



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΔΠΜΣ Συστήματα Αυτοματισμού

Κατεύθυνση Β':

Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου και Ρομποτικής

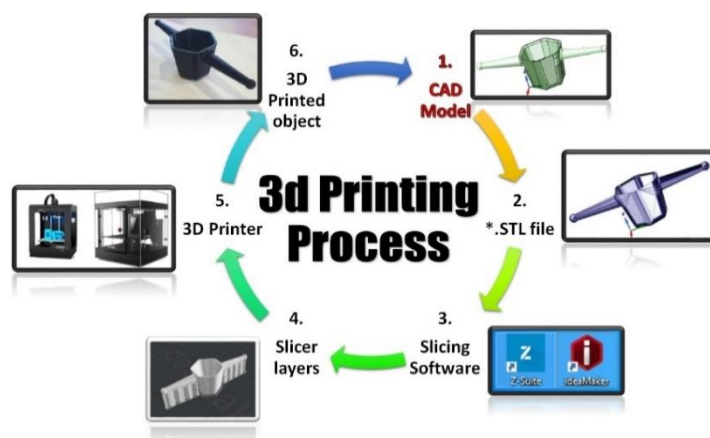
Μεταπτυχιακό Μάθημα:

Τεχνολογίες και Εφαρμογές Προσθετικής Κατασκευής/3D Εκτύπωσης

Δεύτερη Άσκηση

Όνομα Φοιτητή - Α.Μ.:

Γεώργιος Κρομμύδας - 02121208



ΑΘΗΝΑ,

2023

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή	3
Επιλογή εκτυπωτή και υλικού	3
Επιλογή παραμέτρων και προετοιμασία εκτύπωσης αντικειμένων	4
Κοστολόγηση προϊόντων και παρουσίαση	8

Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας είναι να προετοιμαστεί ένας εκτυπωτής και να κατασκευαστούν πέντε αντίτυπα κούπας, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για τσάι ή/και καφέ. Με τις κατάλληλες ρυθμίσεις και υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, οι κούπες αυτές πρέπει να είναι αξιόπιστες και φιλικές ως προς τον χρήστη. Θα πρέπει να αντέχουν υψηλές θερμοκρασίες για να μην διαβρώνεται το υλικό της κούπας, με αποτέλεσμα να θέτεται σε κίνδυνο ο χρήστης. Επίσης, θα πρέπει να είναι αντιβακτηριακές.

Επιλογή εκτυπωτή και υλικού

Ο εκτυπωτής που επιλέχθηκε είναι ο Ultimaker S5 του οίκου Ultimaker. Η επιλογή του συγκεκριμένου εκτυπωτή οφείλεται στην αξιόπιστη και ταχύρρυθμη εκτύπωση που προσφέρει. Επίσης, διαθέτει δύο κεφαλές με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κύριο υλικό, με το οποίο θα κατασκευαστούν οι κούπες και υποστηρικτικό υλικό στα σημεία του αντικειμένου όπου κρίνεται απαραίτητο. Η χρήση του υποστηρικτικού υλικού θα δώσει ένα σωστό και αξιόλογο αποτέλεσμα δίχως στρεβλώσεις. Τέλος, άλλος ένας παράγοντας επιλογής είναι οι διαστάσεις του θαλάμου και τραπεζιού του εκτυπωτή. Καθιστά εύκολα την κατασκευή αντικειμένων πολλών αντικειμένων, χωρίς να επικαλύπτονται μεταξύ τους.

Το υλικό που θα επιλεγεί θα πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα. Να είναι ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες, ώστε να μην διαβρώνεται από το ζεστό υγρό και από την τακτική πλύση της κούπας. Επίσης, δεν πρέπει να δημιουργείται εστία βακτηρίων και να είναι ασφαλές για χρήση. Ένα τέτοιο αξιόπιστο υλικό αποτελεί το *Fillamentum Nonoiler*. Το συγκεκριμένο υλικό έχει αντοχή θερμοκρασίας μέχρι τους 110°C, το οποίο κρίνεται κατάλληλο για την χρήση του στην συγκεκριμένη εφαρμογή.



