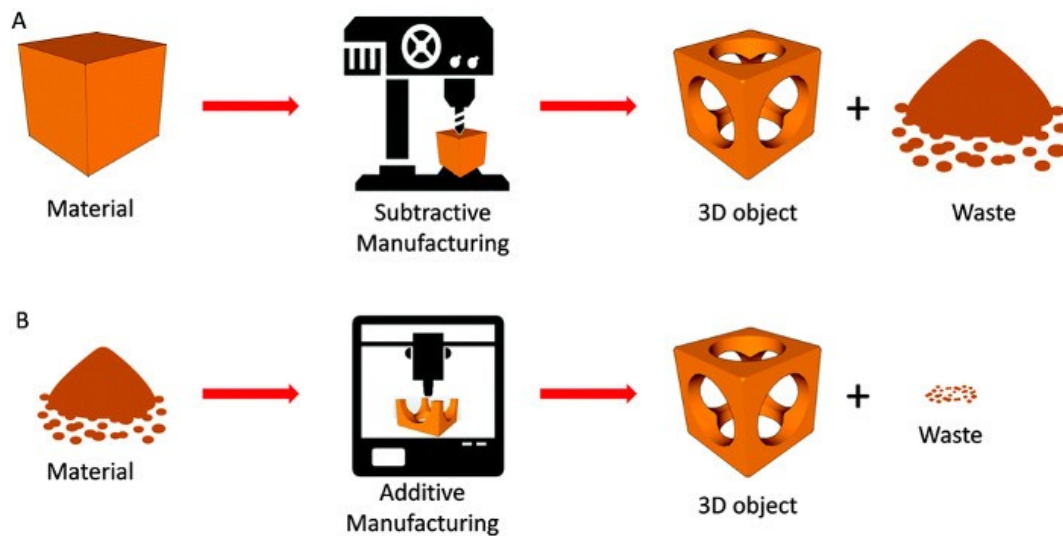


Εικόνα 4: CNC mill Πηγή : <https://www.youtube.com/watch?v=ZJJyv155QHI>

Ακόμα και τυχόν αναθυμιάσεις αντιμετωπίζονται απλώς με το να είναι σε ένα ξεχωριστό, καλά αεριζόμενο δωμάτιο μίας κατοικίας.

- Τα CNC μηχανήματα, αφαιρούν υλικό που διασκορπίζεται. Γενικά χρειάζεται επισταμένη καθαριότητα μετά την εργασία. Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές από την άλλη, δεν λερώνουν τον περιβάλλοντα χώρο, αφού το υλικό προστίθεται. Το πολύ να χρειαστεί να καθαρίσουμε την πλάκα εκτύπωσης (printbed), ή αν μας χυθεί από απροσεξία υγρή ρητίνη (<https://all3dp.com/3d-printing-vs-cnc-milling/>)
- Το CNC μηχάνημα αφαιρεί πολύ υλικό από το αρχικό κομμάτι (blank) που συχνά δεν ανακυκλώνεται και κατά συνέπεια υπάρχει σπατάλη. Αντίθετα, ο 3D printer, χρησιμοποιεί μόνο το ελάχιστο απαιτούμενο υλικό.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 5: Αφαιρετική και Προσθετική μέθοδος

πηγή: <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-vs-cnc-160320184/#/>

- Η πολυπλοκότητα του σχεδίου θέτει σημαντικούς περιορισμούς στα CNC μηχανήματα. Τα κοπτικά εργαλεία, δεν έχουν πρόσβαση σε όλα τα σημεία (δύσκολες εσοχές κτλ).

Έτσι υπάρχουν γεωμετρίες που είναι αδύνατον να τις δημιουργήσουν.

Από την άλλη μεριά, η πρόσθεση υλικού των τρισδιάστατων εκτυπωτών, δεν αντιμετωπίζει τέτοιους περιορισμούς (Bournias Varotsis, χ.χ.)

#### 2.4.1 Συμπεράσματα – Επιλογή Τεχνολογίας κατασκευής

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι στον τομέα του κοσμήματος υπερισχύει η προσθετική έναντι της αφαιρετικής μεθόδου. Θεωρείται βέβαιο, ότι στο μέλλον το κάθε κατάστημα (ακόμα και γενικών), κατασκευών θα έχει και ένα 3 D printer (Zelinski, 2013)

Οι 3d printers, φθάνουν σε επίπεδα πολυπλοκότητας, που είναι αδύνατο να αναπαραχθούν με άλλες τεχνολογίες: (Balletti κ.ά., 2017) και δεν αντιμετωπίζουν σχεδιαστικούς περιορισμούς (Bournias Varotsis, χ.χ.).

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Μπορούμε να δημιουργήσουμε χαρακτηριστικά που είναι εξαιρετικά δύσκολο, ή και αδύνατον να δημιουργήσουμε με παραδοσιακές μεθόδους (Horn & Harrysson, 2012). Άλλωστε ακόμα και ειδικευμένες εταιρείες στο CNC milling για κόσμημα, αναφέρουν ότι θα υπάρξουν περιπτώσεις όπου μόνο ένας 3D printer μπορεί να κατασκευάσει κάποιο αντικείμενο([www.deskproto.com/products/123waxring.php](http://www.deskproto.com/products/123waxring.php)) Όπως επίσης εταιρείες κατασκευής και διάθεσης CNC, εντάσσουν τους 3D Printers στα προϊόντα τους ([www.crosswindmachining.com/3d-printing-vs-cnc-machining](http://www.crosswindmachining.com/3d-printing-vs-cnc-machining))

## **2.5 Επιλογή κατάλληλης AM τεχνολογίας**

Το επόμενο που μας απασχολεί είναι η επιλογή του είδους της προσθετικής τεχνολογίας. Γενικά δεν υπάρχει ‘καλύτερη’ τεχνολογία. Υπάρχει όμως η περισσότερο κατάλληλη, ανάλογα με την εργασία για την οποία τη χρειαζόμαστε.

Οι παράμετροι που μας απασχόλησαν στην επιλογή μεταξύ αφαιρετικής και προσθετικής ισχύουν και εδώ.

Έχουμε πει ότι το κόσμημα που δεν δουλεύεται εξαρχής στο τελικό υλικό (καθαρά χειροποίητο), υλοποιείται με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.

Ακόμα και αν πρόκειται για μοναδικό αντικείμενο, αυτή η πανάρχαια μέθοδος, (Hunt, 1980) είναι ακόμα η καλύτερη επιλογή.

Εάν πρόκειται να βγει στην παραγωγή, (παραγωγικό κόσμημα-μικρογλυπτό), θα πάρουμε με αυτό τον τρόπο το (master) μοντέλο και θα επαναλάβουμε τη μέθοδο του χαμένου κεριού, μαζί με κάποια επιπλέον βήματα που θα αναφέρουμε αργότερα. Είναι ανάγκη λοιπόν, η τεχνολογία εκτύπωσης να χρησιμοποιεί υλικά που να μπορούν να χυτευθούν.

Ακόμα η μελέτη μας, όπως έχουμε πει, εστιάζει σε εργαστήρια μικρά, σε σχεδιαστές, σε ερασιτέχνες ή/και επαγγελματίες στα πρώτα τους βήματα. Περιπτώσεις δηλαδή, που δεν θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τεχνολογία πανάκριβη και ασύμφορη,



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

που κάποιες μεγάλες εταιρείες, μπορεί να χρησιμοποιούν αν και είναι ίσως ασύμφορες ακόμα οικονομικά, για λόγους διαφημιστικούς και promotion.

Οι παράμετροι που μας ενδιαφέρουν είναι:

- υψηλή ποιότητα εκτύπωσης. Τόσο το κόσμημα, όσο και το μικρογλυπτό, απαιτούν μία τεχνολογία που να μπορεί να συλλάβει τις ιδιαίτερες λεπτομέρειες που θα έχει το ψηφιακό σχέδιο και να μπορεί επίσης να τις αποδώσει με την ποιοτική της εκτύπωση.
- ο εκτυπωτής να μην είναι “εργαστηριακά προσανατολισμένος”, τόσο από άποψη απαιτήσεων χώρου όσο και από ευκολία χρήσης ( π.χ.να μην υπάρχουν ιδιαίτερα επικίνδυνα υλικά, που να διασπείρονται εύκολα)
- να μην απαιτεί μετα-επεξεργασίες ιδιαίτερα πολύπλοκες και χρονοβόρες
- να χρησιμοποιεί υλικά, με όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοση στη χύτευση (like-wax materials)
- να είναι οικονομικός και αξιόπιστος.

Από τις γενικές κύριες τεχνολογίες , που είδαμε παραπάνω, ισχύουν τα εξής:

### **2.5.1 SLS τεχνολογία**

#### **Πλεονεκτήματα**

- Υψηλή μηχανική αντοχή του προϊόντος.(Γιαννατσής κ.ά., 2015)
- Δημιουργία πολύπλοκης γεωμετρίας
- Δεν απαιτείται δομική υποστήριξη καθώς η ανεπεξέργαστη σκόνη του υλικού στηρίζει το αντικείμενο, έτσι μειώνονται οι περιορισμοί στις γεωμετρίες που μπορούν να εκτυπωθούν (Singh κ.ά., 2020)
- Η διαδικασία για το στήσιμο (προετοιμασία σετάρισμα) των SLS εκτυπωτών και ο τρόπος επαναχρησιμοποίησης της σκόνης του υλικού μπορεί να φαίνεται λίγο πολύπλοκη, μα με τα σωστά εργαλεία τα πράγματα απλοποιούνται σημαντικά.

### **Μειονεκτήματα**

- Τραχύτητα αντικειμένων, χαμηλή ακρίβεια και πορώδης υφή.  
(Γιαννατσής κ.ά., 2015)
- Επίσης, αν και βοηθάνε τα κατάλληλα εργαλεία, είναι αρκετά δύσκολη διαδικασία να μαζευτεί καλά η πούδρα υλικού που έχει απομείνει .
- Είναι ακριβή τεχνολογία και μόνο βιομηχανικά συστήματα SLS είναι προς το παρόν ευρέως διαθέσιμα. (παρόλαυτα, τελευταία τείνει να γίνει συγκριτικά χαμηλού κόστους τεχνολογία, αφού έχουν μειωθεί οι τιμές των PBF printers (πηγή: <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/powder-bed-fusion/>)
- Οι μεγάλες επίπεδες επιφάνειες καθώς και οι μικρές τρύπες δεν μπορούν να εκτυπωθούν με ακρίβεια καθώς είναι ευαίσθητες σε στρεβλώσεις και υπεραπόθεσης υλικού
- Χρειάζεται μετεπεξεργασία (post-processing) εάν θέλουμε αντικείμενα χωρίς πόρους και τραχύτητα.  
(<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing/#post-processing>)
- Ακόμα η σκόνη απαιτεί προφυλάξεις (μάσκα). (Kerns, 2015)
- Ο εξοπλισμός είναι μεγάλος που το καθιστά ακατάλληλο για το περιβάλλον γραφείου (<https://thes3d.gr/sls-vs-sla-vs-fff/>)

## **2.5.2 FDM τεχνολογία**

### **Πλεονεκτήματα**

- Το χαμηλό κόστος, η ευκολία χρήσης και η ταχύτητα κάνουν πολύ δημοφιλείς τους FDM printers. (Gibson κ.ά., 2010)
- Η αλλαγή υλικού έγκειται απλώς στη αλλαγή καρουλιού νήματος (Finnes, 2015)
- Η μόνη καθαριότητα που χρειάζεται πριν την επόμενη εκτύπωση, είναι να αφαιρέσουμε το προηγούμενο εκτυπωμένο αντικείμενο.(Finnes, ό.π)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

- Η δυνατότητα χρήσης υδατοδιαλυτών υλικών και γενικά διαφορετικού υλικού για τις δομές στήριξης από το υλικό του κυρίως αντικειμένου, εξασφαλίζει ότι το τελικό προϊόν έχει ομαλή επιφάνεια και χρειάζεται ελάχιστη μεταγενέστερη επεξεργασία.
- Η συμπαγής φύση του εξοπλισμού σημαίνει ότι μπορεί να χωρέσει σε επιφάνεια εργασίας ή να τοποθετηθεί σε ράφι. (<https://thes3d.gr/sls-vs-sla-vs-fff/>) ( office friendly) (<https://www.stratasys.com/fdm-technology> )
- Επίσης, είναι είναι μία πολύ προσιτή λύση που καθίσταται ιδανική για όσους δεν μπορούν να διαθέσουν τα κονδύλια των μεγάλων εταιρειών. (Gaget, 2019)

#### **Μειονεκτήματα**

- Χαμηλή ποιότητα εκτύπωσης. Η διαστρωμάτωση του υλικού, είναι συχνά ορατή.(Finnes, 2015)
- Απαιτεί περισσότερη εργασία στο CAD για να βελτιωθούν- απλοποιηθούν (optimize) τα μοντέλα πριν την εκτύπωση
- Η ποιότητα εκτύπωσης γενικά δεν είναι συγκρίσιμη με τις τεχνολογίες που περιλαμβάνουν χρήση λέιζερ (Balletti κ.ά., 2017)

### **2.5.3 SLA τεχνολογία**

#### **Πλεονεκτήματα**

- Υψηλή γεωμετρική ακρίβεια, ομαλές επιφάνειες χωρίς έντονους πόρους. (Γιαννατσής κ.ά., 2015) Έχει το υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας από τις τεχνολογίες που εξετάζουμε
- Ο εξοπλισμός είναι συμπαγής και σχετικά εύκολος στη λειτουργία
- Είναι δυνατή η εκτύπωση πολλαπλών υλικών με διάφορες ιδιότητες χρησιμοποιώντας αυτήν τη μέθοδο (<https://thes3d.gr/sls-vs-sla-vs-fff/>)

#### **Μειονεκτήματα**

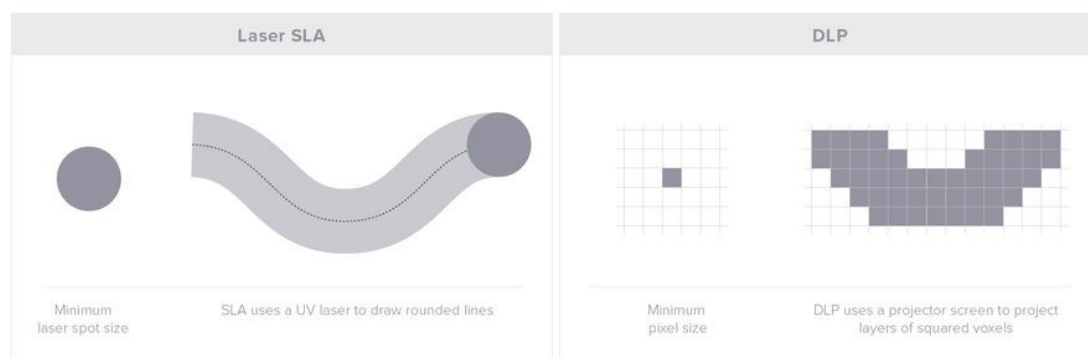
Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

- Η προετοιμασία της εκτύπωσης, απαιτεί αρκετή προσοχή. Οι υγρές ρητίνες, εύκολα μπορεί να χυθούν κατά τη διαδικασία γεμίματος του ρεζερβουάρ.
- Τα αναλώσιμα δεν είναι ασφαλή για χειρισμό χωρίς γάντια, μυρωδιά δυσάρεστη και εύφλεκτα
- Η εκτύπωση διαρκεί αρκετό χρόνο.
- Μετά το τέλος της εκτύπωσης το αντικείμενο χρειάζεται επιπλέον επεξεργασία για στερεοποίηση. (<https://thes3d.gr/sls-vs-sla-vs-fff/>)
- Η υγρή ρητίνη που έχει περισσέψει, πρέπει να αποθηκευτεί γρήγορα, αλλιώς θα στερεοποιηθεί και θα αχρηστευθεί, κάνοντας ζημιά και στο ρεζερβουάρ. (Finnes, 2015)
- Απαιτούνται υποστηρικτικές δομές για να αποτραπούν δομικές παραμορφώσεις. Οι υποστηρικτικές δομές δημιουργούνται κατά τη φάση προετοιμασίας των CAD μοντέλων, αλλά πρέπει να αφαιρεθούν από το χειριστή του εκτυπωτή. (Γιαννατσής κ.ά., 2015)

## 2.5.4 DLP τεχνολογία

### Πλεονεκτήματα σε σχέση με την SLA

Επειδή προβάλλεται ολόκληρη η διατομή και επομένως χτίζεται όλη μαζί, είναι πολύ πιο γρήγορη από την SLA.



Εικόνα 6: πηγή: <https://www.3dhub.gr/comparison-sla-vs-dlp/>

### Μειονεκτήματα σε σχέση με την SLA

Από την άλλη μεριά, επειδή ο προβολέας είναι μία ψηφιακή οθόνη, κάθε εικόνα

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

αποτελείται από τετραγωνικά pixels. Έτσι, κάθε «στρώμα» υλικού αποτελείται από μικρά ορθογώνια παραλληλεπίπεδα που ονομάζονται **voxels**. Γιαντό και τα στρώματα υλικού δημιουργούν το φαινόμενο των ‘σκαλοπατιών’, σε αντίθεση με τους SLA printers που δημιουργούν πολύ πιο ομαλές επιφάνειες.

## 2.5.5 Συγκρίσεις τεχνολογιών Προσθετικής Κατασκευής

Οι τεχνολογίες κυρίως που χρησιμοποιούνται στο κόσμημα και που βγαίνουν συμπερασματικά από αυτά που έχουμε δει παραπάνω, είναι:

1. η **SLA** και η συγγενής τεχνολογία **DLP**

(<https://3dadept.com/3d-printing-technology-in-the-jewellery-sector/>)

Η SLA υπερिशύει σε ποιότητα ενώ η DLP υπερिशύει σε ταχύτητα.

2. Μία ακόμη τεχνολογία εκτύπωσης που χρησιμοποιείται με επιτυχία στο κόσμημα, είναι η **DOD. Drop On Demand printing** ( Σταγόνα κατά Απαίτηση) είναι μία τεχνολογία εκτόξευσης υλικού, που χρησιμοποιεί διπλή κεφαλή εκτόξευσης. Η μία είναι για να εκτοξεύει ένα υλικό που μοιάζει με κερί και ένα υλικό για την υποστηρικτική δομή, που διαλύεται.

( <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/jewelry-3d-printing-applications/>)

Η τεχνολογία αυτή, δημιουργεί εκτυπώσεις υψηλής ποιότητας που έχει κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τους SLA/DLP printers όπως, ότι η υποστηρικτική δομή διαλύεται, επιτρέποντας έτσι πιο ομαλές επιφάνειες και καθιστώντας έτσι πιο εύκολη την διαδικασία της μετα-επεξεργασίας, αλλά είναι ακριβότερη

([www.3dhubs.com/knowledge-base/jewelry-3d-printing-applications/](http://www.3dhubs.com/knowledge-base/jewelry-3d-printing-applications/))

Ακόμα, το υλικό λειτουργεί πολύ καλύτερα κατά της διαδικασία της χύτευσης.

(Redwood, χ.χ.)

3. Υπάρχει ακόμα η μέθοδος της κατευθείαν εκτύπωσης σε μέταλλο με μία τεχνολογία που χρησιμοποιεί, πρώτη ύλη σε κόκκους (πούδρα) (Powder bed fusion)

Η **DMLS/SLM**, Επιλεκτική Συσσωμάτωση κόκκων μετάλλου με λέιζερ ,( Direct Metal Laser Sintering, DMLS) ή Επιλεκτική τήξη με λέιζερ,(Selective Laser Melting, SLM), χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεταλλικών αντικειμένων

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

από μεταλλική πούδρα. Στο κόσμημα, τα κομμάτια εκτυπώνονται από κράματα χρυσού, ασημιού ή πλατίνας και χρειάζονται σημαντική μετα-επεξεργασία για να φινιριστούν. Η **SLM** διαφέρει από την **SLS**, καθώς στην **SLM**, οι κόκκοι μετάλλου λειώνουν τελείως με την ακτίνα του λέιζερ, ενώ στην **SLS** οι επιφάνειες δημιουργούνται με τη συγκόλληση μέσω θερμοκρασίας.(Zito, Allodi, Sbornicchia, & Rappo, χ.χ.)

Γενικά είναι πιο ακριβή διαδικασία από τη χύτευση και απαιτεί τη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων πολύτιμης σκόνης, με ότι αυτό συνεπάγεται. (Redwood, χ.χ.)

## **2.5.6 Σκέψεις και διαπιστώσεις, σχετικά με τις τεχνολογίες**

### **AM που εξετάσαμε**

Γενικά οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν φωτοπολυμερή υλικά, έχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην βιομηχανία του κοσμήματος, ('Annual Revenues from Jewelry 3D Printing to Top \$900 Million in 2026', 2017)

Αυτό οφείλεται κυρίως στην υψηλή λεπτομέρεια πολύπλοκων γεωμετριών που μπορούν να αποδώσουν, στο 'μαζεμένο' εξοπλισμό και στις συμφέρουσες τιμές.

Οι **SLA/DLP** τεχνολογίες, είναι οι πιο κατάλληλες για την έρευνά μας. Είναι οικονομικές, έχουν πάρα πολύ καλή ποιότητα εκτύπωσης (υπερέχει σχετικά η SLA) και είναι αρκετά γρήγορες (υπερέχει σε γενικές γραμμές η DLP).

Οι **DOD** παράγουν χυτεύσιμα προϊόντα υψηλής λεπτομέρειας και έχουν πιο εύκολη διαδικασία κατά τη χύτευση, αλλά είναι πιο ακριβή τεχνολογία.

Η τεχνολογία άμεσης εκτύπωσης σε μέταλλο, **SLM** είναι μία πολύ ακριβή μέθοδος που χρειάζεται μεγάλη και εξειδικευμένη μετα-επεξεργασία.([www.3dhubs.com/knowledge-base/jewelry-3d-printing-applications/](http://www.3dhubs.com/knowledge-base/jewelry-3d-printing-applications/))

Η πούδρες μετάλλων απαιτούν προσεκτική διαχείριση αλλά και κατάλληλο χώρο (εργαστηριακό αλλά και με πρόβλεψη ασφάλειας).

Είναι μία τεχνολογία, που μειώνει την γραμμή της διαδικασίας παραγωγής, αλλά προς το παρόν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από ισχυρές εταιρείες κοσμήματος και ίσως περισσότερο για διαφημιστικούς λόγους (η εξωτικότητα του 3d printed κοσμήματος).

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί 'πούδρες' πολύτιμων μετάλλων, είναι ακόμα στο περιθώριο, ωστόσο θεωρείται μία σημαντική ευκαιρία, καθότι θα αλλάξει τελείως τον παραδοσιακό τρόπο κατασκευής. Γιαυτό και θεωρείται ότι έχει την πιο σημαντική δυναμική στην αγορά ('3D Printing Technology in the Jewellery Sector', 2019)



*Εικόνα 7: πηγή: [https://youtu.be/t7\\_HNEncd3o](https://youtu.be/t7_HNEncd3o)*

Ο χρυσός παραμένει μακράν το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό σε κοσμήματα (και σε εκείνα που το master μοντέλο έχει εκτυπωθεί σε κερι από 3D printer), και οι νέες τεχνολογίες αναμένεται να εισάγουν νέα κράματα χρυσού και χρώματα ( όπως μπλε και πράσινο) που είναι δύσκολο να δουλευτούν με τυπικές διαδικασίες κατασκευής. Τα κράματα από λευκόχρυσο μπορούν επίσης να επωφεληθούν σημαντικά από τις τεχνολογίες 3D εκτύπωσης, επιτρέποντας προϊόντα και ελαφριά προϊόντα κοσμημάτων από πλατίνα που είναι αδύνατο να κατασκευαστούν με παραδοσιακά μέσα. ('Annual Revenues from Jewelry 3D Printing to Top \$900 Million in 2026', 2017)

Η μελέτη του Alessio Carlotto (2013), η μελέτη δείχνει με σαφήνεια ότι είναι εφικτή η παραγωγή χρυσών κοσμημάτων με τεχνολογία SLM.

Ακόμα με το direct printing σε μέταλλο, θα είναι δυνατόν να δημιουργηθούν γεωμετρίες, που δεν γίνονται με τη μέθοδο του χαμένου κεριού ( όπως "κούφιας" γεωμετρίες). Επίσης, οι 'προσωπικές' προσαρμογές είναι πιο εφικτές.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

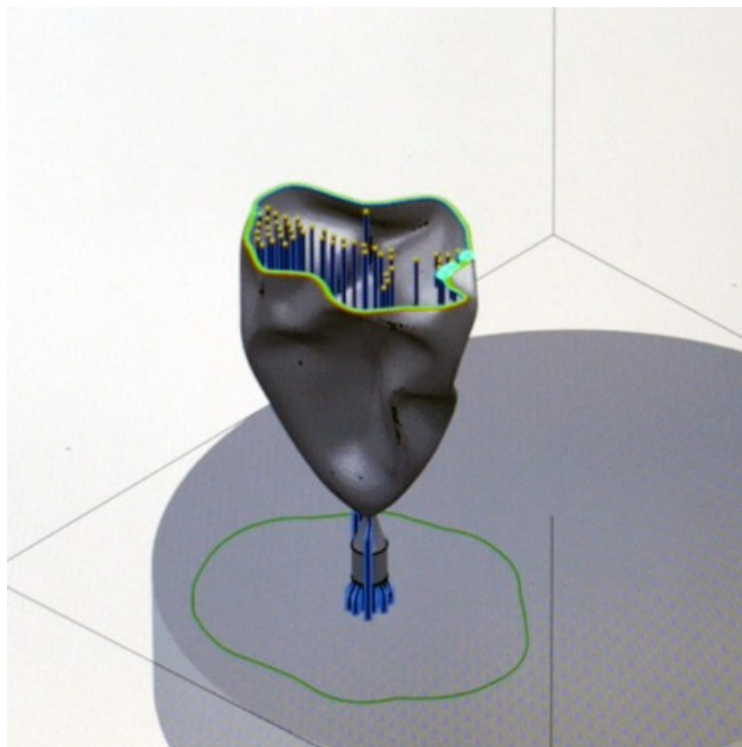
Ο Lionel T Dean, δίνει στον πελάτη, μία μεταλλική καρδιά και ένα σφυρί. Εκείνος την σφυροκοπά και δημιουργεί μία τελείως μοναδική φόρμα. Αυτή η φόρμα σαρώ-νεται από έναν 3D scanner και κατόπιν εκτυπώνεται από έναν εκτυπωτή σε χρυσό και γίνεται μενταγιόν. Ένα χρυσό μενταγιόν μασίφ σε αυτό το μέγεθος, θα ήταν πολύ βαρύ και θα κόστιζε πάρα πολύ ακριβά (Hobson, 2015)



*Εικόνα 8: 'Heartbeat' πηγή: <https://www.dezeen.com/2015/09/08/3d-printed-gold-jewellery-18-carat-reshape-industry-lionel-t-dean/>*



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 9: heartbeat πηγή:  
<https://www.dezeen.com/2015/09/08/3d-printed-gold-jewellery-18-carat-reshape-industry-lionel-t-dean/>

Επειδή όμως εκτυπώνεται απευθείας σε μέταλλο με τεχνολογία DMLS (<https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/eos-precious-m-080/>) μπορεί να εκτυπωθεί με κενό εσωτερικό.

Επίσης, παύει να αυξάνει το κόστος κατασκευής ανάλογα με την πολυπλοκότητα του κομματιού (Cooper, 2015) .

Οι Zito, Allodi, Sbornicchia, & Rappo (ό.π.), συμπεραίνουν ότι στο εγγύς μέλλον, η παραδοσιακή χύτευση και η direct printing μέθοδοι, θα αλληλοσυμπληρώνονται ανοίγοντας

έτσι νέες δυνατότητες στο χώρο της κοσμηματοποιίας, τόσο από άποψη οικονομίας όσο και από άποψη καινοτόμων τεχνικών.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

### **2.5.7 Συμπερασματικά με τις τεχνολογίες 3D Printing**

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε, ότι η πιο κατάλληλη τεχνολογία για εκτύπωση κοσμήματος ή/και μικρογλυπτού, είναι η SLA και η 'συγγενής' τεχνολογία DLP. Η SLA υπερσχύει σε ποιότητα ενώ η DLP υπερσχύει ( αν και σε γενικούς όρους ) σε ταχύτητα. Επίσης μία πιο ακριβή αλλά πολύ σημαντική επιλογή είναι η DOD τεχνολογία, με την εξαιρετική ποιότητα εκτύπωσης και τα υλικά με την πολύ καλή συμπεριφορά κατά τη χύτευση (ιδανική ίσως επιλογή για ανάθεση σε εξωτερική υπηρεσία εκτύπωσης. Η DMLS, ίσως είναι η τεχνολογία που θα περιορίσει δραματικά τη χρήση του χυτηρίου γενικά, αλλά είναι πολύ ακριβή προς το παρόν.

### 3 Τεχνολογίες 3D CAD – modelling

Ως σχεδίαση με τη βοήθεια υπολογιστή ( **CAD**, **C**omputer **A**ided **D**esign ), ορίζεται η χρήση λογισμικού υπολογιστών για να βοηθήσει στη δημιουργία, την τροποποίηση, την ανάλυση ή τη βελτιστοποίηση ενός σχεδίου. (Groover & Zimmers, 1983)

Το **CAD**, χρησιμοποιείται για τη δημιουργία 2διάστατων ή 3διάστατων εικονικών μοντέλων, είτε για χρήση σε ψηφιακά περιβάλλοντα (web sites, animations κτλ) είτε για διαδικασίες κατασκευής ή πρωτοτυποποίησης, όπως **Additive Manufacturing**, **Computer Aided Manufacturing** κτλ. ( [www.sculpteo.com/en/glossary/cad-definition-en/](http://www.sculpteo.com/en/glossary/cad-definition-en/))

Το 3D CAD ( **3** **D**imensional **C**omputer **A**ided **D**esign ) είναι, μία τεχνολογία σχεδιασμού, που αντικαθιστά το παραδοσιακό σκάλισμα στο κερί ή στον πηλό, με μία αυτοματοποιημένη διαδικασία. ( [www.autodesk.com/solutions/3d-cad-software](http://www.autodesk.com/solutions/3d-cad-software))

Στο χώρο του κοσμήματος, το 3D design, προσφέρει εκτός από εξοικονόμηση χρόνου, δυνατότητα να δούμε το μοντέλο από διάφορες οπτικές γωνίες, αλλά με τον φωτορεαλισμό (rendering), να δούμε πολύ ρεαλιστικά το πώς θα είναι το τελικό αποτέλεσμα.(Stamati & Fudos, 2005)

Υπάρχουν πολλές 3D CAD -modelling εφαρμογές από τις οποίες μπορούμε να επιλέξουμε. Εξαρτάται από τα προσωπικά μας ενδιαφέροντα, το είδος των αντικειμένων που ενδιαφερόμαστε να δημιουργήσουμε και τον σκοπό για τον οποίο τα δημιουργούμε.

Τα 3D λογισμικά, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες,.

Ανάλογα με το πως προσεγγίζουν την διαδικασία μοντελοποίησης, χρησιμοποιούν και ανάλογη τεχνολογία μοντελοποίησης.

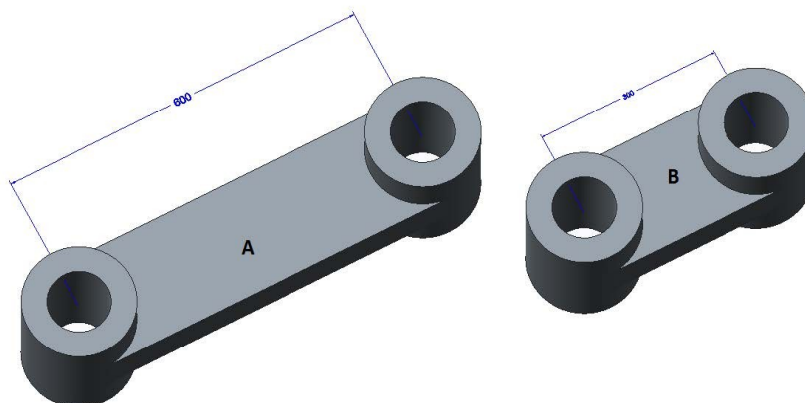
Παρακάτω, θα αναφερθούμε σε μερικές από αυτές τις τεχνολογίες.

### 3.1.1 Παραμετρική Μοντελοποίηση

Είναι μία διαδικασία μοντελοποίησης, με την οποία υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής του σχήματος της γεωμετρίας του μοντέλου, μόλις τροποποιηθεί η τιμή μίας διάστασης. (Gaget, 2018)

Η παραμετρική μοντελοποίηση, είναι **feature-based**, δηλαδή, μπορούμε να την λέμε, παραμετρική μοντελοποίηση με χαρακτηριστικά (Δεδούσης, Β., Γιαννατσής, Ι., & Κανελλίδης, Β., 2015).

Τα μέρη που αποτελούν το μοντέλο, έχουν features (χαρακτηριστικά), όπως τρύπες, στρογγυλοποιημένες ακμές κτλ.



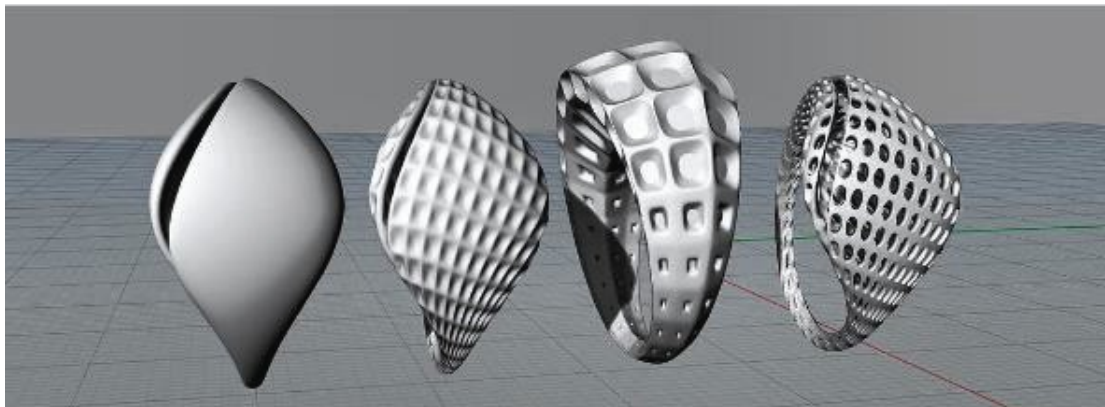
*Εικόνα 10: Τροποποίηση αντικειμένου σχεδιασμένο με χρήση παραμετρικού μοντελοποιητή πηγή: (Δεδούσης κ.ά., 2015)*

Η παραμετρική μοντελοποίηση τελικά, είναι μία γραμμική διαδικασία μοντελοποίησης, κατά την οποία μπορούμε να πάμε σε ένα προηγούμενο στάδιο, να αλλάξουμε ένα χαρακτηριστικό και να αναβαθμιστεί το αντικείμενο μέχρι το τελευταίο στάδιο.

Θα μπορούσε να ονομάζεται, μοντελοποίηση που 'χρησιμοποιεί ιστορικό' (history based). (Alba, 2018)

Με την παραμετρική μοντελοποίηση, ένας σχεδιαστής, μπορεί να δημιουργήσει ένα συγκεκριμένο ,βασικό, μοντέλο και κατόπιν μετατρέποντας τις παραμέτρους του να δημιουργήσει διάφορες εκδοχές χωρίς κόπο. (Kamçi & Turan, 2018)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 11: Διαφοροποιήσεις μοντέλων αλλάζοντας παραμέτρους

πηγή: Kamçi, M. T., & Turan, B. O. (2018). *Parametric Approaches to Innovative Jewelry Design*.

Η παραμετροποίηση με ιστορικό, μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα όταν κάποιος σχεδιάζει χωρίς συγκεκριμένο πλάνο. Χρειάζεται να έχει κατανοήσει σε βάθος κάποιος, τον τρόπο κατασκευής του μοντέλου και του πώς δημιουργήθηκαν οι γεωμετρικές του σχέσεις. (Alba, ό.π.)

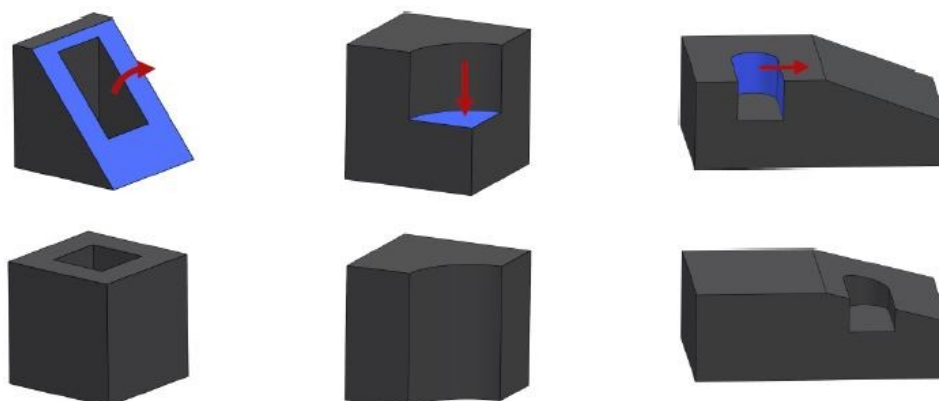
Όπως, και ότι εάν μαζευτούν πολλά features, κάθε αλλαγή που θα γίνεται σε κάποιο χαρακτηριστικό στην αρχή του ιστορικού, θα παίρνει πολύ χρόνο, αφού το λογισμικό θα πρέπει να κάνει πολλούς υπολογισμούς.

(<https://support.shapr3d.com/hc/en-us/articles/115001425653-What-s-the-difference-between-parametric-and-direct-modeling->)

### 3.1.2 direct modeling

Στον αντίποδα κατά μία έννοια, βρίσκεται η λογική της **άμεσης μοντελοποίησης**. Είναι μία μοντελοποίηση κατά την οποία, δεν μπορείς να χρησιμοποιήσεις ιστορικό. Κατ' αυτήν, μπορεί κάποιος να μετατρέψει άμεσα τη γεωμετρία (το σχήμα) ενός μοντέλου, χωρίς να μπορεί να μετατρέψει ή να επηρεάζει, τις σχέσεις μεταξύ των στοιχείων από τα οποία αποτελείται το μοντέλο.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 12: πηγή: Zou, Q., & Feng, H.-Y. (2019). *Push-pull direct modeling of solid CAD models. Advances in Engineering Software*

Το μετατρέπει απλώς με το να ‘σπρώχνει’, να ‘τραβάει’ , να ‘πιέζει’ το αντικείμενο. (Rudeck, 2013) Η μέθοδος αυτή, δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί κάποιος εύκολα το μοντέλο του, γιατί και είναι πολύ βολική στα αρχικά στάδια της μοντελοποίησης, όταν κάποιος δοκιμάζει ιδέες και παραλλαγές ή κατά την επίδειξη στον πελάτη (Zou & Feng, 2019).

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, τεχνικές λεπτομέρειες και καλύτερη υπό κλίμακα απεικόνιση τους, είναι προτιμότερη η παραμετρική μοντελοποίηση. (Gaget, 2018)

### 3.1.3 polygonal modeling (πολυγωνική μοντελοποίηση)

Ενας από τους πιά συνηθισμένους, είναι η χρήση πολυγώνων (polygonal modeling ). (Μάτέ, 2019)

Τα τρισδιάστατα μοντέλα της πολυγωνικής μοντελοποίησης, δεν δημιουργούνται με μαθηματικούς τρόπους.

Το πολύγωνο, μπορεί να είναι ένα απλό τρίγωνο , τετράγωνο, αλλά αν συνδυαστούν πολλά, δημιουργούν ένα 3διάστατο αντικείμενο.

Τα πολύγωνα αποτελούνται από τρία στοιχεία: κορυφές (**vertices**), ακμές (**edges**) και πλευρές (**faces**).

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

**Vertex:** μία κορυφή (vertex), είναι απλά ένα σημείο στο χώρο.

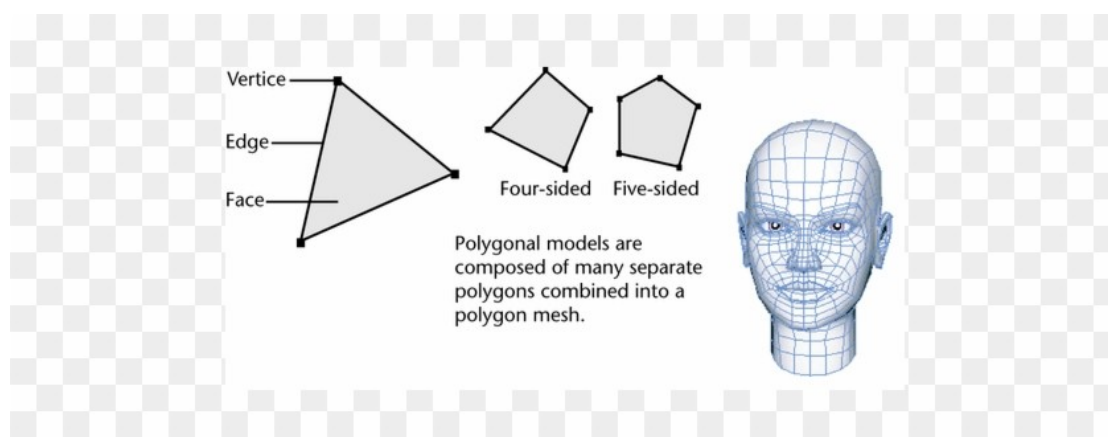
Είναι το σημείο, όπου 2 ή περισσότερες ακμές τέμνονται.(διασταυρώνονται.)

**Edge:** μία ακμή (edge), είναι ένα ευθ. τμήμα, που ενώνει 2 σημεία.

Είναι η τομή δύο ή περισσότερων πλευρών (**faces**).

**Face:** είναι μία κλειστή επιφάνεια, που ορίζεται από τρεις, ή περισσότερες ακμές.

(<https://www.youtube.com/watch?v=kECACbOriIg>)



Εικόνα 13: πηγή: [https://www.pngfind.com/mpng/iThJbTx\\_you-create-your-3d-polygonal-models-using-polygon/](https://www.pngfind.com/mpng/iThJbTx_you-create-your-3d-polygonal-models-using-polygon/)

Η πλευρά είναι το ορατό τμήμα του πολυγώνου στον φωτορεαλισμό (rendering). Μπορούμε να μετακινήσουμε τα σημεία και τις ακμές, ώστε να δημιουργήσουμε αλλαγές σχήματος, μεγέθους και θέσης. Μετακινώντας και συνδυάζοντας πολύγωνα δημιουργούμε ένα τρισδιάστατο κέλυφος (shell). (Μάτέ, ό.π.)