Σχήμα 1. Εκτυπωμένες κούπες με χρήση του υλικού *Fillamentum Nonoiler*

Στο Σχήμα 1 βλέπουμε την χρήση του συγκεκριμένου υλικού σε κούπα. Η ίδια η εταιρία το δεικνύει για εκτύπωση τέτοιων εφαρμογών.

Εκτός από το κύριο υλικό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και το υποστηρικτικό για την δεύτερη κεφαλή. Το υποστηρικτικό υλικό που επιλέχθηκε είναι το *PVA*. Το συγκεκριμένο υλικό αφαιρείται ευκολότερα, καθώς διαλύεται στο νερό, συγκριτικά με το υποστηρικτικό υλικό *Breakaway*, το οποίο αφαιρείται μηχανικά και μπορεί να βλάψει το αντικείμενο. Επίσης, το κύριο υλικό είναι ανθεκτικό στο νερό, οπότε δεν τίθεται πρόβλημα διάβρωσης ή καταστροφής της κούπας.

Τέλος, με την επιλογή του εκτυπωτή και των υλικών, αξίζει να σημειωθεί πως μία πιο αξιόπιστη λύση για τις παραγόμενες κούπες είναι να χρησιμοποιήσουμε εποξική ρητίνη για την μετεπεξεργασία των αντικειμένων. Έτσι, το τελικό αντικείμενο θα γίνει πιο ανθεκτικό, με αποτέλεσμα να αποτρέπει την ανάπτυξη βακτηρίων και μικροοργανισμών στην επιφάνεια της κούπας και στις εσωτερικές κοιλότητες της κούπας.

Επιλογή παραμέτρων και προετοιμασία εκτύπωσης αντικειμένων

Η βασική παραμετροποίηση στο λογισμικό CURA έγινε με βάσει το Data Sheet και τον οδηγό 3D εκτύπωσης, που παρέχει η εταιρία του υλικού. Με το άνοιγμα του *.3mf* αρχείου που περιέχει το *CAD* μοντέλο της κούπας και την εύρεση των κατάλληλων υλικών από το Marketplace της εφαρμογής θα ξεκινήσει η διαδικασία προετοιμασίας του εκτυπωτή με την επιλογή των κατάλληλων ρυθμίσεων.

Ξεκινάμε αρχικά με την επιλογή των κατάλληλων κεφαλών. Η πρώτη κεφαλή (nozzle) που θα εκρέει το κύριο υλικό είναι τύπου AA με διάμετρο $D_{n_1} = 0.8 \text{ mm}$. Η δεύτερη κεφαλή που θα εκρέει το υποστηρικτικό υλικό είναι τύπου BB με διάμετρο $D_{n_2} = 0.8 \text{ mm}$.

Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>	Enabled	<input checked="" type="checkbox"/>
Material	Nonoilen	Material	PVA
Print core	AA 0.8	Print core	BB 0.8

Σχήμα 2.1. Κεφαλή (nozzle) για το κύριο υλικό

Σχήμα 2.2. Κεφαλή (nozzle) για το υποστηρικτικό υλικό

Η χρήση των συγκεκριμένων διαμέτρων έγινε για την ελαχιστοποίηση του χρόνου κατασκευής της κούπας. Επίσης, από τα δεδομένα του υλικού εισάχθηκε στο CURA και η τιμή

κοστολόγησης των υλικών ανά συγκεκριμένη μάζα. Το πρωτεύων υλικό *Fillamentum Nonoiler* κοστολογείται στα 39.99 €/750g, ενώ το δευτερεύον υλικό *Ultimaker PVA* κοστολογείται στα 69.99 €/750g.