Το βασικό πρόβλημα δημιουργείται επειδή τα πολύγωνα είναι τελείως επίπεδα. Για να γίνει λοιπόν το αντικείμενό μας πιο φυσικό, συχνά πρέπει να προσθέσουμε πολύγωνα δηλαδή, να τα πολλαπλασιάσουμε ώστε να αυξηθεί η ανάλυση. Αυτό όμως αυξάνει και το μέγεθος του αρχείου μας.

### 3.1.4 Modelling με NURBS

Υπάρχουν λογισμικά, που δημιουργούν μοντέλα με τη χρήση **NURBS**.

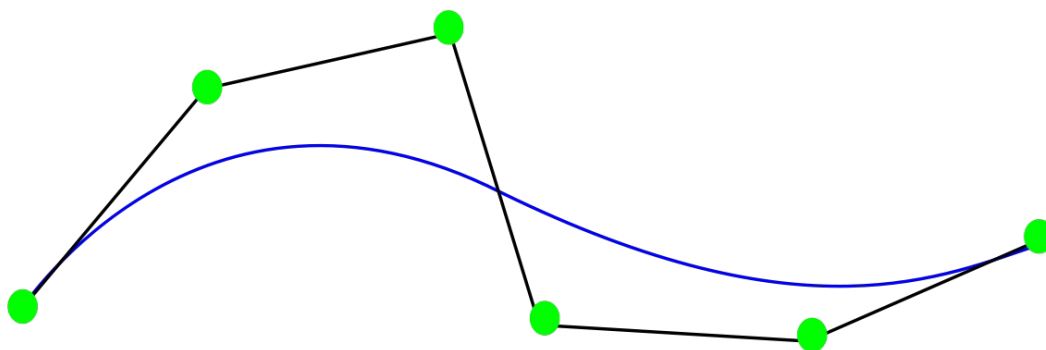
Οι **NURBS**, (**Non Uniform Rational Basic Splines**) είναι ένας τρόπος να αποδοθούν οι καμπύλες στον τρισδιάστατο χώρο μέσα από μαθηματικές φόρμουλες.

Το **Non-Uniform** αναφέρεται στην παραμετροποίηση της καμπύλης. Μεταξύ άλλων επιτρέπει την ύπαρξη πολλών (πολλαπλότητα) κόμπων (**knots**), που είναι απαραίτητες για την ύπαρξη των καμπύλων Bezier.

Το **Rational** αναφέρεται αναφέρεται στην υποκείμενη μαθηματική αναπαράσταση. Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει στις NURBS, να αναπαριστούν, εκτός από τις καμπύλες ελεύθερης μορφής και ακριβείς κωνικές (όπως παραβολικές καμπύλες, κύκλους και ελλείψεις).

Οι καμπύλες B-Splines, έχουν σημεία ελέγχου, όπως έχουν και οι αντίστοιχες στο 2D σχεδιασμό Bezier, όμως η καμπύλη B-Spline, δεν διέρχεται από τα σημεία ελέγχου. (Δεδούσης κ.ά., 2015)

Μία καμπύλη **NURBS**, ορίζεται από 4 στοιχεία: βαθμό (**degree**), σημεία ελέγχου (**control points**), κόμπους (**knots**) και τον κανόνα αξιολόγησης (**evaluation rule**).



Εικόνα 14: Καμπύλη NURBS με 6 control points

πηγή: <https://flyclipart.com/non-uniform-rational-b-spline-fishing-pole-png-764803>

**βαθμός** (degree): Είναι θετικός ακέραιος αριθμός. Συνήθως έχει τις τιμές 1,2,3,5 . Τα απλά ευθύγραμμα τμήματα είναι βαθμού 1.



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

Οι κύκλοι είναι βαθμού 2.

Οι ελεύθερης μορφής γραμμές συνήθως είναι βαθμού 3, ή 5.

**control points** Ο αριθμός των **control points** που έχει μία καμπύλη, είναι το λιγότερο ο βαθμός της καμπύλης +1. Μία καμπύλη 3ου βαθμού πχ, θα έχει τουλάχιστον 4 control points. Ο πιο απλός τρόπος να επεξεργαστούμε μία καμπύλη NURBS, είναι να μετακινήσουμε τα control points της.

Τα control points έχουν βάρος ( **weight** ) που παίρνει θετικές τιμές, εκτός από μερικές εξαιρέσεις. Όταν όλα τα control points έχουν το ίδιο βάρος, η καμπύλη είναι **Non-rational**. Αλλιώς είναι **Rational**.

Το **R** στην ονομασία NURBS υπάρχει, για να επισημάνει τη δυνατότητα που έχουν οι καμπύλες να είναι rational. Στην πράξη, οι περισσότερες NURBS είναι non-Rational.

Ο αριθμός των **Knots** είναι πάντα, το άθροισμα του βαθμού της καμπύλης και του αριθμού των σημείων ελέγχου, μείον ένα (degree + Control Points - 1). Ο τρόπος με τον οποίο κατανέμονται οι κόμβοι καθώς και οι τιμές των κόμβων μίας καμπύλης, καθορίζει εάν είναι uniform ή non-uniform. Το **NURBS** δηλώνει ότι οι κόμβοι στις καμπύλες αυτές, επιτρέπεται να είναι **Non-Uniform**.

Ο (κανόνας αξιολόγησης) **evaluation rule** χρησιμοποιεί έναν μαθηματικό τύπο, ο οποίος, σε έναν αριθμό αντιστοιχεί ένα σημείο.

Ο τύπος αυτός, περιλαμβάνει το βαθμό, τα σημεία ελέγχου και τους κόμβους.

Ακόμα περιλαμβάνει τις B-splines ( **NURBS** )

<<Μπορούμε να σκεφτούμε τον κανόνα αξιολόγησης ως ένα μαύρο κουτί που τρώει μια παράμετρο και παράγει ένα σημείο. Ο βαθμός, οι κόμβοι και τα σημεία ελέγχου καθορίζουν τον τρόπο λειτουργίας αυτού του μαύρου κουτιού.>>

(<https://wiki.mcneel.com/rhino/nurbs>)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Τα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί με NURBS, μορφοποιούνται με μαθηματικές καμπύλες, και έτσι δεν εξαρτώνται από την ανάλυση. Όσο και να μεγεθύνουμε τα αντικείμενα, θα τα βλέπουμε το ίδιο ομαλά.

Ο σχεδιασμός με NURBS, είναι πολύ μία ακριβής μέθοδος, τόσο από άποψη (σχεδίου) σχεδιαστικής ακρίβειας, όσο και από άποψη ακρίβειας μεγεθών. Ακόμα, επειδή δημιουργεί πολύ ομαλές επιφάνειες χρησιμοποιείται ευρέως για οργανική προσομοίωση, δηλαδή δημιουργία μοντέλων με οργανικές γραμμές ( ζώων, φυτών, αυτοκινήτων κ.ά )

(<https://rangevision.com/en/application/examples/revers-inzhiniring-i-kontrol-geometrii/advantages-of-using-nurbs-in-organic-modeling-and-reverse-engineering/>)

Η βάση της μοντελοποίησης με NURBS είναι η καμπύλη (curve).

Οι επιφάνειες δημιουργούνται από δίκτυα διασταυρούμενων γραμμών.

Κινώντας τα σημεία ελέγχου (control points), διαμορφώνουμε το αντικείμενο με πολύ μεγάλη σχεδιαστική ελευθερία και ακρίβεια (Patrick, 2005) .

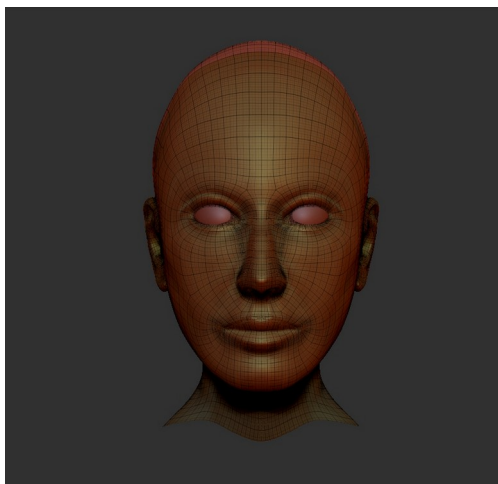
### **3.1.5 3D sculpting modelling**

Μία υποκατηγορία από τις διάφορες κατηγορίες λογισμικών δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων, είναι το λογισμικό τρισδιάστατης γλυπτικής .

Αυτού του είδους η μοντελοποίηση, δημιουργεί πολύ πιο οργανικές και ελεύθερες φόρμες σε σχέση με την παραμετρική μοντελοποίηση ας πούμε.(Yeap, 2019).

Το να δημιουργήσεις ένα ‘ζωντανό χαρακτήρα’ , ένα άγαλμα, ένα ζώο, σε ένα CAD λογισμικό θα ήταν εφιάλτης. Η τεχνολογία μοντελοποίησης, 3D sculpting είναι ιδανική για να δημιουργήσουμε οργανικές φυσιοκρατικές φόρμες. (Zuza, 2020)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



*Εικόνα 15: Κεφαλή δημιουργημένη στο ZBrush*

Αυτού του είδους τα λογισμικά ειδικεύονται στη δημιουργία μοντέλων, διαμορφώνοντας έναν **ψηφιακό πηλό**. Ουσιαστικά χρησιμοποιούν πολύπλοκους υπολογισμούς για να δημιουργήσουν λεπτομερή πλέγματα πολυγώνων, που αντιδρούν, όπως θα αντιδρούσε ο πραγματικός πηλός. (Heginbotham, 2018)  
Ακόμη, τα λογισμικά αυτής της κατηγορίας, είναι ιδανικά και για να διορθώσουμε μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί με **3d Scanner** και **φωτογραμμετρία** (Zuza, ό.π.) .

### **3.2 Επιλογή λογισμικού 3D modelling**

Στον χώρο του κοσμήματος και του μικρογλυπτού, χρειάζεται, να μπορούμε να δημιουργήσουμε, ομαλές και ακριβείς καμπύλες και επιφάνειες.

Είδαμε παραπάνω, ότι τα λογισμικά που μοντελοποιούν με NURBS, δημιουργούν ομαλές, οργανικές καμπύλες και επιφάνειες.

Ακόμα, επειδή δεν αποτελούνται από πολύγωνα αλλά δημιουργούνται από μαθηματικές εξισώσεις, η επεξεργασία που κάνουμε μετακινώντας σημεία, είναι πολύ πιο ομαλές από ότι μετακινώντας επίπεδα σε ένα πολυγωνικό μοντέλο.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Για τον ίδιο λόγο, ένα μοντέλο με NURBS, όσο και να το μεγεθύνουμε δεν χάνει την ομαλότητά του. Ένα πολυγωνικό μοντέλο, αν μεγεθυνθεί, θα χρειαστεί να του αυξήσουμε την ανάλυση υποδιαιρώντας τα πολύγωνα από τα οποία αποτελείται, μεγαλώνοντας έτσι το μέγεθος του αρχείου και τη λειτουργικότητά του. Αλλά και γενικά τα αρχεία που δημιουργούνται με μαθηματικούς τύπους είναι πολύ πιο μικρά.

Γενικά μπορούμε να παραλληλίσουμε τις διαφορές που έχουν τα raster αρχεία από τα vector με τα πολυγωνικά μοντέλα και τα μοντέλα NURBS ( <https://www.youtube.com/watch?v=0h2M-1BuR1E>).

Αν σε αυτό προσθέσουμε, τη ακρίβεια με την οποία μπορούμε να ελέγξουμε τις διαστάσεις σε κάποια λογισμικά που χρησιμοποιούν NURBS (Rhinocheros), τότε γίνεται ολοφάνερο γιατί ένα πρόγραμμα σαν το Rhinocheros γίνεται ιδανικό για την δική μας την μελέτη.

Εκτός των άλλων το R., είναι και γενικό σχεδιαστικό πρόγραμμα. Ακόμα έχει πολλούς αφοσιωμένους χρήστες παγκοσμίως και κατ'επέκταση, έχει πολλές πηγές στο Web από όπου μπορεί κάποιος να μάθει.

Από την άλλη όμως, θα ήταν πολύ δύσκολο να δημιουργήσεις σε ένα τέτοιο πρόγραμμα κάτι κυριολεκτικά οργανικό.

Έναν έμβιο οργανισμό ας πούμε (άνθρωπο, ζώο κτλ) (Zuza, ό.π.)

Εδώ χρειάζεται ένα πρόγραμμα ψηφιακής γλυπτικής.

Άλλωστε είναι χρήσιμο να χρησιμοποιεί κάποιος και ένα και δεύτερο

3 D CAD πρόγραμμα.(Meyer, 2012)

Από διάφορα προγράμματα γλυπτικής που υπάρχουν θα επιλέξουμε το Zbrush.

Είναι ένα πρόγραμμα, που αποτυπώνει πολύ καλά την γλυπτική διαδικασία

(Ξυνταριανός-Τσιροπινάς, 2012)

Είναι ίσως το πιο ισχυρό, δευτερεύον πρόγραμμα που

μπορεί κάποιος να χρησιμοποιήσει στην χρυσοχοΐα, εάν ξέρει ήδη ένα άλλο

πάρα πολύ καλά (Meyer, χ.χ.) .

Έχει και αυτό, πολλούς χρήστες επαγγελματίες και έτσι μπορεί κανείς, να βρει εύκολα βοηθητικές πηγές στο διαδίκτυο.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Στον ιστότοπο του Zbrush προβάλλεται το τι θα προσφέρει το πρόγραμμα στο σχεδιασμό κοσμημάτων, αφού δεν έχει τους περιορισμούς στη δημιουργία που έχουν τα προγράμματα που δουλεύουν με επίπεδα αλλά και NURBS.

- δημιουργία αντικειμένων σε λίγες ώρες, εκεί που σε άλλα συμβατικά προγράμματα θα χρειαζόνταν μήνες, ή και θα ήταν αδύνατον να γίνουν
- εισαγωγή μοντέλων για να βελτιωθούν
- μοντέλα της επιλογής μας μπορούν να γίνουν έτοιμα 'πινέλα' και να τοποθετούνται σαν να είναι απλό υλικό
- εύκολη εξαγωγή για 3D printing
- επιστροφή σε ένα είδος 'χειροποίητης' δημιουργίας
- μία ανθρώπινη αίσθηση στην μηχανική ακρίβεια  
(<https://pixologic.com/zbrush/industry/jewelry/>)

Ακόμα προσφέρει:

- αληθινή ψηφιακή γλυπτική (αληθινή οργανική μοντελοποίηση)(Tomas Wittelsbach, χ.χ)
- Ισχυρά και προσαρμόσιμα (customizable) εργαλεία  
(Tomas Wittelsbach, ό.π.)
- ικανότητα διαχείρισης μοντέλων, που αποτελούνται από εκατομμύρια πολύγωνα (<https://medium.com/imeshup/zbrush-pros-cons-quirks-and-links-9f48d01ddd99>)

Ως μειονέκτημα, να αναφέρουμε ότι έχει ένα εκφοβιστικό, ασυνήθιστο και συχνά αποτρεπτικό interface.

## 4 Παραδοσιακή διαδικασία κοσμήματος με τη μέθοδο του χαμένου κεριού

Στο κόσμημα όπως και σε γλυπτά, ακολουθούμε τη μέθοδο του χαμένου κεριού.

Η μέθοδος του χαμένου κεριού, είναι μία χύτευση μεγάλης ακρίβειας, αποδίδει πάρα πολύ καλά πολύπλοκες μορφές, και δημιουργεί πολύ καλή ποιότητα επιφάνειας. (Βοσνιάκος, 2015) .

1. Ο δημιουργός σκαλίζει στο κεριό το αντικείμενο.

2. Το κέρινο μοντέλο, θα χυτευθεί με τη μέθοδο του χαμένου κεριού (Βάσσιου & Κοντογιάννης, 2010)

α. Κατ' αυτή, στο κέρινο μοντέλο πρώτα, θα κολληθεί μία μικρή προέκταση επίσης από κεριό που ονομάζεται μπουκαδούρα (sprue). Η μπουκαδούρα είναι η δίοδος από την οποία θα εισέλθει το λειωμένο μέταλλο αργότερα.

β. Από αυτή την προέκταση το μοντέλο θα κολληθεί σε έναν κέρινο άξονα που ισορροπεί σε μία λαστιχένια βάση .

γ. Κατόπιν εφαρμόζουμε στη λαστιχένια βάση έναν μεταλλικό κύλινδρο και δημιουργούμε έτσι, το 'ποτήρι' .

Το 'ποτήρι' δηλαδή, είναι ένας πολύ ανθεκτικός μεταλλικός σωλήνας (ανοιχτός κύλινδρος), που κλείνει σε ποτήρι η μία του πλευρά με την εφαρμογή της λαστιχένιας βάσης.

Μέσα βρίσκεται το μοντέλο μας, κολλημένο στον άξονα (δέντρο χύτευσης).

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



*Εικόνα 16: Δακτυλίδι ενωμένο με μπουκαδόρα με τον άξονα της βάσης και ο μεταλλικός κύλινδρος (ποτήρι)*

*πηγή: <https://coreyegan.com/blogs/blog/how-its-made-lost-wax-casting-part-2-casting>*

δ. Αναμιγνύουμε χλιαρό νερό με γύψο χύτευσης (κεραμικό γύψο) τον περνάμε από σουρωτήρι και από μία συσκευή (VACUM) που θα βοηθήσει να απεγκλωβιστεί ο αέρας που παγιδεύτηκε κατά το ανακάτεμα (εξαέρωση γύψου).

ε. Γεμίζουμε το ποτήρι με τον υγρό γύψο και χρησιμοποιούμε πάλι VACUM για βγει ο αέρας που εγκλωβίστηκε κατά το γέμισμα του ποτηριού (το γεμίζουμε

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 17: γέμισμα 'ποτηριού' πηγή: *Photography by Ryan Leggett*, <https://coreyegan.com/blogs/blog/how-its-made-lost-wax-casting-part-2-casting>

'πλαγιαστά' γι αυτόν το λόγο).

**στ.** Αφήνουμε να στεγνώσει ο γύψος, και αφαιρούμε τη λαστιχένια βάση, ώστε να αποκαλυφθεί το κερί ( ο άξονας πάνω στον οποίο κολλήσαμε την Μπουκαδούρα του μοντέλου ).



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 18: πηγή: *Introduction to Casting for 3D Printed Jewelry Patterns, formlabs*

ζ. Το τοποθετούμε σε καμίνι για την **αποκέρωση** : λόγω της θέρμανσης (200ο για 2 ώρες), το κερί λειώνει και ' χάνεται ' και μέσα στο γύψο μένει το 'αρνητικό' του μοντέλου.

η. Στη συνέχεια, θα γίνει χρήση χυτόπρεσσας. Στο ένα μπράτσο της χυτόπρεσσας, τοποθετούμε κομματάκια μετάλλου, και τα θερμαίνουμε μέχρι να λειώσουν. Κατόπιν, τοποθετούμε το γύψινο καλούπι από το καμίνι, με τη δίοδο προς το λειωμένο μέταλλο στη χυτόπρεσσα.(Gainsbury, 1979)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 19: χυτόπρεσσα. Photography by Ryan Leggett,  
<https://coreyegan.com/blogs/blog/how-its-made-lost-wax-casting-part-2-casting>

Το μπράτσο της χυτόπρεσσας στη συνέχεια απελευθερώνεται και με τη φυγοκεντρική περιστροφή το μέταλλο γεμίζει το εσωτερικό του γύψινου καλουπιού.

*θ.* Όταν κρυώσει λίγο το μέταλλο, βουτάμε το ποτήρι σε ένα δοχείο με νερό. Με τη διαφορά θερμοκρασίας, το νερό σιγά σιγά διαλύει τον γύψο (το κουνάμε και το σκαλίζουμε εάν θέλουμε). Με αυτό τον τρόπο, κρύνει και το μέταλλο. Καθαρίζουμε όσο μπορούμε από τον γύψο το αντικείμενό μας στο νερό. Στη συνέχεια, συνεχίζουμε το καθάρισμα με 'πύρωμα' και εμβύθιση σε οξύ. Και βέβαια αποκόπτεται από τον άξονα από τη μπουκαδούρα.

**3.** Το μοντέλο που πήραμε με τη μέθοδο του χαμένου κεριού, θα πρέπει να φινιριστεί και να ολοκληρωθεί (να κολληθούν κρίκοι ή καρφάκια για σκουλαρίκια πχ, ή ότι άλλο χρειάζεται).

**4.** Ολοκλήρωση με το γυάλισμα.

Εάν θέλουμε να έχουμε ένα μοναδικό κομμάτι, σταματάμε εδώ.

Άλλωστε, στους αρχαίους πολιτισμούς, με αυτή τη μέθοδο κατασκεύαζαν ένα μοναδικό αντικείμενο. Για πολλαπλά, χρησιμοποιούσαν πέτρινες ή χάλκινες μήτρες αντί για πήλινες

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

(εμείς εδώ χρησιμοποιούμε γύψινη) (<http://www.jewelpedia.com/lex233-xyteysi-casting.html>).

Εάν όμως σκοπός μας είναι να δημιουργήσουμε μία μικρή παραγωγή (παραγωγικό κόσμημα-μικρογλυπτό), αυτό που μόλις κατασκευάσαμε, θα είναι το βασικό (master) μας μοντέλο, από το οποίο θα πάρουμε όσα αντίτυπα θέλουμε.

Στα προηγούμενα βήματα, θα πρέπει να μην αφαιρέσουμε την μπουκαδούρα, αλλιώς θα πρέπει να προσθέσουμε νέα (μεταλλική τώρα βέβαια).

Τα επόμενα βήματα είναι:

**5. Δημιουργία, λαστιχένιου καλούπιού** (στην πραγματικότητα υπάρχουν διάφοροι τύποι υλικών)

Χρησιμοποιώντας ένα μηχάνημα που λέγεται ‘λαστιχιέρα’ κατασκευάζουμε ένα καλούπι από καουτσούκ.

**6. Κατόπιν, χρησιμοποιούμε ένα άλλο μηχάνημα που λέγεται ‘κεριέρα’.**

Η κεριέρα περιέχει λιωμένο κερί, με το οποίο, υπό πίεση ρίχνει μέσα στο λαστιχένιο καλούπι. (Gainsbury, 1979)

**7. Το κέρινο μοντέλο από το καλούπι, μαζί με όσα άλλα έχουμε βγάλει, τα χρησιμοποιούμε για να δημιουργήσουμε ένα κέρινο ‘δεντράκι’, τα κολλάμε δηλαδή στον άξονα όπως κάναμε στο βήμα 2β, υπό γωνία 45 περίπου μοιρών, δημιουργώντας μία δενδροειδή σύνθεση.**

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 20: 'δεντράκι' χύτευσης

πηγή: (*Introduction to Casting for 3D Printed Jewelry Patterns*, 2019)

Κατόπιν, εφαρμόζουμε πάλι τη χύτευση με τη μέθοδο του χαμένου κεριού και παίρνουμε σε μέταλλο της επιλογής μας, όσα κέρνα είχαμε βάλει στο δέντρο χύτευσης.

Και τελικά ακολουθεί το φινίρισμα και το γυάλισμα.

Με τη χρήση ψηφιακών τεχνολογιών, 3D Cad και 3D modelling ή CNC milling, αυτό που αποφεύγουμε ουσιαστικά είναι το σκάλισμα στο χέρι (αν και σε μία ακραία περίπτωση ενός απλού κοσμήματος, θα μπορούσε να ολοκληρωθεί στο τελικό υλικό με ένα μηχάνημα CNC milling).

Αυτό που πρέπει να προσέξουμε όμως γενικά στην διαδικασία, είναι τα πολλά βήματα με διαφορετικές συνθήκες κάθε φορά. Αλλαγές υλικών, εναλλαγές ακραίων θερμοκρασιών κτλ. Ιδιαίτερα μάλιστα στη διαδικασία του παραγωγικού κοσμήματος, όπου οι εναλλαγές αυτές πολλαπλασιάζονται. Αυτές οι εναλλαγές, (με διαστολή – συστολή, λόγω θερμοκρασιών, αλλά και πίεση και συγκρούσεις μεταξύ των υλικών, αφού το ένα καταλαμβάνει τη θέση του άλλου), επιφέρουν προβλήματα στις τελικές διαστάσεις.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Όλα αυτά πρέπει να τα πάρουμε υπόψη μας και κατά τον 3D σχεδιασμό.

Με τη χρήση όμως τώρα, της ΤΕ, υπεισέρχονται και άλλες παράμετροι που πρέπει να έχουμε υπόψη μας. Συγκεκριμένα, η τεχνολογία του εκτυπωτή και το υλικό που χρησιμοποιεί (και το οποίο, δεν είναι το κλασικό κερί αργυροχρυσοχοΐας).

(Adler & Fryé, 2000)

Το υλικό θα παίξει ρόλο και στη διαδικασία του ‘χαμένου κεριού’, αφού τα φωτοπολυμερή υλικά π.χ., δεν καίγονται τόσο τέλεια όπως το κερί και απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες (Adler & Fryé, ό.π.).

Εάν δεν καούν καλά, αφήνουν υπολείμματα και η χύτευση μπορεί να αχρηστευθεί (πόροι στο τελικό υλικό ή/και γύψος)

Γενικά πάντως οι διαφορές στις διαστάσεις δεν είναι αξιόλογες στην περίπτωση του master μοντέλου. Επίσης σε αυτή την περίπτωση, μπορούμε να επιδιώξουμε και πολύ φινετσάτη λεπτομέρεια, αφού θα έχουμε απλώς ένα χυτήριο με τη ιδιαίτερα δοκιμασμένη και ώριμη μέθοδο του χαμένου κεριού. (Hunt, 1980)

Το κύριο πρόβλημα είναι με την παραγωγική διαδικασία.

Εκεί, επειδή το αντικείμενο θα περάσει πολλές ‘ανατυπώσεις’ θα αντιμετωπίσουμε δύο προκλήσεις: την εξαφάνιση της λεπτεπίλεπτης λεπτομέρειας και την πιο έντονη σμίκρυνση λόγω των καλουπιών σιλικόνης - λάστιχου.

#### **4.1 Συρρίκνωση λόγω καλουπιών**

Η δημιουργία των λαστιχένιων καλουπιών, είναι μία ευαίσθητη διαδικασία και θέλει πολύ προσοχή αλλά και γνώσεις. Το είδος του ελαστικού υλικού ( καουτσούκ, σιλικόνη που χρησιμοποιείται μπορεί να έχει τεράστια επίδραση, στο τελικό αντικείμενο ([www.carreracasting.com/services/rubber-mold-service](http://www.carreracasting.com/services/rubber-mold-service)).

Γενικά υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες υλικών για καλούπια.

Οι **Room Temperature Vulcanizing (RVT)** σιλικόνες και οι σιλικόνες καουτσούκ.

Οι πρώτες, σκληραίνουν σε θερμοκρασία δωματίου όπως φανερώνει το όνομά τους.

Οι υπόλοιπες που περιλαμβάνουν διάφορες αναλογίες ανάμιξης ειδών καουτσούκ, με σκληραίνουν με την άνοδο της θερμοκρασίας. (gsadminuser, 2017)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

Γενικά υπάρχει ένα ποσοστό σμίκρυνσης των μοντέλων που βγαίνουν στο βήμα 7, μετά την έγχυση ζεστού κεριού από την κεριέρα στο καλούπι σιλικόνης.

Αυτό εξαρτάται, από την εταιρεία που κατασκευάζει τα καλούπια, δηλαδή από τα υλικά που χρησιμοποιεί και τις αναλογίες τους. (<http://zerodproducts.com/4x-silicone-mold-rubbers.html>)

Ένα ποσοστό 1,25-3,2 % σμίκρυνσης ισχυρίζονται κάποιες εταιρίες, (<https://www.carreracasting.com/services/rubber-mold-service>),

στο οποίο πρέπει να προσθέσουμε και το 1% του μετάλλου μετά, κατά τη χύτευση.

#### REGULAR MOLD

Utilize's Castaldo White Label rubber material, the industry standard for over 50 years. A good all-purpose mold rubber that cuts well, and is nicely suited for most molds.

- Less Than 2.75% Shrinkage

#### Regular Mold



#### MIXED MOLD

Utilize's a combination of rubbers, with Blue Lo-Shrink Rubber placed directly in contact with the model. Used when very low shrinkage is required. This material is forgiving, not as temperature sensitive, and accurately captures fine detail with excellent "memory".

- Less Than 2.4% Shrinkage

#### Mixed Mold



#### HARD RUBBER MOLD

Utilized when the objective is keeping small, delicate parts in place.

- Less Than 3.2% Shrinkage

#### Hard Rubber



#### VLT MOLD

Vulcanized silicon. This rubber produces excellent detail, great surface with very low shrinkage.

- Less Than 1.65% Shrinkage.

#### VLT Mold



#### SILICON MOLD

Cures at room temperature. Great for creating molds from traditional wax carvings or when minimal shrinkage is

#### Silicon Rubber



*Εικόνα 21: παρουσίαση διαφόρων υλικών για καλούπια εταιρείας  
πηγή: <https://www.carreracasting.com/services/rubber-mold-service>*

Από την άλλη, υπάρχουν εταιρείες, που ισχυρίζονται ότι τα μοντέρνα υλικά που χρησιμοποιούνται, δεν δημιουργούν σμίκρυνση, αλλά ότι το κερι που είναι ζεστό,

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

μικραίνει, όπως είναι φυσιολογικό, όταν ψύχεται. Υποστηρίζουν, ότι λόγω καλουπιού συμβαίνει 0-1% σμίκρυνση, λόγω της ψύξης του κεριού 2,5%, και λόγω της χύτευσης ( ψύξη μετάλλου ) άλλο 1% .

Οπότε συνολικά έχεις σμίκρυνση 3,5 %-4,5% (*Mold Shrinkage*, χ.χ.).

Στη σμίκρυνση, παίζει ρόλο και το τελικό υλικό χύτευσης, όπως επίσης και η γεωμετρία του μοντέλου. Ακόμα και το σχήμα και η θέση της μπουκαδούρας (<https://www.hooverandstrong.com/casting---what-you-should-know>)

Γενικά πάντως η σμίκρυνση μπορεί να φτάσει έτσι, ακόμα και το 6-8%.

Τελικά πάντως, μέσα από δοκιμές , με τη χρήση συγκεκριμένων πρακτικών, υλικών ή υπηρεσιών μπορούμε να υπολογίσουμε τη σμίκρυνση. Και βέβαια ένας από τους πιο κατάλληλους να μας ενημερώσει, είναι το εργαστήριο που θα αναλάβει τη δημιουργία των λαστιχένιων καλουπιών.

Σε γενικές γραμμές, ειδικά με τα τωρινά υλικά, η σμίκρυνση δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα. Αλλά πρέπει να την υπολογίσουμε όταν δημιουργούμε εξαρτήματα που θα συναρμολογηθούν, όταν φτιάχνουμε ένα δακτυλίδι συγκεκριμένου μεγέθους, ή που θα δεχτεί μία πολύ συγκεκριμένη πέτρα, έτσι ώστε να μη χρειαστούν μετά πολλές διορθώσεις, δεδομένου μάλιστα οτι ενδιαφερόμαστε για όσο το δυνατόν μικρότερη εργαστηριακή μετα-επεξεργασία.

Μία άλλη συνέπεια της σμίκρυνσης που πρέπει να μας απασχολήσει κατά το σχεδιασμό, είναι σχετική μείωση της λεπτομέρειας που αποδίδεται.

Το master μοντέλο θα έχει πολύ υψηλή απόδοση λεπτομέρειας. Αλλά, η διαδικασία του καλουπιού σιλικόνης και της μετέπειτα χύτευσης, μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα. Γενικά πρέπει να προσέχουμε, τα ‘γλυπτικά επεισόδια’ να είναι αδρά και λιτά, ώστε να αποδοθούν με σαφήνεια.

## 5 Μελέτη περίπτωσης

Θα υποθέσουμε, ότι κάποιος μας δίνει ένα απλό σχέδιο και μας παραγγέλνει να δημιουργήσουμε ένα εξάρτημα – κόσμημα συγκεκριμένων διαστάσεων (το οποίο εκείνος θα το προσαρμόσει σε μία καρφίτσα.

Στη συνέχεια και αφού το πάρει στα χέρια του, θα μας ζητήσει μία εκδοχή που να μπορεί να βγεί σε παραγωγή, σε ασήμι. Αυτό θα θέλει πάλι, να μπορεί να το προσαρμόσει σε σκουλαρίκια.

Στην 1η περίπτωση, σκοπός είναι ένα **μοναδικό** αντικείμενο. Υλικό ασήμι.

Το αντικείμενο πρέπει να φαίνεται ακριβό, άρα θα είναι ‘γεμάτο’ (μασίφ) (Cooper, 2015)

2η περίπτωση. Σκοπός **πολλαπλή** παραγωγή. Το εξάρτημα θα είναι σε ασήμι και θα πρέπει να είναι ελαφρύ.

Θα χρησιμοποιηθούν οι δοκιμαστικές εκδόσεις των προγραμμάτων **Rhinoceros CAD** και **ZBrush** και το δωρεάν πρόγραμμα **netfabb Basic 7.4**.

Το **R**, χρησιμοποιώντας NURBS, θα μας δώσει την δυνατότητα, να σχεδιάσουμε με ακρίβεια αρμονικές, οργανικές και δυναμικές καμπύλες που θα μπορούμε να μετατρέψουμε σε επιφάνειες και στερεά με πολλούς εναλλακτικούς τρόπους. Παράλληλα θα μας δώσει τη δυνατότητα να έχουμε απόλυτο έλεγχο στα μεγέθη και ακρίβεια στις αποστάσεις και στην τοποθέτηση στο χώρο.

Το **Zbrush**, στο οποίο θα εισάγουμε το αρχείο που δημιουργήσαμε στο **R**, θα μας επιτρέψει, να επέμβουμε γλυπτικά στο εξάρτημα, δίνοντας μία πολύ πιο οργανική μορφή, στο κόσμημα-γλυπτό.

Το **netfabb** είναι χρήσιμο, για τον έλεγχο υδατοστεγανότητας, (watertight), μεγεθών, αποστάσεων και τη διόρθωση των στερεών (meshes) πριν την εκτύπωση.

Το κόσμημα θα σταλεί για εκτύπωση σε τυχαίο γραφείο 3d εκτυπώσεων, ώστε να εξάγουμε συμπεράσματα για συνεργασία με εξωτερικούς 3dprinters.



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Το θέμα του κοσμήματος, θα είναι ένα χταπόδι που τα πλοκάμια του θα φαίνονται σε κίνηση, ώστε να δημιουργείται μία κυκλική-ακτινωτή σύνθεση, όχι απόλυτα συμμετρική. Θα πρέπει η μεγαλύτερη διάσταση στο ύψος και στο πλάτος, να μην υπερβαίνει τα 3cm. Το ύψος θα είναι 3mm. Η 'πίσω' πλευρά δεν ενδιαφέρει, καθώς θα είναι η πλευρά που θα στέκεται το μικρογλυπτό.

Είναι από τις περιπτώσεις που επειδή το μέγεθος είναι πολύ μικρό, και τα πλοκάμια απλώνονται στο χώρο, ακόμα και ένας πολύ ικανός τεχνίτης, θα δυσκολευόταν απίστευτα να το δημιουργήσει σκαλίζοντάς το με το χέρι σε κερί (Patterson, Collory, & Messimer, 2015) .

### **1η περίπτωση**

Στην πρώτη περίπτωση, θα το σχεδιάσουμε έχοντας υπόψη μας, ότι θα δημιουργηθεί ένα μοναδικό αντικείμενο και ότι η διαδικασία που θα ακολουθηθεί, περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Βασική έρευνα (φωτογραφίες, σχέδια κτλ)
2. Σχεδιασμός στο χέρι
3. Ψηφιοποίηση και εισαγωγή στο 3D Cad (χρήση 3d scanner, ή ψηφιακής φωτογραφίας)
4. 3D σχεδιασμό (στο 3D πρόγραμμα της επιλογής μας)
5. Μετατροπή του αρχείου σε εκτυπώσιμο format
6. Τρισδιάστατη εκτύπωση
7. Χυτήριο με τη μέθοδο του χαμένου κεριού
  - α. Επικόλληση του εκτυπωμένου αντικειμένου, μέσα στον κύλινδρο ("ποτήρι ") του γύψου χύτευσης..
  - β. Δημιουργία καλουπιού από κεραμικό γύψο. Δηλαδή, γεμίζουμε το ποτήρι με διάλυμα γύψου και νερού, αφήνοντας μία δίοδο στο κάτω μέρος (μπουκαδούρα).
  - γ. Αποκέρωση. Όταν στερεοποιηθεί ο γύψος, ψήνεται και από τη δίοδο φεύγει το κερί
  - δ. Χύτευση στο μέταλλο που επιθυμούμε. Το καλούπι πηγαίνει

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

στο μηχάνημα χύτευσης (χυτόπρεσσα) και γίνεται η χύτευση.

ε. Αφαίρεση γύψου και καθαρισμός.

στ. Κόψιμο μπουκαδούρας

8. Γυάλισμα – φινίρισμα.

Η διαδικασία αυτή, θα μας δώσει ένα μικρογλυπτό που θα έχει κρατήσει πολύ μεγάλη λεπτομέρεια και ποιότητα απόδοσης του 3d αρχείου. Ακόμα, οι τελικές διαστάσεις, παρά τη *'συρρίκνωση του μετάλλου'*, θα είναι ουσιαστικά ίσες με τις διαστάσεις που έχει το 3d αρχείο .

## **2η περίπτωση**

Στη δεύτερη περίπτωση, θα πρέπει τα παραπάνω στάδια, να ακολουθηθούν από μερικά επιπλέον, που όμως θα πρέπει να τα λάβουμε υπόψη μας έως ενός βαθμού, κατά τον 3d σχεδιασμό. Έχουμε λοιπόν :

1. Βασική έρευνα (φωτογραφίες, σχέδια κτλ)
2. Σχεδιασμός στο χέρι
3. Ψηφιοποίηση και εισαγωγή στο 3D Cad
4. 3d σχεδιασμός
5. μετατροπή του αρχείου σε εκτυπώσιμο format
6. τρισδιάστατη εκτύπωση
7. χυτήριο με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.
8. Γυάλισμα – φινίρισμα.
9. Δημιουργία καλουπιών (ψημένης) σιλικόνης.
10. Δημιουργία κέρινων μοντέλων, με την εισαγωγή με πίεση, ζεστού κεριού από την
11. *'κεριέρα'* στο καλούπι σιλικόνης
12. Επανάληψη αυτού, έως ότου βγάλουμε τον αριθμό των μοντέλων - κεριών που θέλουμε.
13. Επικόλληση των κεριών, μέσα στον κύλινδρο (*"ποτήρι "*) του γύψου χύτευσης

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

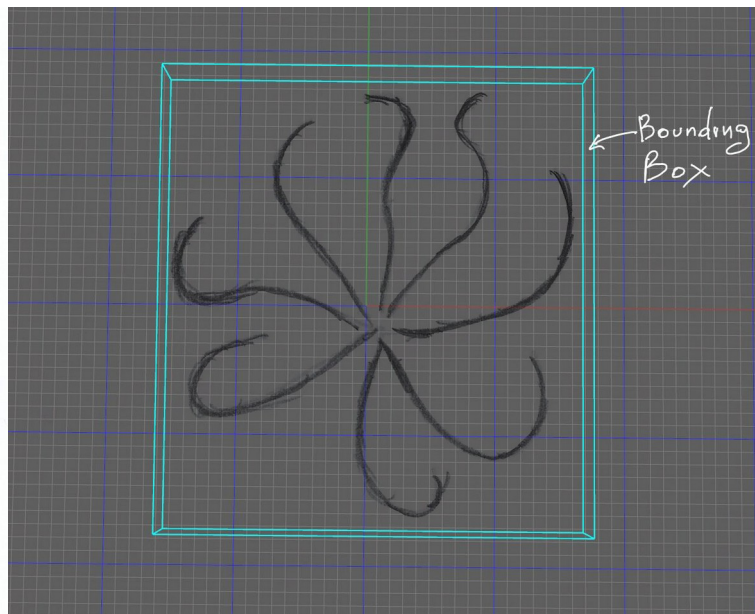
14. (δημιουργία 'δέντρου').
15. Χύτευση με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.
16. Από το καθαρισμένο από τους γύψους 'δεντράκι', κόβουμε τις μπουκαδούρες και παίρνουμε τα πολλαπλά κομμάτια.
17. Στη συνέχεια καθαρίζονται σε μαγνητικό μπουράτο,
18. γυάλισμα – φινίρισμα.

### 5.1.1 Μοναδικό αντικείμενο- πρωτότυπο

Καταρχάς, θα εισάγουμε το ψηφιοποιημένο σχέδιο στο **RHINOCEROS**.

Αν το έχουμε σχεδιάσει στον υπολογιστή, αρκεί να το σώσουμε σε ένα από τα δημοφιλή format εικόνας (jpeg, jpg, png, tiff κτλ), καθώς το **R.** τα αναγνωρίζει όλα.

Αν το έχουμε σχεδιάσει σε χαρτί, ή είναι φωτογραφία περιοδικού πχ, θα πρέπει να το σκανάρουμε πρώτα (ψηφιοποίηση) και ακολούθως να το σώσουμε στο format της επιλογής μας.



εικόνα 23: Bounding Box

Το μήκος και το πλάτος έχουμε αποφασίσει ότι θα είναι 3.5cm. Το ύψος θα είναι

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

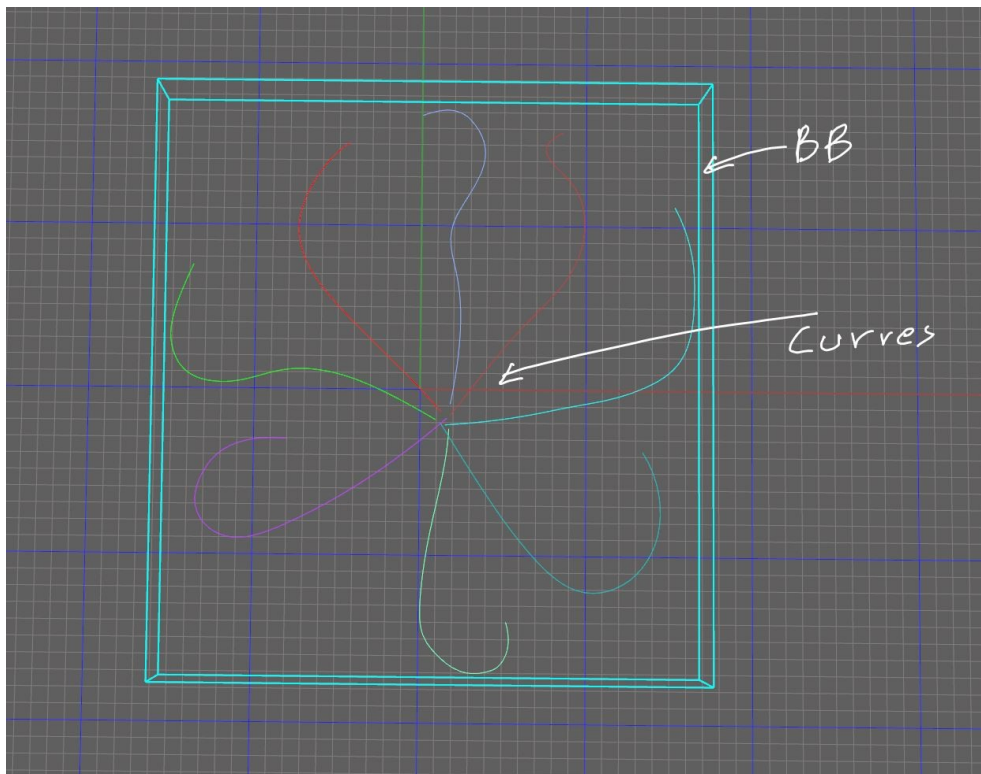
3mm, οπότε μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο 35mm x 35mm x 3mm σε ένα **Layer** που θα το ονομάσουμε **BB (Bouding Box)** για να έχουμε μία αναφορά μεγέθους.