Nonoilen

Information		Print settings	
Display Name	Nonoilen		
Brand	Fillamentum		
Material Type	Nonoilen		
Color	● Generic		
Properties			
Density	1.2	g/cm ³	
Diameter	2.85	mm	
Filament Cost	39.99	€	
Filament weight	750	g	
Filament length	~ 98 m		
Cost per Meter	~ 0.41 €/m		

PVA

Information		Print settings	
Display Name	PVA		
Brand	Generic		
Material Type	PVA		
Color	● Generic		
Properties			
Density	1.23	g/cm ³	
Diameter	2.85	mm	
Filament Cost	69.99	€	
Filament weight	750	g	
Filament length	~ 96 m		
Cost per Meter	~ 0.73 €/m		

Σχήμα 3.1. Χαρακτηριστικά Υλικού *Fillamentum Nonoiler*

Σχήμα 3.2. Χαρακτηριστικά Υλικού *Ultimaker PVA*

Οι κατάλληλες ρυθμίσεις που βρέθηκαν για την κατασκευή ενός αντικειμένου παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 1.

Ρυθμίσεις Εκτυπωτή	Επιλεγμένες τιμές
<i>Layer Height</i>	0.3 mm
<i>Printing Temperature</i>	185°C
<i>Build Plate (Bed) Temperature</i>	50°C
<i>Generate Support</i>	True
<i>Support Extruder</i>	2
<i>Infill Density</i>	90%
<i>Print Speed</i>	50 mm/sec
<i>Build Plate Adhesion Type</i>	Skirt

Πίνακας 1. Ρυθμίσεις Εκτυπωτή

Το *Layer Height* έχει αυτή την τιμή για να υπάρχει ομοιόμορφο πάχος ανάμεσα στις στρώσεις του υλικού κατά την κατασκευή. Επίσης, έτσι μειώνει και τις στρώσεις που χρειάζονται να εκρέουν από την κεφαλή. Η θερμοκρασία εκτύπωσης βρίσκεται μέσα στα όρια που προτείνονται από το *sheet* (175°C – 195°C). Η θερμοκρασία του τραπεζιού θα είναι στους 50°C η οποία είναι η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία για το συγκεκριμένο υλικό, ώστε να μην τήξει καθώς τοποθετείται η κάθε στρώση στο τραπέζι του εκτυπωτή. Το ποσοστό *Infill Density* επιλέχθηκε στην τιμή 90% με χρήση γραμμών, καθώς το αντικείμενο χρειάζεται για

να έχει καλή αντοχή το τελικό αντικείμενο. Τέλος, η εταιρία *Fillamentum* προτείνει ως καλύτερη λύση για την υποστήριξη του αντικειμένου την μέθοδο *Skirt*. Η συγκεκριμένη μέθοδος δημιουργεί μία βάση για το τελικό αντικείμενο που θα παραχθεί. Επίσης, αποτελεί μία αξιόπιστη λύση, καθώς εγκαθιδρύει μια συνεχή εκροή του *fillament*, καθιστώντας έτσι πιο σταθερή την κατασκευή του αντικειμένου. Στο σχήμα 4 μπορούμε να επαληθεύσουμε και τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν.

3D PRINTING GUIDE



NonOilen®

(polylactic acid and polyhydroxy butyrate compound)

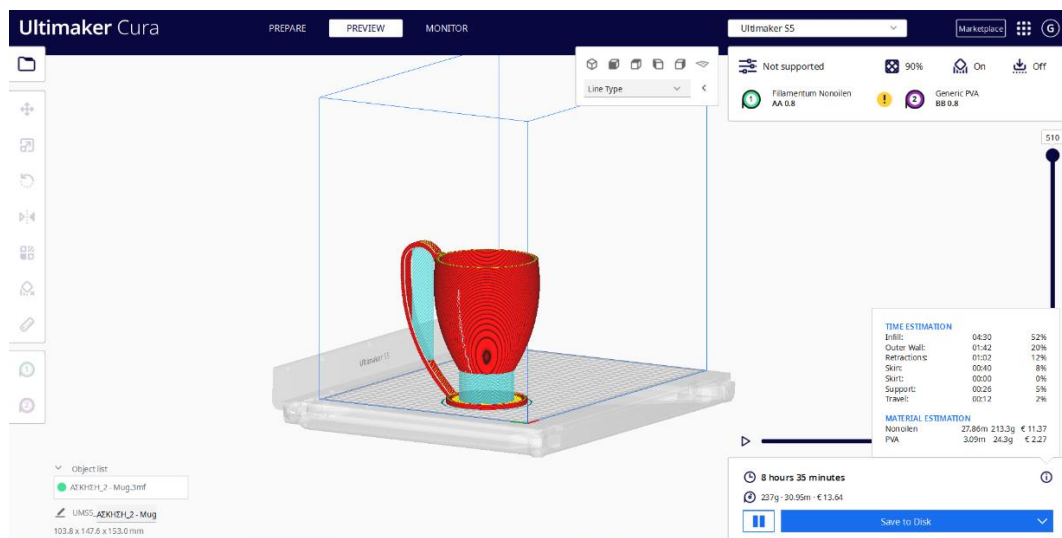
Printing temperature: 175 - 195 °C
Heated bed temperature: 0 - 50 °C
Speed: 20 - 50 mm/s
Part cooling fan: 100 %