Αφού εισάγουμε την εικόνα μας, στην top view, κατά προτίμηση, αλλάζουμε το μέγεθος της εικόνας ώστε να περιέχεται στο Bouding box.

Κατόπιν, κλειδώνουμε το **Layer** στο οποίο βρίσκεται και δημιουργούμε ένα άλλο από πάνω.

Σε αυτό, σχεδιάζουμε την κατεύθυνση των πλοκαμιών.

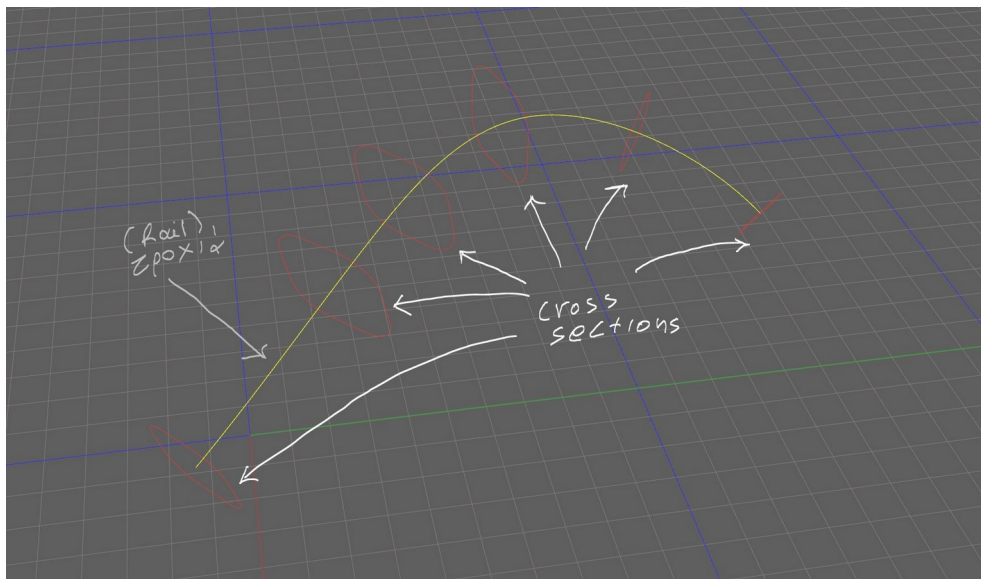
Χρησιμοποιούμε, ένα πολύ ισχυρό εργαλείο σχεδιασμού καμπυλών, με το οποίο δημιουργούμε καμπύλες NURBS. Αντιγράφουμε τις γενικές κατευθύνσεις των πλοκαμιών στις 2 διαστάσεις, και κατόπιν, εμφανίζουμε τα control points και τα τα κινούμε και στις 3 διαστάσεις, έως ότου μείνουμε ευχαριστημένοι από τη σχετική τους κίνηση ( και εφόσον προσέξουμε να βρίσκονται εντός των ορίων του Bouding Box).



εικόνα 24 Οι καμπύλες που περιγράφουν τις γενικές κατευθύνσεις

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

Στη συνέχεια θα μετατρέψουμε τις γραμμές σε τρισδιάστατα πλοκάμια. Στο **R.**, μπορούμε με πολλούς τρόπους να μετατρέψουμε καμπύλες σε στερεά σχήματα. Εδώ θα επιλέξουμε την εντολή **Sweep One Rail**, κατά την οποία, αφού σχεδιάσουμε διατομές κατά μήκος της κατεύθυνσης του πλοκαμιού, στο σχήμα και στο μέγεθος που θέλουμε, θα δημιουργηθεί το τρισδιάστατο πλοκάμι.

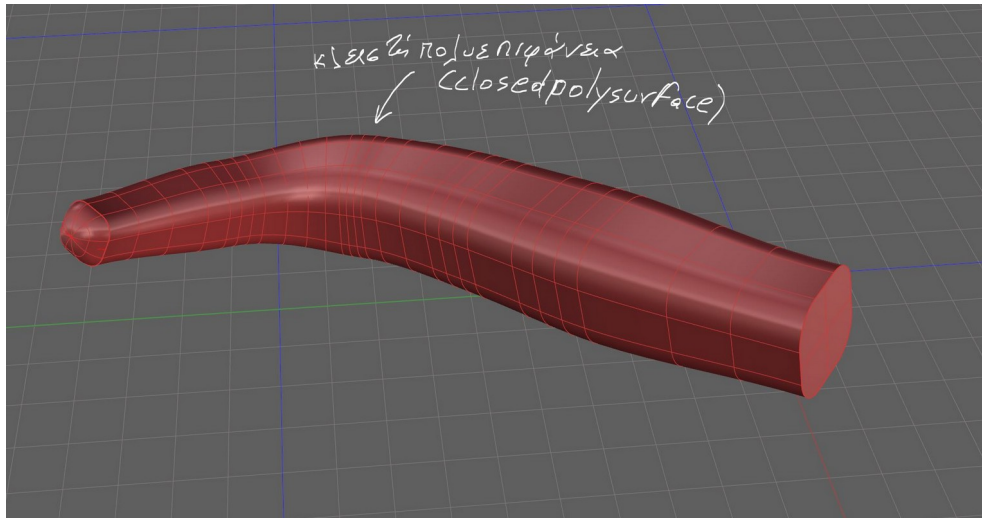


Εικόνα 25: τροχιές (rails) και διατομές(cross sections)

Βάζουμε διατομές διαφόρων μεγεθών, ώστε να πλησιάζει το φυσικό σχήμα που έχει στην πραγματικότητα και για να είναι πιο εύκολη η δουλειά μας αργότερα στο πρόγραμμα γλυπτικής.

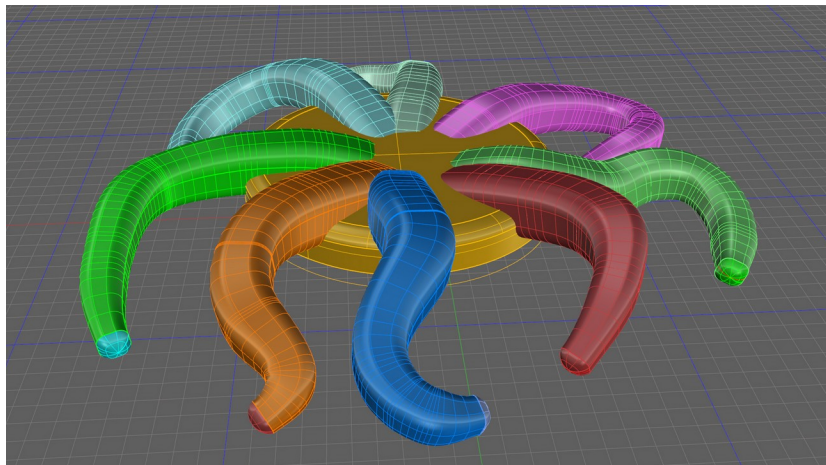
Μετατρέπουμε το κάθε πλοκάμι, σε κλειστό γεωμετρικό σχήμα.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 26

Αφού δημιουργήσουμε και τα οκτώ πλοκάμια, θα δημιουργήσουμε μία επιφάνεια, που θα αντιπροσωπεύει, το μέγεθος που θα έχει το "σώμα" του χταποδιού. Με αυτό τον τρόπο, θα είναι πιο εύκολο να ορίσουμε διαστάσεις στο Zbrush.



Εικόνα 27

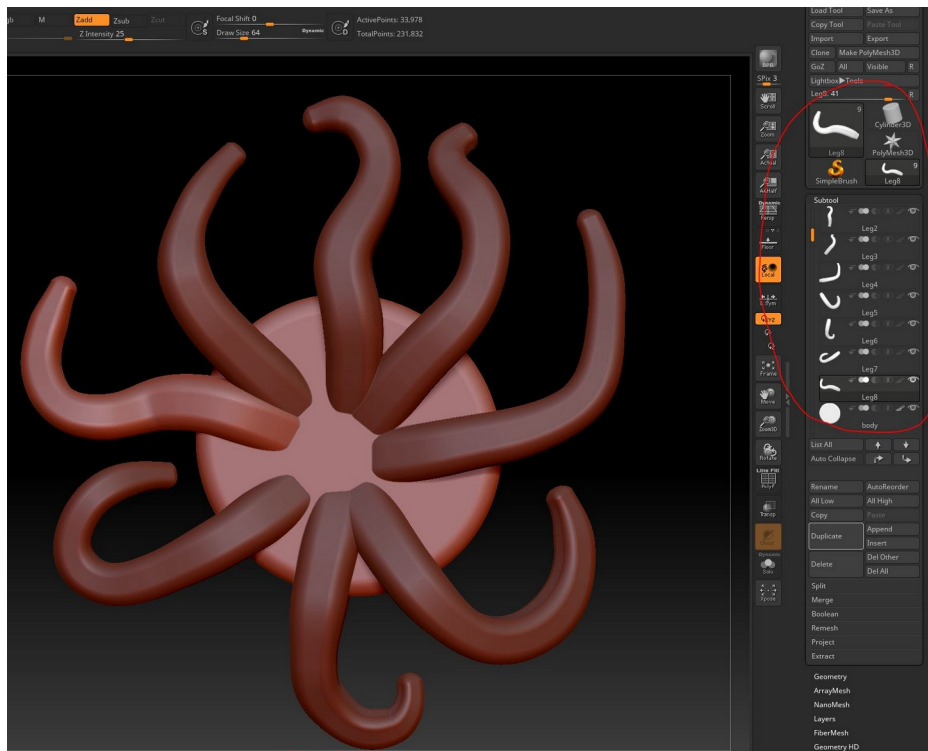
Τελικά, εξάγουμε το σώμα και κάθε πλοκάμι χωριστά σαν **obj** , ώστε να μπορεί να τα αναγνωρίσει το **Zbrush**.

Στο πρόγραμμα, το γλυπτό που δουλεύουμε ονομάζεται **'Tool'** και τα στοιχεία από τα

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

οποία αποτελείται εάν βρίσκονται το καθένα σε διαφορετικό Layer, ονομάζονται '**subtools**' και δουλεύονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο.

Στο **Zbrush** εισάγουμε τα 8 αρχεία των πλοκαμιών (τα έχουμε ονομάσει **Leg1**, **Leg2**,...κτλ ) και το σώμα, κάθε ένα σε διαφορετικό επίπεδο, δηλαδή κάθε ένα είναι διαφορετικό (**subtool**).



Εικόνα 28

Στο **Zbrush**, δουλεύουμε , με τα 'πινέλα' ( **Brushes** ), γλυπτικής μετακίνησης ( **Move, Move Topological** ), πρόσθεσης και αφαίρεσης υλικού ( **Clay, ClayBuildUp** ), λείανσης ( **Smooth** ), σαν να δουλεύουμε στον πηλό ( **Clay**).

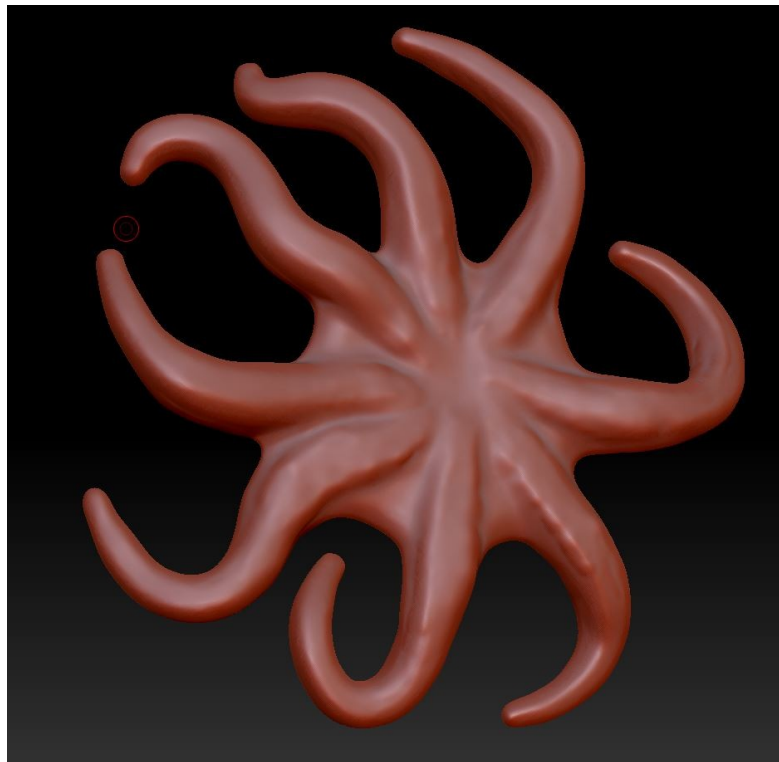
Παρατηρήσαμε, ότι δουλεύοντας το κάθε πλοκάμι σε διαφορετικό **Layer**, στερούσε τη δυνατότητα δημιουργικής γλυπτικής αλληλεπίδρασης. Έτσι, τα συγχωνεύσαμε ( **Merge**) σε ένα **subtool**.

Για το σώμα, δημιουργήσαμε μία σφαίρα, που την επεξεργαστήκαμε γλυπτικά ώστε να έχει τις διαστάσεις του 'βοηθητικού' στοιχείου και τον όγκο που χρειαζόμαστε.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Όταν έγινε αυτό, σβήσαμε το 'βοηθητικό' σώμα, και συγχωνεύσαμε τα δύο subtools (πλοκάμια και σώμα) σε ένα, ώστε να μπορεί να δουλευτεί ως ενιαίο γλυπτό.

Η προσπάθεια είναι να αποδώσουμε τη συνέχεια που έχουν τα πλοκάμια με το σώμα. Να φανεί, ότι τα πλοκάμια, ξεκινούν μέσα από το σώμα. Όταν δηλαδή κοιτάμε το σώμα, να τα διακρίνουμε κάτω από την επιδερμίδα.



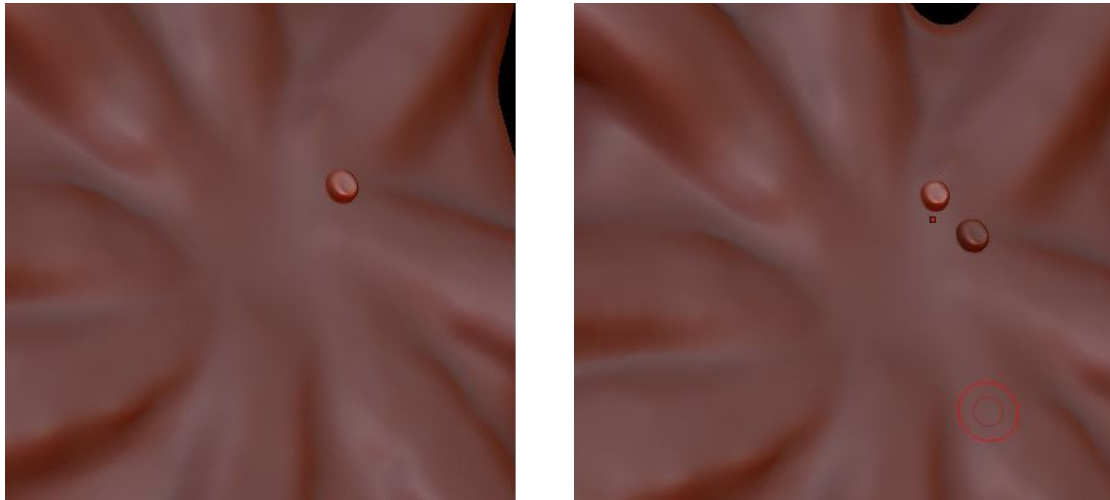
*Εικόνα 29*

Στη συνέχεια, θα προσθέσουμε τις βεντούζες. Είναι μικρές και θα πρέπει να προσέξουμε να μην υπάρξουν προβλήματα, τόσο στην 3d εκτύπωση, όσο και στο χυτήριο. Επειδή όμως δεν θα γίνει πολλαπλό αντικείμενο, οι διαστάσεις, οι αποστάσεις και η εμφάνιση, θα είναι σχεδόν πανομοιότυπες, με αυτές που έχουμε δημιουργήσει στον 3d σχεδιασμό. Η συρρίκνωση μετάλλου θα είναι απειροελάχιστου μεγέθους. ( περίπου 1%) (<https://www.artistryofgold.com/AOGmoldShrinkage.php>) Θα δημιουργήσουμε μία βεντούζα επεξεργαζόμενοι έναν κύλινδρο.



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

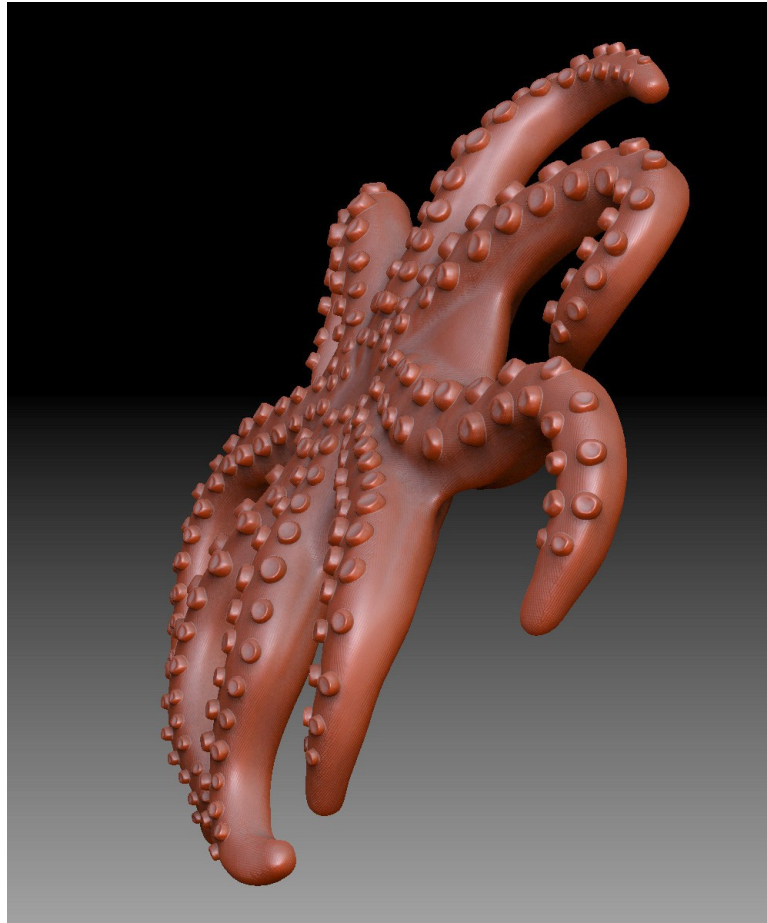
Θα την τοποθετήσουμε στην κατάλληλη θέση και κατόπιν θα την διπλασιάσουμε και θα την τοποθετήσουμε δίπλα στην προηγούμενη, φροντίζοντας να είναι κάθετες στην κυρίως επιφάνεια του πλοκαμιού.



*Εικόνα 30*

Θα συνεχίσουμε με αυτόν τον τρόπο, μέχρι να μας ικανοποιεί οπτικά.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

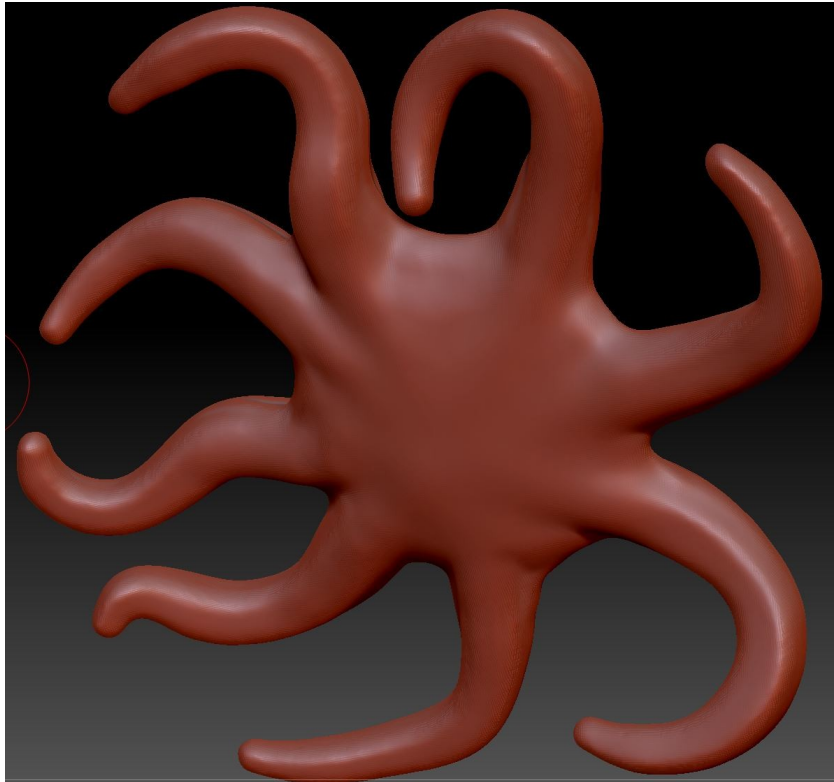


*Εικόνα 31*

Το πίσω μέρος του χταποδιού, είναι σχεδόν επίπεδο, αφού σκοπός είναι να εφαρμοστεί σε καρφίτσα, οπότε δεν θα είναι ορατό.