Heated bed surface: PEI, mirror/glass, LockPad
Adhesive: 3DLac, PVA glue
Raft / skirt / brim: skirt
Heated chamber / enclosure: not needed

Σχήμα 4. Χαρακτηριστικά Ρύθμισης Εκτυπωτή Πρωτεύων Υλικού

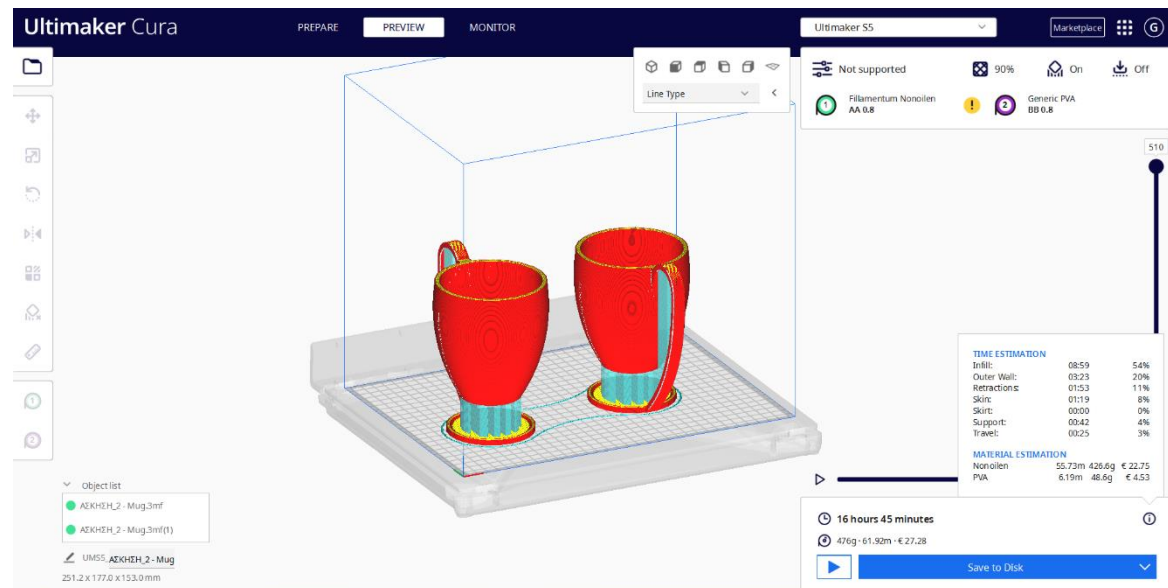
Καθώς έχουν επιλεγεί οι κατάλληλες ρυθμίσεις πρέπει να βρούμε έναν τρόπο ώστε να εκτυπωθούν τα πέντε αντικείμενα. Κατά την τοποθέτηση των αντικειμένων εντός του εκτυπωτή, παρατηρήθηκε πως μόνο τρία μπορούν να τοποθετηθούν εντός του θαλάμου. Έτσι, η εκτύπωση θα γίνει σε δύο στάδια. Πρώτα θα εκτυπωθούν τα τρία κομμάτια και στη συνέχεια τα υπόλοιπα δύο.