Θα χυτευθεί σε ασήμι, αλλά το θέλουμε 'γεμάτο' για να είναι πιο “πολυτελές” (Cooper, ό.π.) οπότε δεν χρειάζεται άδειασμα για να ελαφρύνει.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 32

Τώρα θα πρέπει να προσαρμόσουμε μία ' μπουκαδούρα ' που είναι απαραίτητη στη χύτευση.

Ακόμα, επειδή τα πλοκάμια είναι μακρυνά και λεπτά, χρειάζονται ' στήριγμα ' (Manos, 2016) ([https://youtu.be/9htiYi5YWXE?list=PLD4FsRZo\\_iE7E5PUXsnnO\\_1YhmJom35ui](https://youtu.be/9htiYi5YWXE?list=PLD4FsRZo_iE7E5PUXsnnO_1YhmJom35ui))

Τόσο τη 'μπουκαδούρα' όσο και τα στήριγματα, θα τα εφαρμόσουμε στο

**RHINOCEROS**, γιά να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα μεγέθη.

Κάνουμε **Merge** όλα τα **Subtools**, και επεξεργαζόμαστε τις τυχόν ατέλειες που εμφανίζονται.

Σε αυτό το σημείο, θα πρέπει να ελέγξουμε, από πόσα πολύγωνα αποτελείται, γιατί μερικές υπηρεσίες 3d printing, ιδιαίτερα μέσω web, δέχονται αρχεία που έχουν μέχρι ενός ορίου πολύγωνα (1 εκατομμύριο συνήθως).

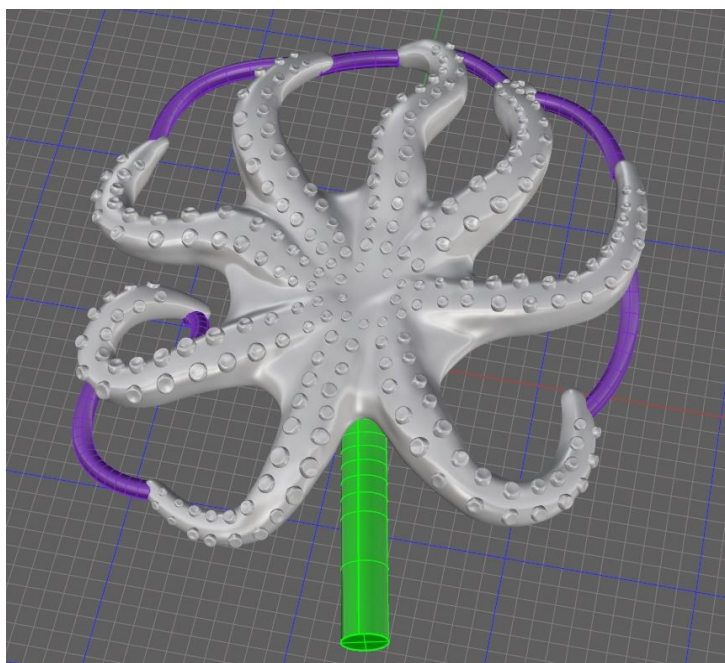
Επιλέγουμε λοιπόν, ένα πού καλό εσωτερικό **pluggin** του Zbrush, το **Decimation Master** ώστε να μικρύνουμε το μέγεθος του γλυπτού σχεδόν στο μισό.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Και τελικά το εξάγουμε σε **obj** format.

Κατόπιν, το εισάγουμε στο **RHINOCEROS**. Δημιουργούμε μία καμπύλη που περιγράφει τα πλοκάμια περιμετρικά . Μετά τις καμπύλες τις κάνουμε στερεά σχήματα που λειτουργούν σαν υποστηρικτικές δομές. Καλό είναι να είναι πιο λεπτές στις επαφές με τα πλοκάμια.

Με τον ίδιο τρόπο δημιουργούμε την μπουκαδούρα. Αλλά φροντίζουμε η διάμετρος κοντά στο αντικείμενο να μειώνεται ελαφρά. Αυτό είναι κάτι που θα βοηθήσει στη χύτευση.



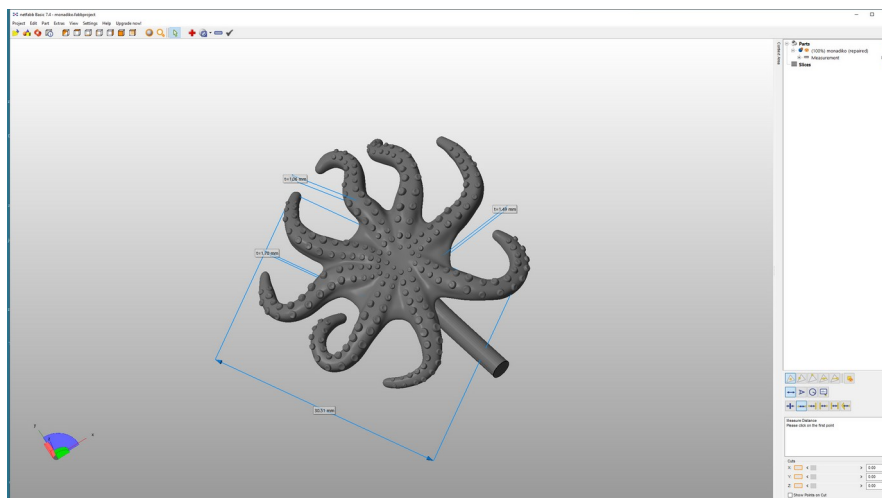
Εικόνα 33

Στη συνέχεια ελέγχουμε το αντικείμενο αν είναι **υδατοστεγανό ( watertight )**, εκτυπώσιμο δηλαδή, με εργαλεία του προγράμματος.

Κατόπιν το εξάγουμε σε **stl** format που είναι κατάλληλο για 3d εκτύπωση.

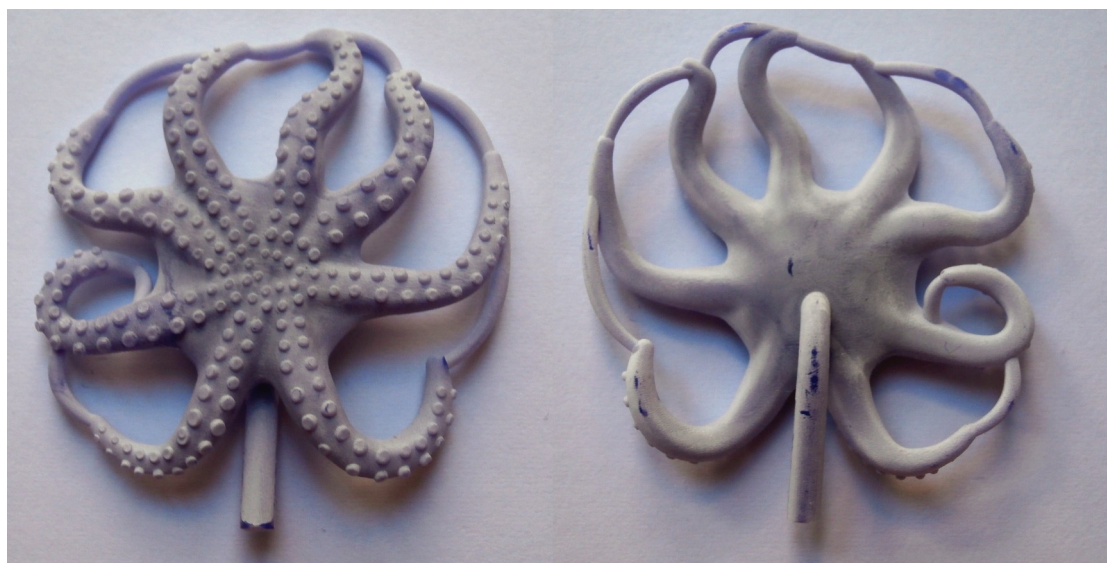
Για να κάνουμε έναν επιπλέον έλεγχο, το εισάγουμε στο “netfabb”, και ελέγχουμε διαστάσεις, καλή γεωμετρία κτλ.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 34

Μετά από αυτό, το αντικείμενο είναι έτοιμο για να σταλεί στον 3d εκτυπωτή.



Εικόνα 35: Το μικρογλυπτό μας εκτυπωμένο (και οι 2 όψεις)

Το εκτυπωμένο αντικείμενο, θα το στείλουμε χυτήριο.

Εκεί με τη μέθοδο του *χαμένου κεριού* (θα αναφερθούμε με λεπτομέρειες στη μελέτη περίπτωσης που αφορά πολλαπλή παραγωγή.) θα το βγάλουμε σε ασήμι .

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 36: Το εξάρτημα μετά τη χύτευση

Στη συνέχεια θα ' φινιριστεί ' (γυάλισμα) και θα παραδοθεί στον πελάτη που το ζήτησε ( χρυσοχόο, γλύπτη, κτλ) για να προσαρμοστεί στο αντικείμενο που επιθυμεί. Στην περίπτωση που το αντικείμενο πρόκειται να βγει σε παραγωγή, (πολλαπλό) θα πρέπει να γίνουν, κάποια επιπλέον βήματα και επίσης στο σχεδιασμό να υπάρξουν κάποιες διαφοροποιήσεις.

### 5.1.2 Παραγωγική Εκδοχή

Εάν υποθέσουμε τώρα, ότι ο πελάτης μας ζητά , το ίδιο μοντέλο αλλά για να βγει σε παραγωγή, π.χ., 15 κομμάτια από ασημί θα πρέπει να κάνουμε κάποιες αλλαγές . Η διαδικασία θα είναι αυτή που κάναμε έως τώρα, αλλά θα έχουμε κάποια

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

επιπλέον σημαντικά βήματα, που ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά το τελικό αποτέλεσμα, εάν δεν διαφοροποιήσουμε και σχεδιαστικά το αντικείμενο.

Τα βήματα που θα ακολουθήσουμε μετά το φινίρισμα του αρχικού μοντέλου είναι:

- Καλούπι σιλικόνης (ή καουτσούκ) (πάτημα λάστιχου)
- Ζέσταμα του καλουπιού στην **κεριέρα** ώστε να σκληρύνει.
- Γέμισμα με ζεστό κερί υπό πίεση από την κεριέρα και
- μετά την ψύξη του κεριού, παίρνουμε ένα κέρινο αντίγραφο.

Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία, θα πάρουμε όσα κέρινα αντίγραφα επιθυμούμε.

Αυτά, θα τα κολλήσουμε με **μπουκαδούρες** στον κέρινο άξονα της ελαστικής βάσης που είδαμε κατά στο βήμα 3 και θα δημιουργηθεί μια δενδροειδής σύνθεση.

Κατόπιν θα ακολουθήσουμε τη διαδικασία του χαμένου κεριού και του χυτηρίου.

Έτσι θα βγάλουμε πολλά αντίτυπα αφού τα λαστιχένια καλούπια μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε πολλές φορές.

Το εξάρτημα μετά την 3d εκτύπωση, θα *‘υποστεί’* λοιπόν το **γύψινο καλούπι, χύτευση** με τη μέθοδο του **χαμένου κεριού - χυτόπρεσσας, γυάλισμα και φινίρισμα**, κατόπιν τα **καλούπια σιλικόνης, κέρινα μοντέλα** από την **κεριέρα**, νέα διαδικασία χύτευσης με τη μέθοδο **χαμένου κεριού και χυτόπρεσσας, γυάλισμα και φινίρισμα**.

Το πολλαπλό αντικείμενο, θέλουμε να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ στο μέταλλο για να είναι πιο **οικονομικό**. Γιατί το κέρδος θα βγει από τον **αριθμό των πωλήσεων** και όχι από τη μοναδικότητα και την πολυτέλεια του αντικειμένου. Το μέταλλο στο οποίο θα χυτευθεί είναι το ασήμι.

Τώρα σε κάθε χύτευση, έχουμε να αντιμετωπίσουμε μία συρρίκνωση μετάλλου.

Το χυτό που παίρνουμε, δηλαδή το ‘master’ μοντέλο, θα είναι λίγο μικρότερο από το μοντέλο που πήραμε από τον 3d Printer. Έχει σημασία και το είδος του μετάλλου, αλλά γενικά συμβαίνει μία σμίκρυνση 1-3% που είναι ελάχιστη και εύκολα διαχειρίσιμη.

Το πρόβλημα είναι στο παραγωγικό κομμάτι.

Εκεί η σμίκρυνση θα συμβεί και από τα καλούπια σιλικόνης και μπορεί να φτάσει και έως 8% ανάλογα με το είδος της σιλικόνης ή του καουτσούκ που θα

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

χρησιμοποιήσουμε.

Ακόμα, η όλη επιπλέον διαδικασία, μειώνει και το επίπεδο της λεπτομέρειας που μπορεί να αποτυπωθεί.

Θα πρέπει λοιπόν, να αποφύγουμε όσο γίνεται, τα εξαιρετικά μικρά μεγέθη, καθώς και τις εξαιρετικά μικρές αποστάσεις στα γειτονικά στοιχεία. Γιατί δεν πρέπει να ξεχνάμε και την μετά-χυτευτική επεξεργασία που θα 'υποστεί' το αντικείμενο ( τρίψιμο, γυάλισμα κτλ).

Οπότε, οι διορθώσεις σε σχέση με το μοναδικό αντικείμενο:

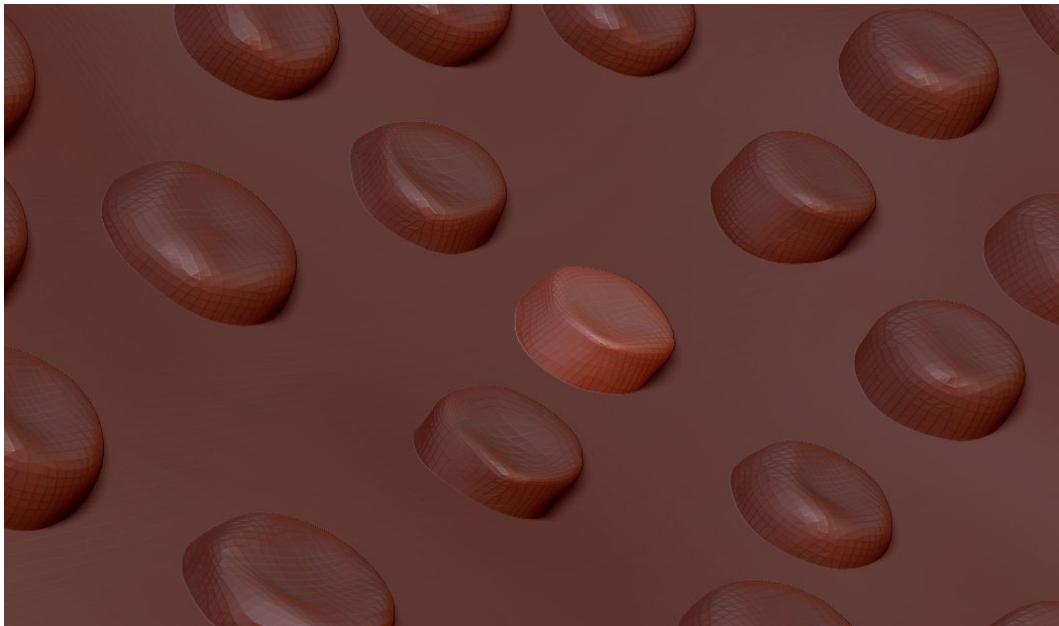
1. πιο αδρά στοιχεία (οι βεντούζες λίγο πιο ογκώδεις και όχι πολύ πυκνές)
2. λιγότερο υλικό (αδειάζουμε την πίσω όψη του χταποδιού) και
3. μεγέθυνση του συνολικού μεγέθους σύμφωνα με τα 'καλούπια'.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, από τη στιγμή που ξέρει ο "λαστιχάς" το υλικό του, με ενημερώνει ότι χρειάζεται μία μεγέθυνση 4-5%.

Οπότε μεγεθύνουμε όλο το αντικείμενο κατά 5% στο Rhino.

Το εξάγουμε σε obj και το επανεισάγουμε στο Zbrush.

Οι βεντούζες, αναπροσαρμόζονται, ως προς τις μεταξύ τους αποστάσεις (απομακρύνονται λίγο) και ως προς το μέγεθός τους.

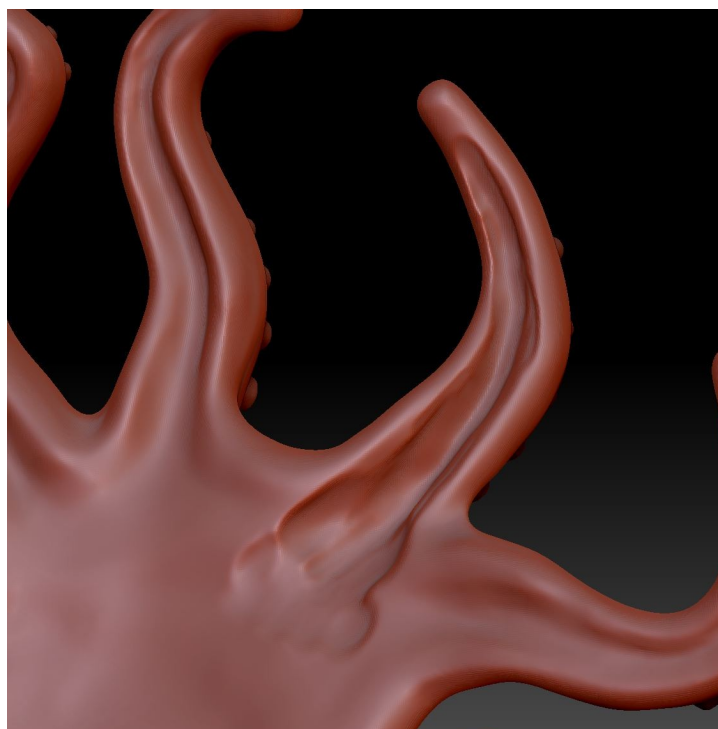


*Εικόνα 37*



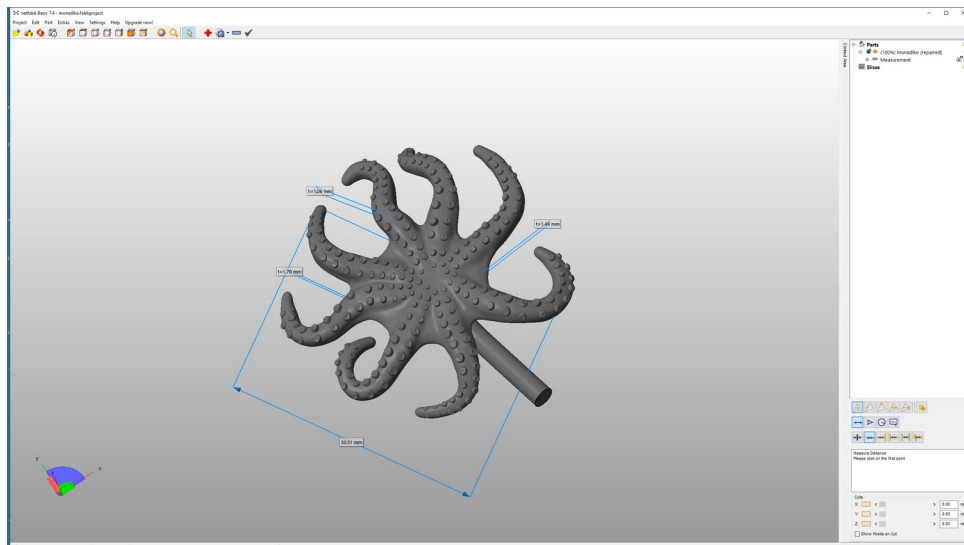
Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Και τέλος, χρειάζεται "γλυπτική" εργασία ώστε να αδειάσουμε υλικό από την πίσω μεριά του εξαρτήματος. Ουσιαστικά, θα εργαστούμε με τα ίδια εργαλεία με τα οποία προσθέσαμε όγκο και πλαστικότητα στα πλοκάμια, αλλά τώρα, αντί να να διαμορφώνουμε προσθέτοντας, διαμορφώνουμε αφαιρώντας. Θα χρειαστεί βέβαια, 2-3 φορές να το εξάγουμε, ώστε να κάνουμε ακριβείς μετρήσεις σε κάποιο τρίτο πρόγραμμα (εδώ χρησιμοποιούμε το δωρεάν "*netfabb*")



*εικόνα 38: αφαίρεση υλικού*

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



εικόνα. 39: έλεγχος διαστάσεων στο netfabb

και ύστερα να το επανεισάγουμε ώστε να συνεχίσουμε την αφαίρεση υλικού εάν χρειάζεται.

Στο τέλος όταν είμαστε ευχαριστημένοι από τις διαστάσεις, προσθέτουμε την μπουκαδούρα και το μικρογλυπτό μας, είναι έτοιμο. Ελέγχουμε πάλι τον αριθμό των πολυγώνων, και τον μειώνουμε με το **Decimation Master** και τοποθετούμε πάλι τις υποστηρικτικές δομές.

Κατόπιν, εξάγουμε το αρχείο μας σε obj.

Θα χρειαστεί να το εισάγουμε μία τελευταία φορά στο “netfabb” να ελέγξουμε τα μεγέθη και αν είναι εκτυπώσιμο (**watertight**) και να το μετατρέψουμε σε stl.

Στη συνέχεια το στέλνουμε για εκτύπωση

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



*Εικόνα 40: Το αποτέλεσμα της εκτύπωσης*

Και κατόπιν για χύτευση με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 41: το 'δεντράκι πριν' .....και μετά το χυτήριο

Απομονώνουμε το πρώτο (master) μοντέλο μας, κόβοντάς το από τη μπουκαδούρα. Στην εικόνα 38, μπορούμε να δούμε και την 'αδειασμένη' πίσω μεριά του εξαρτήματος. Την κάναμε υπερβολικά λεπτή, για να δούμε τη συμπεριφορά που θα έχει σε όλη τη διαδικασία.

Να υπενθυμίσω εδώ, ότι υπάρχουν εξειδικευμένοι μάστορες που αναλαμβάνουν κάθε στάδιο της διαδικασίας, στο οποίο εμείς, δεν μπορούμε ή δεν θέλουμε να εμπλακούμε.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



Εικόνα 42: Το 'master' μοντέλο

Ως εδώ βλέπουμε ότι όλα πήγαν καλά. Δηλαδή, εάν θέλαμε ένα μοναδικό μοντέλο δεν θα υπήρχε πρόβλημα με τις διαστάσεις.

Θα το δώσουμε σε κάποιον να το καθαρίσει και να το γυαλίσει.



Εικόνα 43: Γυαλίζοντας το αρχικό μοντέλο

Στη συνέχεια πρέπει να βγουν τα λαστιχένια καλούπια.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Επειδή εμείς θέλουμε να κάνουμε μία μικρή ποσότητα (5-10 κομμάτια), ένα καλούπι αρκεί. Απλώς θα καθυστερήσουμε λίγο, περιμένοντας να κρυώσει κάθε φορά το ένα μοντέλο, για να βγάλουμε το επόμενο.



*Εικόνα 44: το καλούπι ανοιχτό και το μοντέλο*

Στη συνέχεια θα πρέπει να εγχύσουμε στο καλούπι μας κερί. Τόσες φορές, όσα τα μοντέλα που θέλουμε να βγάλουμε στο τελικό υλικό (ασήμι). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται μία συσκευή που ονομάζεται κεριέρα.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



*Εικόνα 45: κεριέρα*

Ο χειριστής της, θα αποφασίσει τη θερμοκρασία στην οποία θα ζεσταθεί το κερί και την πίεση με την οποία θα διοχετευθεί το λιωμένο πια κερί, μέσα στο καλούπι.

Πολλές φορές, η έγχυση του λιωμένου κεριού μέσα στο καλούπι δεν είναι επιτυχής, καθώς εγκλωβίζεται αέρας, που εμποδίζει το κερί να καταλάβει όλο τον όγκο του καλουπιού.

Εάν συμβεί αυτό, ανοίγουμε αεραγωγούς (σκαλίζουμε κανάλια που οδηγούν τον αέρα έξω από το καλούπι).

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



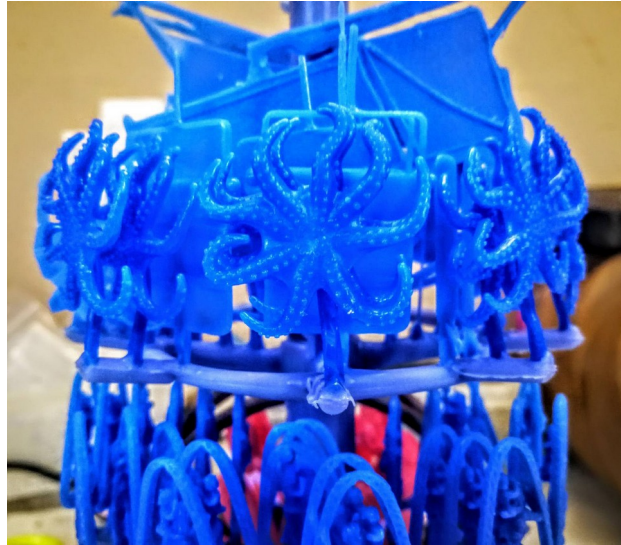
Εικόνα 46: Ο χειριστής, πιέζει το καλούπι στην κεριέρα



Εικόνα 47: Μερικά από τα κέρινα μοντέλα



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



*Εικόνα 48: Το 'δέντράκι' με τα κέρινα μοντέκα  
μας*

Τα κομμάτια που δημιουργήσαμε στην κεριέρα, τα δίνουμε στο χυτήριο, όπου δημιουργούν ένα δέντρο χύτευσης και με τη μέθοδο πάλι του χαμένου κεριού, δημιουργούν τα αντίτυπα που μας έχουν ζητηθεί.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.



*Εικόνα 49: το δέντρακι μετά τη χύτευση ασημιού 925*

### **5.1.3 Συμπεράσματα από τη συγκεκριμένη διαδικασία**

Ο συνδυασμός των προγραμμάτων που επιλέξαμε, λειτούργησε σύμφωνα με τις προσδοκίες μας. Το μικρογλυπτό-κόσμημα, έχει σχεδιαστική ακρίβεια και οργανική φόρμα. Ο ψηφιακός σχεδιασμός του, δεν θα προβλημάτιζε ιδιαίτερα κάποιον που έχει

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

σχεδιαστική αντίληψη και μία μέση γνώση των προγραμμάτων που χρησιμοποιήσαμε.

Σχετικά με την υλοποίηση, όπως βλέπουμε, τα παραγωγικά μοντέλα χυτεύθηκαν πολύ καλά, με όλες τις λεπτομέρειες, χωρίς εμφανείς διαφορές από το 'master' μοντέλο.



*Εικόνα 50: τα πολλαπλά μοντέλα και το μάστερ στο κέντρο*

Ακόμα και οι σμίκρυνση μεγέθους είναι απειροελάχιστη, εφόσον ακολουθήσαμε τις προδιαγραφές των υλικών μας και τις οδηγίες του χυτηρίου.

Γιαυτό είναι σημαντικό, ο σχεδιαστής να γνωρίζει καλά και τη μετέπειτα διαδικασία κατασκευής και τη συμπεριφορά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν (Corti, 2003)

## **6 Συμπεράσματα**

### **6.1 Ως προς την επιλογή ψηφιακής τεχνολογίας.**

Τόσο η βιβλιογραφική επισκόπηση, όσο και η μελέτη περίπτωσης, έδειξαν ότι είναι πολύ καλή επιλογή στον τομέα της κοσμηματοποιίας και μικρογλυπτικής, ο συνδυασμός λογισμικού που δημιουργεί μοντέλα χρησιμοποιώντας NURBS και λογισμικού ψηφιακής γλυπτικής, μαζί με τρισδιάστατο εκτυπωτή που χρησιμοποιεί τεχνολογία Φωτοπολυμερισμού.

Εδώ θα συνοψίσουμε, ότι αναφέραμε με λεπτομέρειες στα προηγούμενα αντίστοιχα κεφάλαια.

#### **6.1.1 Επιλογή ψηφιακής τεχνολογίας κατασκευής**

Επιλέξαμε τεχνολογία 3D printer (Προσθετική Κατασκευή) έναντι της Αφαιρετικής, για τους εξής κυρίως λόγους:

- είναι « office friendly » και δεν χρειάζεται συνεχή επίβλεψη και πολλές επεμβάσεις κατά τη λειτουργία του
- ακριβώς επειδή προσθέτει υλικό αντί να αφαιρεί, δεν γίνεται σπατάλη υλικού και ταυτόχρονα
- κρατάει καθαρό το χώρο εργασίας
- και κυρίως, σε αντίθεση με τα μηχανήματα αφαιρετικής μεθόδου, δεν γνωρίζει σχεδιαστικούς περιορισμούς.

## 6.1.2 Επιλογή τεχνολογίας 3D Printer

**6.1.3** Η καλύτερη και πιο οικονομική ίσως τεχνολογία όσον αφορά τις προδιαγραφές της εργασίας μας, είναι εκείνη του Φωτοπολυμερισμού (Vat Photopolymerization) (**SLA** και **DLP**) .

- Υψηλή γεωμετρική ακρίβεια, ομαλές επιφάνειες χωρίς έντονους πόρους. (Γιαννατσής κ.ά., 2015)
- Ο εξοπλισμός είναι συμπαγής και σχετικά εύκολος στη λειτουργία
- Είναι δυνατή η εκτύπωση πολλαπλών υλικών με διάφορες ιδιότητες (<https://thes3d.gr/sls-vs-sla-vs-fff/>)
- Υπάρχουν πολλοί οικονομικοί πλέον printers αυτής της τεχνολογίας  
Η **SLA** γενικά υπερέχει στην ποιότητα της λεπτομέρειας και η **DLP** στην ταχύτητα

Η τεχνολογία **DOD** (τεχνολογία Εκτόξευσης Υλικού) είναι πολύ ποιοτική και παρέχει μεγάλες ευκολίες ( υποστηρικτικές δομές διαφορετικού υλικού υγροδιαλυτές, άρα εύκολα αφαιρούμενες) αλλά είναι σχετικά ακριβή και γιαυτό είναι πολύ καλή λύση όταν απευθυνόμαστε σε εξωτερικές υπηρεσίες εκτύπωσης.

Η τεχνολογία άμεσης εκτύπωσης σε μέταλλο (**SLM**) είναι ακριβή, θέλει ειδικές προδιαγραφές αλλά είναι εκείνη που αλλάζει ριζικά τη διαδικασία κατασκευής κοσμημάτων.

## 6.1.4 Επιλογή τεχνολογίας 3D CAD

Στο κόσμημα και τη γλυπτική, χρειάζεται να δημιουργούμε ομαλές, ακριβείς και οργανικής

μορφής καμπύλες και στη συνέχεια επιφάνειες.

Επιλέξαμε software (**Rhinoceros**) που χρησιμοποιεί Non Uniform **B-Splines**, με το οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε καμπύλες ακριβείς, τόσο σχεδιαστικά όσο και από άποψη διαστάσεων.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Επίσης, επειδή για την μοντελοποίηση χρησιμοποιεί μαθηματικές εξισώσεις και όχι πολύγωνα, η μεγέθυνση του μοντέλου δεν επηρεάζει την ομαλότητα του, ούτε αυξάνει το μέγεθος του αρχείου. Ένα θετικό ακόμα στοιχείο είναι, ότι επειδή έχει πολλούς χρήστες σε πολλά forums μπορεί να βρει κανείς πολλές πηγές εκμάθησης.

Ακόμα επιλέξαμε και ένα πρόγραμμα ψηφιακής γλυπτικής, με το οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε πολύ οργανικές, νατουραλιστικές φόρμες και το οποίο μπορεί να διαχειριστεί πολυγωνικά μοντέλα υψηλής ανάλυσης, δίχως να καταναλώνει πολλούς πόρους του Η/Υ.

Το **ZBrush** συγκεκριμένα, έχει ‘αφοσιωμένους’ χρήστες, πολλοί από τους οποίους δουλεύουν επαγγελματικά στο χώρο των οπτικών τεχνών.

Στα θετικά των δύο προγραμμάτων είναι ότι είναι σχετικά οικονομικά.

Για έλεγχο και βελτίωση της γεωμετρίας ώστε να είναι κατάλληλη για εκτύπωση, χρησιμοποιήσαμε τη δωρεάν έκδοση του προγράμματος **netfabb** (7.4.0532)

## ***6.2 Διαφοροποιήσεις που φέρνει η Ψ.Τ. στο σχεδιασμό, την κατασκευή και τη διακίνηση των δημιουργιών***

Οι ψηφιακές τεχνολογίες, έχουν εισχωρήσει στον κλάδο της κοσμηματοποιίας και του μικρογλυπτού αν και όχι ακόμα στο βαθμό που θα έπρεπε.

Ας σκεφτούμε, τι θα έπρεπε να κάνει κάποιος πριν τις νέες τεχνολογίες, για να δημιουργήσει τα δικά του κοσμήματα: θα έπρεπε να αγοράσει τα κατάλληλα εργαλεία, τα κατάλληλα έπιπλα, να ενοικιάσει έναν κατάλληλο εργαστηριακό χώρο ( που βέβαια, απαιτεί και την κατάλληλη περιοχή).

Και κατόπιν, να βρει ‘βιτρίνα’ για τις δημιουργίες του. Να τα δείξει δηλαδή. Να τα προβάλλει σε καταστήματα, εφόσον δεν έχει δικό του.

Η ακολουθία 3d CAD - 3d Printing όμως, έχει διαφοροποιήσει τη διαδικασία κατασκευής κοσμήματος – μικρογλυπτού και έχει φέρει μεγάλες αλλαγές στον τρόπο της διακίνησής τους.

### 6.2.1 Ως προς την παραγωγή και τη διακίνηση των δημιουργιών

- τώρα μπορεί να σχεδιάσει την ιδέα του με το 3D λογισμικό της αρεσκείας του, και να το δώσει σε μία υπηρεσία για να το υλοποιήσει. ( Berman, 2012)
- μπορεί να εξοπλιστεί με έναν οικονομικό 3D printer (τεχνολογίας SLA) ώστε να βλέπει απτά τα μοντέλα του. Και να τα δίνει απλώς σε υπηρεσίες χυτηρίου (πράγμα που άλλωστε έκαναν πάντα πολλοί χρυσοχόοι) υπάρχουν Web υπηρεσίες που προσφέρουν τις υπηρεσίες τους ειδικά σε επαγγελματίες του κοσμήματος (<https://www.shop3d.io/jewellery/>)
- Έτσι σταδιακά και χωρίς μεγάλο ρίσκο, μπορεί να περάσει στον καθαρά επαγγελματικό χώρο (Lansard, 2020)
- οι συνθήκες εργασίας, τώρα, μπορούν να πλησιάζουν τις συνθήκες εργασίας σε γραφείο (office friendly περιβάλλον)
- εκλείπει πλέον η καταστροφική συνέπεια ενός αποτυχημένου χυτηρίου, όπου το καταστραμμένο αρχικό κέρινο μοντέλο έπρεπε να δημιουργηθεί από την αρχή
- μπορεί να δημιουργεί ‘on Demmand’, είτε όταν κάποιος πελάτης, ή συνεργάτης, ζητήσει μία παραγγελία, είτε αφού επιλέξει ο πελάτης κάποιο από τα κοσμήματά, που έχει δει σε μια φωτογραφία ή σε έναν ιστότοπο (Web Shop)
- μπορεί να μετατρέπει σε ψηφιακό και κατόπιν να υλοποιεί, το σχέδιο, ή την ιδέα του πελάτη (προσωπικό κόσμημα).
- είναι πολύ εύκολο, να δημιουργήσει παραλλαγές, ή/ και προσαρμογές σύμφωνα με τις επιθυμίες του πελάτη (από mass customization σε... mass personalization) (Sher, 2016) .
- Και τελικά, ο δημιουργός της ιδέας, ο σχεδιαστής, μπορεί τελικά να αναλάβει τον έλεγχο όλων των σταδίων ( σχεδιασμό, επικοινωνία με τον πελάτη, διορθώσεις, δημιουργία, πώληση).

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

- Επίσης έχει δημιουργήσει καινούργιους επαγγελματίες. Ανθρώπους που χωρίς την ύπαρξη 3D CAD- 3D Printing, μάλλον δεν θα είχαν εμπλακεί στο χώρο της δημιουργίας κοσμήματος – μικρογλυπτού.

### **6.2.2 Ως προς το αισθητικό κομμάτι (σχεδιασμός)**

- Μπορεί να δημιουργήσει φόρμες και γεωμετρίες, σε μεγέθη, που θα ήταν πολύ δύσκολο, ή και αδύνατο, να δημιουργήσει σκαλίζοντας με το χέρι.
- Ακόμα είναι πολύ πιο εύκολο να διορθωθεί κάποιο λάθος
- αφού υπάρχει η δυνατότητα της διατήρησης των σταδίων του έργου κατά τη διαδικασία της δημιουργίας του, είναι εύκολη η δημιουργία (δενδροειδών) παραλλαγών.
- Έτσι, έχοντας μεγάλη σχεδιαστική και κατασκευαστική ελευθερία, ο δημιουργικός σχεδιασμός και η καλλιτεχνική φαντασία, αυτονομούνται σε μεγάλο βαθμό από την κατασκευαστική δεξιότητα.

Άλλωστε όπως παραδέχτηκε και ο τότε διευθυντής τεχνολογίας του World Gold Council, Corti (2003), το σχέδιο τραβάει την προσοχή σε ένα κόσμημα και όχι η τεχνική.

- Οι εκδοχές των μοντέλων μπορούν με το 3d printer να εκτυπωθούν, ώστε να τα δει και να τα αισθανθεί κάποιος με την αφή, τόσο για εικαστική-αισθητική αξιολόγηση, όσο και για δημιουργική ανατροφοδότηση. Ή και για τη δημιουργία μίας θεματικής σειράς.
- Με τις μεγάλες παγκόσμιες κοινότητες που χρησιμοποιούν κοινά λογισμικά, ή/και κοινούς 3d printers, υπάρχει πληροφόρηση, ενημέρωση, αλληλοτροφοδότηση και αλληλοεπηρεασμός. Έτσι είναι πολύ εύκολη πια,
- η μετάδοση τεχνικών. Και συνεπακόλουθα, είναι πολύ πιο εύκολο να υπάρξει μία εικαστική- αισθητική διαφοροποίηση στην ‘ματιά’ του δημιουργού.

Τελικά, η ακολουθία 3D CAD – 3D Printing έχει δημιουργήσει νέους τρόπους σκέψης, νέες λύσεις σε παλαιά προβλήματα, νέες αναζητήσεις και νέες καλλιτεχνικές φόρμες (νέο αισθητικό λεξιλόγιο).



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Από την άλλη, υπάρχει ο κίνδυνος, να χρησιμοποιήσει κάποιος τις ψηφιακές δυνατότητες και ευκολίες για λόγους εντυπωσιασμού. Και να στραφεί στη δημιουργία έργων που εκμεταλλεύονται ακριβώς το ‘εξωτισμό’ και τις ‘ευκολίες’ που κουβαλάνε οι ψηφιακές τεχνολογίες.

Και που πολλές φορές, έχουν σαν αποτέλεσμα κοσμήματα που δεν μπορούν να υλοποιηθούν (για λόγους οικονομικούς, αδυναμίας χύτευσης κ.ά.).

Για αυτόν το λόγο, πέρα από την καλλιτεχνική δημιουργία, ένας δημιουργός πρέπει να γνωρίζει, τα υλικά και τις τεχνικές που χρειάζονται για την τελική υλοποίηση των σχεδίων του ( Corti, ό.π.)

Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι, ότι τώρα είναι πιο εύκολο από ποτέ να αντιγράψει κάποιος ξένες δημιουργίες. Είτε με περισσότερο κόπο (ολικός 3D σχεδιασμός) είτε με λιγότερο ( χρήση 3D scanner).

### **6.3 Αντιμετώπιση από Οίκους κοσμήματος**

Οι μεγάλες εταιρείες που εμπλέκονται στη δημιουργία και τη διακίνηση κοσμημάτων, μικρογλυπτών και πολύτιμων μετάλλων, χρησιμοποιούν τις ψηφιακές τεχνολογίες και επενδύουν σε ερευνητικές δημιουργίες.

Πολλές εταιρείες χρησιμοποιούν τη 3d εκτύπωση και το προβάλλουν .

Μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις παρουσιάζονται, ως οι εταιρείες που ‘επανεφευρίσκουν’ την κοσμηματοποιία (Jain, 2017)

Η OLA jewellery δηλώνει, ότι «επαναπροσδιορίζει τα όρια του συμβατικού σχεδιασμού κοσμημάτων»

Η ‘**Nervous System**’, προβάλλει ότι χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα Ψηφιακών Τεχνολογιών ( 3d printing, laser cutting, CNC routing).

Υπάρχουν πλέον και άρθρα, που παρουσιάζουν «τα καλύτερα ‘3d printed’ κοσμήματα » (3dsourced, 2020) .

Οι περισσότερες εταιρείες έχουν εντάξει την ψηφιακή τεχνολογία, μέσα στην παραδοσιακή γραμμή του χυτηρίου, δημιουργώντας το αρχικό κέρινο μοντέλο. Ή

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

χρησιμοποιούν τον 3D σχεδιασμό και Φωτορεαλισμό (Rendering) στη συνέχεια, ώστε να παρουσιάσουν σε διαφημίσεις και σε web Shops, τις δημιουργίες τους.

Αλλά επίσης πολλές εταιρείες επενδύουν στην εξέλιξη των ψηφιακών τεχνολογιών στο χώρο της μικρογλυπτικής και του κοσμήματος. Και ιδιαίτερα στην κατευθείαν εκτύπωση σε μέταλλο.

Η μελέτη του Alessio Carlotto (2013), δείχνει με σαφήνεια ότι είναι εφικτή η παραγωγή χρυσών κοσμημάτων με τεχνολογία **SLM**.

Ο σχεδιαστής **Lionel T Dean**, ίδρυσε το 2002 το **Future Factories Studio**, το οποίο επικεντρώνεται αποκλειστικά στο 3D printing και στη δημιουργική χρήση των ψηφιακών τεχνολογιών σχεδιασμού και κατασκευής.