Ωστόσο, για να αποδείξουμε την ορθότητα της επιλογής των παραμέτρων, θα πρέπει αρχικά να εκτυπώσουμε ένα αντικείμενο και να αντικρίσουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

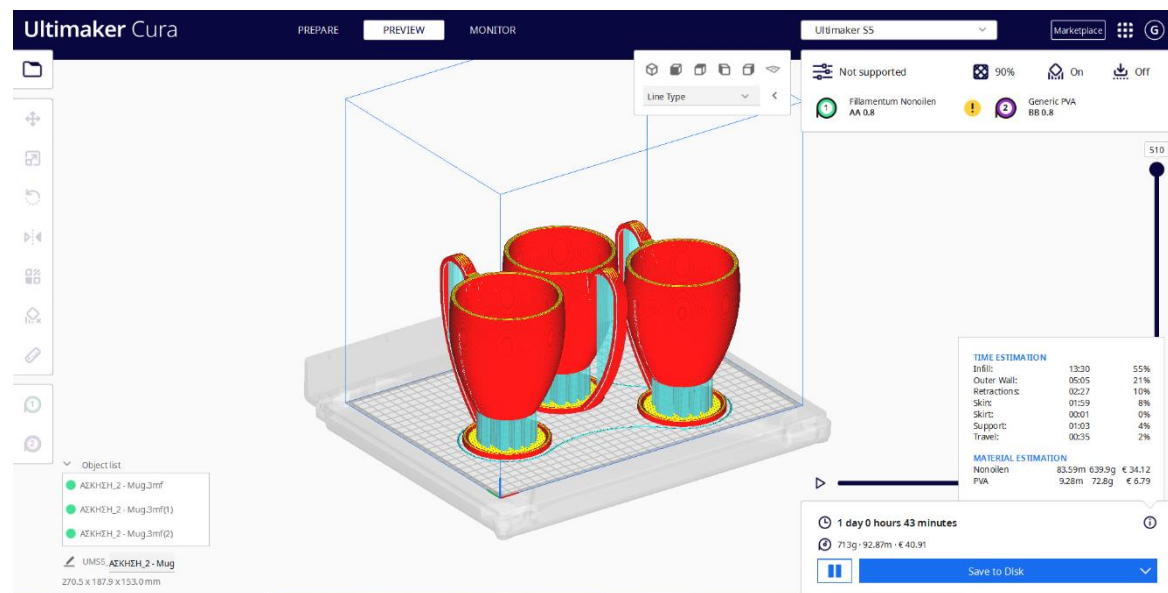


Σχήμα 5. Προετοιμασία ενός αντικειμένου

Στο σχήμα 5 διακρίνουμε την διαδικασία προετοιμασία για ένα αντικείμενο με τις ρυθμίσεις του πίνακα 1. Επίσης, στα σχήματα 6.1 και 6.2 διακρίνουμε την διαδικασία προετοιμασιών των αντικειμένων.



Σχήμα 6.1 Προετοιμασία Εκτύπωσης Δύο Αντικειμένων



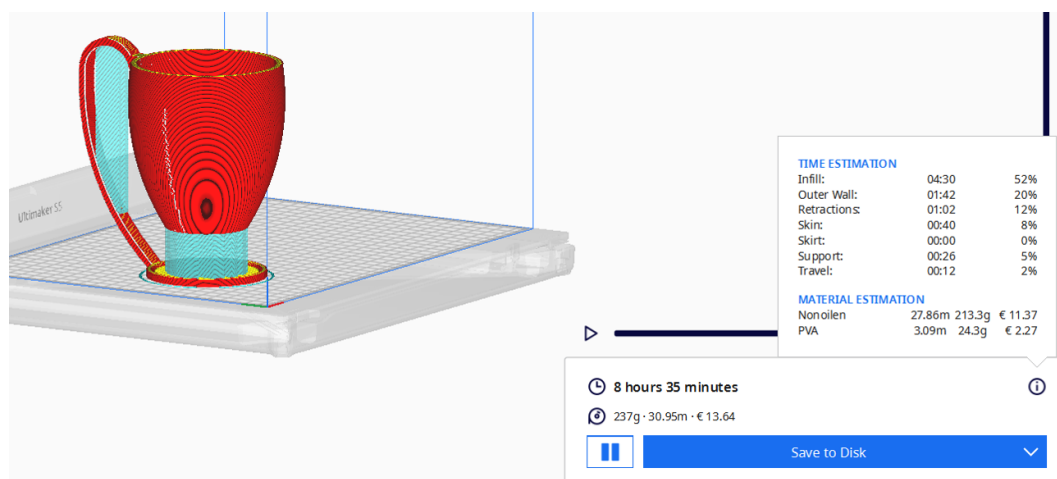
Σχήμα 6.2. Προετοιμασία Εκτύπωσης Τριών Αντικειμένων