Η εκτύπωση απευθείας σε μέταλλο, επιτρέπει να δημιουργηθούν φόρμες, που είναι σχεδόν αδύνατον να δημιουργηθούν με παραδοσιακούς τρόπους (Dean, 2015)

Ωστόσο, οι συνηθισμένοι **SLM** printers, έχουν πολλά σημεία, στα οποία μπορεί να εγκλωβιστεί και τελικά να χαθεί η πολύτιμη πούδρα. Και έτσι ήταν πολύ μεγάλη η σπατάλη, πολύτιμου μετάλλου.

Η εταιρεία προμήθειας και εμπορίας πολυτίμων μετάλλων **Cooksgold**, συνεργάστηκε με την εταιρεία κατασκευής τρισδιάστατων εκτυπωτών **EOS** και δημιούργησαν τον εκτυπωτή **Precious M080**.

Η **Boltenstern**, μια εταιρεία (Brand) κοσμημάτων που ιδρύθηκε το 1964, χρησιμοποιώντας τον **Precious M080**, δημιούργησε την πρώτη, δημιουργημένη ολοκληρωτικά με ψηφιακό τρόπο συλλογή κοσμημάτων (Domingo, 2017).

Ήδη υπάρχουν web services που προσφέρουν 3D εκτύπωση κατευθείαν σε πολύτιμο μέταλλο (direct metal printing) όπως η **PROGOLD** ([www.progol3d.com](http://www.progol3d.com)), που δηλώνει “εσείς σχεδιάζετε, εμείς εκτυπώνουμε”, σε 6 πολύτιμα μέταλλα (Πλατίνα, κίτρινο χρυσό, κόκκινο χρυσό, λευκόχρυσο και τιτάνιο) χρησιμοποιώντας **SLM** τεχνολογία.

## 7 Βιβλιογραφικές αναφορές

### Ξενόγλωσσες

- 3D Printing technology in the jewellery sector. (2019, Απρίλιος 19). *3D ADEPT MEDIA*. <https://3dadept.com/3d-printing-technology-in-the-jewellery-sector/>
- 3dsourced. (2020, Αύγουστος 25). *Top 10 Most Stunning 3D Printed Jewelry Pieces 2020*. 3DSourced. <https://3dsourced.com/rankings/3d-printed-jewelry/>
- 4X Silicone Mold Rubbers. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 30 Ιούλιος 2020, από <http://zerodproducts.com/4x-silicone-mold-rubbers.html>
- 7 Brands Reinventing Jewellery With 3D Printing: Imaginarium. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 26 Σεπτέμβριος 2020, από <https://www.imaginarium.io/blog/7-brands-reinventing-jewellery-with-3d-printing>
- Adler, S. W., & Fryé, T. (2000). *The revolution of CAD/CAM in the casting of fine jewelry*. Society of Manufacturing Engineers.
- Alba, M. (2018). *What's the Difference Between Parametric and Direct Modeling?* [https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/16587/Whats-the-Difference-Between-Parametric-and-Direct-Modeling.aspx?e\\_src=relat](https://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/16587/Whats-the-Difference-Between-Parametric-and-Direct-Modeling.aspx?e_src=relat)
- Alexandrea, P. (2017). *The Complete Guide to Fused Deposition Modeling (FDM) in 3D Printing*. 5.
- Annual Revenues from Jewelry 3D Printing to Top \$900 Million in 2026. (2017, Φεβρουάριος 23). *3D Printing Media Network*. <https://www.3dprintingmedia.network/annual-revenues-jewelry-3d-printing-top-900-million-2026/>
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677–688. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Balletti, C., Ballarin, M., & Guerra, F. (2017). 3D printing: State of the art and future perspectives. *Journal of Cultural Heritage*, 26, 172–182.

<https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.02.010>

Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>

Bournias-Varotsis, A. (χ.χ.). *Selecting the right 3D printing process*. 11.

Carlotto, A. (2013). *TRISSINO (VI), ITALY*. 20.

Casting—What You Should Know. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 30 Ιούλιος 2020, από

<https://www.hooverandstrong.com/casting---what-you-should-know>

*CNC Machining vs 3D Printing: What is the Difference? | American Micro Industries*.

(χ.χ.). Ανακτήθηκε 10 Αύγουστος 2020, από

<https://www.americanmicroinc.com/cnc-machining-3d-printing.html>

CNC Machining vs 3D Printing: The Advantages of CNC Machining over 3D Printing -. (2020, Ιανουάριος 13).

<https://www.cnclathing.com/guide/cnc-machining-vs-3d-printing-the-advantages-of-cnc-machining-over-3d-printing>

CNC Milling Materials: What Are They & Which Should You Choose? (2018, Μάιος 22). *Rapid Prototyping & Low Volume Production*.

<https://www.3erp.com/blog/cnc-milling-materials-choose-application/>

Cooper, F. (2015). Sintering and Additive Manufacturing: The New Paradigm for the Jewellery Manufacturer. *Johnson Matthey Technology Review*, 59(3), 233–242. <https://doi.org/10.1595/205651315X688523>

Corti, C. W. (2003). *Technology is irrelevant to Jewellery Design—Or is it?*

Proceedings of the Santa Fe Symposium, pub. Met-Chem Research Inc, Albuquerque, NM, USA. p15–28.

Dean T, L. (χ.χ.). *FutureFactories Studio*. Ανακτήθηκε 10 Αύγουστος 2020, από

<http://www.futurefactories.com/>

*Direct Metal 3D Printing Jewelry Process | Progol3D*. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 4

Οκτώβριος 2020, από

<https://www.progol3d.com/directPrinting#3DPrint>

- Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*
- Domingo, B. (2017). *World's first 3D-printed gold and platinum jewellery collection unveiled.* JEWELLERYNET.  
<https://www.jewellerynet.com/en/jnanews/features/9561>
- Finnes, T. (2015). High Definition 3D Printing – Comparing SLA and FDM Printing Technologies. *D PRINTING*, 13, 18.
- Ford, S., Mortara, L., & Minshall, T. (2016). The Emergence of Additive Manufacturing: Introduction to the Special Issue. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 156–159. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.09.023>
- Gaget, L. (2018). *Top 8 of the best parametric modeling software in 2020.* 3D Printing Blog: Tutorials, News, Trends and Resources | Sculpteo.  
<https://www.sculpteo.com/blog/2018/03/07/top-8-of-the-best-parametric-modeling-software/>
- Gaget, L. (2019a). *FDM vs SLS 3D Printing – What They Mean and When to Use Them.* 9.
- Gaget, L. (2019b). *FDM vs SLS: Which one should you choose ?* 3D Printing Blog: Tutorials, News, Trends and Resources | Sculpteo.  
<https://www.sculpteo.com/blog/2019/07/23/fdm-vs-sls-3d-printing-what-they-mean-and-when-to-use-them/>
- Gainsbury, P. E. (1979). Jewellery investment casting machines. *Gold Bulletin*, 12(1), 2–8. <https://doi.org/10.1007/BF03215098>
- Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). *Additive Manufacturing Technologies.* Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
- Grieser, F. (2015, Οκτώβριος 5). *3D Printing vs CNC: Explained and Compared.* All3DP. <https://all3dp.com/3d-printing-vs-cnc-milling/>
- Groover, M., & Zimmers, E. (1983). *CAD/CAM: computer-aided design and manufacturing.* Pearson Education.
- gsadminuser. (2017, Φεβρουάριος 20). Designing for Mold Shrinkage. G & S Jewelry.  
Ανακτήθηκε 30 Ιουλίου 2020, από

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

<https://www.gsjewelrymfg.com/2017/02/20/designing-for-mold-shrinkage/>

*Guides What is CNC?* (χ.χ.). Ανακτήθηκε 26 Σεπτέμβριος 2020, από

<https://www.treatstock.com/guide/article/122-what-is-cnc>

Heginbotham, C. (2018, Μάρτιος 31). *What is 3D Digital Sculpting?* Concept Art Empire. <https://conceptartempire.com/what-is-3d-sculpting/>

Hobson, B. (2015, Σεπτέμβριος 8). *3D-printed gold collection aims to transform the jewellery industry.* Dezeen. <https://www.dezeen.com/2015/09/08/3d-printed-gold-jewellery-18-carat-reshape-industry-lionel-t-dean/>

Horn, T. J., & Harrysson, O. L. A. (2012). Overview of Current Additive Manufacturing Technologies and Selected Applications. *Science Progress*, 95(3), 255–282.

<https://doi.org/10.3184/003685012X13420984463047>

*How 3D Printing is Disrupting the Jewelry Industry.* (χ.χ.-a). Formlabs. Ανακτήθηκε 26 Σεπτέμβριος 2020, από <https://formlabs.com/blog/3d-printed-jewelry/>

*How It's Made: Lost Wax Casting Part 1 - Carving.* (χ.χ.). Corey Egan. Ανακτήθηκε 26 Σεπτέμβριος 2020, από <https://coreyegan.com/blogs/blog/how-its-made-lost-wax-casting-part-1-carving>

*How It's Made: Lost Wax Casting Part 2 - Casting.* (χ.χ.). Corey Egan. Ανακτήθηκε 26 Σεπτέμβριος 2020, από <https://coreyegan.com/blogs/blog/how-its-made-lost-wax-casting-part-2-casting>

*How Powder Bed Fusion Works.* (χ.χ.). Engineering Product Design. Ανακτήθηκε 11 Ιούνιος 2020, από <https://engineeringproductdesign.com/knowledge-base/powder-bed-fusion/>

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Hunt, L. B. (1980). The long history of lost wax casting: Over five thousand years of art and craftsmanship. *Gold Bulletin*, 13(2), 63–79.

<https://doi.org/10.1007/BF03215456>

Jain, R. (2017). *7 Brands Reinventing Jewellery With 3D Printing: Imaginarium*.

<https://www.imaginarium.io/blog/7-brands-reinventing-jewellery-with-3d-printing>

Jamie, D. (2018). *3D Printing vs CNC Machining: Which is best for prototyping?* 7.

Jewellery. (χ.χ.). *Print on Demand Custom Merchandise & Software Solutions* |

*SHOP3D*. Ανακτήθηκε 27 Σεπτέμβριος 2020, από

<https://www.shop3d.io/jewellery/>

*Jewelry Best Practices Series—Jewelry CAD Design—Prongs and Walls*. (2016,

Αύγουστος 19). [https://www.youtube.com/watch?](https://www.youtube.com/watch?v=9htiYi5YWXE&feature=youtu.be&list=PLD4FsRZo_iE7E5PUXsnO_IYhmJom35ui)

[v=9htiYi5YWXE&feature=youtu.be&list=PLD4FsRZo\\_iE7E5PUXsnO\\_IYhmJom35ui](https://www.youtube.com/watch?v=9htiYi5YWXE&feature=youtu.be&list=PLD4FsRZo_iE7E5PUXsnO_IYhmJom35ui)

Kamçi, M. T., & Turan, B. O. (2018). Parametric Approaches to Innovative Jewelry Design. *A+Arch Design International Journal of Architecture and Design*, 4(2), 23–32.

Kerns, J. (2015).

*Machinedesign\_3249\_whatstheifferencebetweenstereolithographyandselectivelasersintering.pdf*.

Lansard, M. (2020). *3D scanning and 3D printing for jewelry—3D printing custom*

*jewelry*. Aniwaa. <https://www.aniwaa.com/guide/3d-printers/3d-printing-for-jewelry/>

*Lionel T Dean's 3D-printed gold collection aims to transform the jewellery industry*.

(2015, Σεπτέμβριος 8). [https://www.youtube.com/watch?](https://www.youtube.com/watch?time_continue=31&v=t7_HNEncd3o&feature=emb_logo)

[time\\_continue=31&v=t7\\_HNEncd3o&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=31&v=t7_HNEncd3o&feature=emb_logo)

Máté, P. (2019). *BIMobject® Academy—NURBS vs Polygon Mesh—Why Both Models Are Needed in BIMscript*. BIMobject® Academy.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.

<https://academy.bimobject.com/en/bimscript/nurbs-vs-polygon-mesh-why-both-models-are-needed-in-bimscript>

Meyer, J. (χ.χ.). Zbrush for Jewellery—Jewellery CAD Software Overviews and Tutorials. *CAD Jewellery Skills*. Ανακτήθηκε 28 Ιούλιος 2020, από <https://www.cadjewelleryskills.com/jewellery-cad-software-zbrush/>

Meyer, J. (2012a, upD.2018). When 2 CAD Programs Are Better Than 1—CAD Jewellery Skills. *CAD Jewellery Skills*. <https://www.cadjewelleryskills.com/jewellery-tech-blog-topics/frequently-asked-questions/when-2-cad-tools-are-better-than-1-or-the-best-jewellery-cad-software-combinations/>

Meyer, J. (2012b, Ιούλιος 18). Jewellery CAD Software Comparison—CAD Jewellery Skills. *CAD Jewellery Skills*. <https://www.cadjewelleryskills.com/jewellery-tech-blog-topics/jewellery-learning-resources/jewellery-cad-software-comparison/>

Mold Shrinkage. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 3 Αύγουστος 2020, από <https://www.artistryofgold.com/AOGmoldShrinkage.php>

Mourtzis, D. D. (2017). *COMPUTER NUMERICAL CONTROL OF MACHINE TOOLS*. 74.

*Movie: 3D-printed gold jewellery will transform the industry*. (2015, Σεπτέμβριος 8). Dezeen. <https://www.dezeen.com/2015/09/08/3d-printed-gold-jewellery-18-carat-reshape-industry-lionel-t-dean/>

*Nervous System | Shop*. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 27 Σεπτέμβριος 2020, από <https://n-e-r-v-o-u-s.com/shop/>

*OLA - 3d printed jewelry*. (χ.χ.). OLA | 3d Printed Jewelry. Ανακτήθηκε 26 Σεπτέμβριος 2020, από <https://www.olajewelry.com/>

Patrick, S. (2005). *CAD Software for Jewelry Design: A Comprehensive Survey*.

Patterson, A., Collopy, P., & Messimer, S. (2015). *State-of-the-Art Survey of Additive Manufacturing Technologies, Methods, and Materials*. 06, 110.



Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Product Artist Lionel Dean Explores The Boundaries Between Art & Design. (2018).

*Miami Art Scene<sup>TM</sup>*. <https://www.themiamiartscene.com/product-artist-lionel-dean-explores-the-boundaries-between-art-design/>

Puspaputra, P. (2017). A Study of Resin as Master Jewellery Material, Surface Quality and Machining Time Improvement by Implementing Appropriate Cutting Strategy. *MATEC Web of Conferences*, 108, 06003.

<https://doi.org/10.1051/mateconf/201710806003>

Redwood, B. (χ.χ.). *Jewelry 3D printing applications*. 3D Hubs. Ανακτήθηκε 26

Ιούλιος 2020, από <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/jewelry-3d-printing-applications/>

Rogers, T. (2015). *Everything You Need To Know About CNC Machines*. Ανακτήθηκε

26 Σεπτέμβριος 2020, από <https://www.creativemechanisms.com/blog/everything-you-need-to-know-about-cnc-machines>

*RUBBER MOLD SERVICE*. (χ.χ.). Carrera Casting. Ανακτήθηκε 11 Ιούλιος 2020, από

<https://www.carreracasting.com/services/rubber-mold-service>

Rudeck, E. (2013). *What CAD Users Need to Know About Direct Modeling*.

<https://www.concurrent-engineering.co.uk/blog/blog/bid/93709/what-cad-users-need-to-know-about-direct-modeling>

Shea, R., Santos, N., & Appleton, R. (2016). *Additive Manufacturing in the DoD*. 31.

Sher, D. (2016, Μάιος 11). Jewelry making reinvented by 3D printing with next gen customization and quality. *3D Printing Media Network*.

<https://www.3dprintingmedia.network/jewelry-making-reinvented-3d-printing-next-gen-customization-quality/>

Stamati, V., & Fudos, I. (2005). A parametric feature-based CAD system for

reproducing traditional pierced jewellery. *Computer-Aided Design*, 37(4), 431–449. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2004.07.004>

*Thes3d.gr-SLS vs SLA vs FFF.pdf*. (2018).

Tseng, M. M., Jiao, J., & Merchant, M. E. (1996). Design for Mass Customization.

*CIRP Annals*, 45(1), 153–156. [https://doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)63036-4](https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63036-4)

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Tseng, M. M., Wang, Y., & Jiao, R. J. (2017). Mass Customization. Στο The International Academy for Production Engineering, L. Laperrière, & G. Reinhart (Επιμ.), *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (σσ. 1–8). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7\\_16701-3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16701-3)

*What Is CAM (Computer Aided Manufacturing)?* (χ.χ.). Ανακτήθηκε 10 Αύγουστος 2020, από <https://constructible.trimble.com/construction-industry/what-is-cam-computer-aided-manufacturing>

Wohlers, T., & Gornet, T. (2016). *History of additive manufacturing*. 38.

Xu, Y., Wu, X., Guo, X., Kong, B., Zhang, M., Qian, X., Mi, S., & Sun, W. (2017). The Boom in 3D-Printed Sensor Technology. *Sensors*, 17, 1166. <https://doi.org/10.3390/s17051166>

Ye, R. (2019, Μάρτιος 6). CNC Machining For Precious Metal Jewelry—3ERP. *Rapid Prototyping & Low Volume Production*. <https://www.3erp.com/blog/cnc-machining-for-precious-metal-jewelry/>

Yeap, M. (2019, Φεβρουάριος 27). *The Best 3D Sculpting Software (Some Are Free)*. All3DP. <https://all3dp.com/2/6-best-3d-sculpting-software-tools-4-are-free/>

Zelinski, P. (2013). *Your Shop, Too, Will Have a 3D Printer*. <https://www.mmsonline.com/columns/your-shop-too-will-have-a-3d-printer>

Zito, D., Allodi, D. V., Sbornicchia, D. P., & Rappo, S. (χ.χ.). *Why Should We Direct 3D Print Jewelry? A Comparison between Two Thoughts: Today and Tomorrow*. 29.

Zou, Q., & Feng, H.-Y. (2019). Push-pull direct modeling of solid CAD models. *Advances in Engineering Software*, 127, 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2018.10.003>

Zuza, M. (2020, Απρίλιος 30). *3D sculpting—Modeling characters and organic shapes for 3D printing*. Prusa Printers.

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

[https://blog.prusaprinters.org/3d-sculpting-modeling-characters-and-organic-shapes\\_31705/](https://blog.prusaprinters.org/3d-sculpting-modeling-characters-and-organic-shapes_31705/)

## **YouTube**

Jewelry Best Practices Series—Jewelry CAD Design—Prongs and Walls. (2016, Αύγουστος 19). [https://www.youtube.com/watch?v=9htiYi5YWXE&list=PLD4FsRZo\\_iE7E5PUXsnnO\\_1YhmJom35ui](https://www.youtube.com/watch?v=9htiYi5YWXE&list=PLD4FsRZo_iE7E5PUXsnnO_1YhmJom35ui)

## **Ελληνόγλωσσες**

Βάσσιου, Γ., & Κοντογιάννης, Ι. (2010). *ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΧΕΣΙΑΣΗ ΜΗΤΡΑΣ ΧΥΤΕΥΣΗΣ.*

Βοσνιάκος, Γ. (2015). *Είδη χύτευσης Χύτευση σε αναλώσιμο καλούπι Χύτευση σε μόνιμο καλούπι Χύτευση πρώτης ύλης.*

Γιαννατσής, Ι., Δεδούσης, Β., & Κανελλίδης, Β. (2015). *Σύγχρονες τεχνολογίες κατασκευής με τη βοήθεια Η/Υ.*

Δεδούσης, Β., Γιαννατσής, Ι., & Κανελλίδης, Β. (2015). *Συστήματα CAD Βασικά Στοιχεία και Εφαρμογές.*

Καρμοίρη, Έ. (2017). *Μελέτη και αξιοποίηση τεχνολογιών τρισδιάστατης (3D) εκτύπωσης για την σχεδίαση και την παραγωγή εξωτερικών σολών για αθλητικά παπούτσια.*

Κυριάκου, Ν. (χ.χ.). *Η εξέλιξη, οι τεχνολογίες και οι εφαρμογές της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης\_100454\_Κυριάκου\_Νικόλαος.pdf.*

Μπούτσικας, Β. (2019). *Πολυμερή και Κράματα Πολυμερών για 3D Εκτύπωση .pdf.*

- Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*
- Ξυνταριανός-Τσιροπινάς, Π. (2012). *Αναλογικές και Ψηφιακές Μέθοδοι και Τεχνικές για την Δημιουργία Τρισδιάστατης Ανθρώπινης Κεφαλής*. 198.
- Στραβολαίμης, Ν. (2019). *Τρισδιάστατη εκτύπωση: Τεχνολογίες, πεδία εφαρμογής, προκλήσεις. Μελέτη δυνατοτήτων ένταξης στον τομέα της χειροτεχνίας και της καλλιτεχνικής βιοτεχνίας.*
- Χάλαρη, Ε. (2018). *Τρισδιάστατη εκτύπωση και προοπτικές για το σχεδιασμό*\_CHALARI\_EIRHNI\_DE\_2017-2018.pdf.
- XYTEYSI-Jewelpedia. (χ.χ.). Ανακτήθηκε 12 Ιούλιος 2020, από <http://www.jewelpedia.com/lex233-xyteysi-casting.html>

Αντώνιος Κιουρτσόγλου - Από τον 3D σχεδιασμό στη 3D εκτύπωση και την υλοποίηση.  
*Εφαρμογή στο κόσμημα και στη μικρογλυπτική.*

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.