Αυτό που παρατηρούμε είναι πως δεν έχουμε αρκετή μάζα υλικού για να εκτυπωθούν και τα πέντε αντικείμενα. Έτσι, θα πρέπει να αυξήσουμε το μήκος του υλικού. Καθώς ο extruder της συγκεκριμένης μηχανής χρησιμοποιεί μόνο *fillament* διαμέτρου $D_f = 2.85 \text{ mm}$, η μόνη επιλογή είναι να αυξήσουμε τον αριθμό των καρουλιών και κατ' επέκταση της μάζας και του μήκους του *fillament*. Όμως εάν η διαδικασία γίνει σωστά με τις ρυθμίσεις του Πίνακα 1, τότε θα έχουμε και τα πέντε αντικείμενα μετά από 1 μέρα 17 ώρες και 28 λεπτά στην

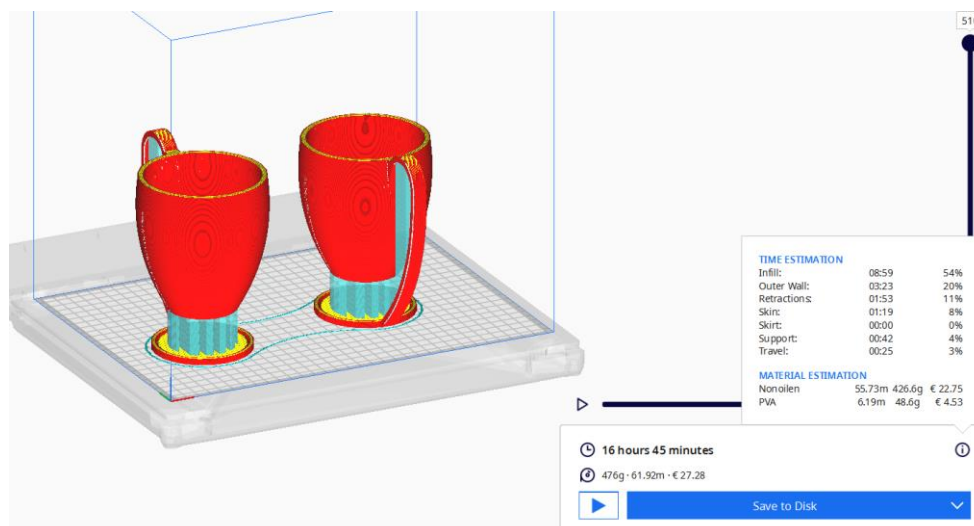
περίπτωση που τα υπόλοιπα δύο τοποθετηθούν αμέσως μετά την λήξη της εκτύπωσης των τριών προηγούμενων. Επιπλέον, τα αντικείμενα που κατασκευστήκαν εισάγονται σε ένα δοχείο νερού για να ξεκινήσει η διαδικασία διάλυσης του υποστηρικτικού υλικού *Ultimaker PVA*. Το υλικό *Ultimaker PVA* χρειάζεται 12 με 18 ώρες να διαλυθεί στο νερό, επομένως συνολικά θα χρειαστούν περίπου 3 μέρες για να ολοκληρωθεί η διαδικασία.

Κοστολόγηση προϊόντων και παρουσίαση

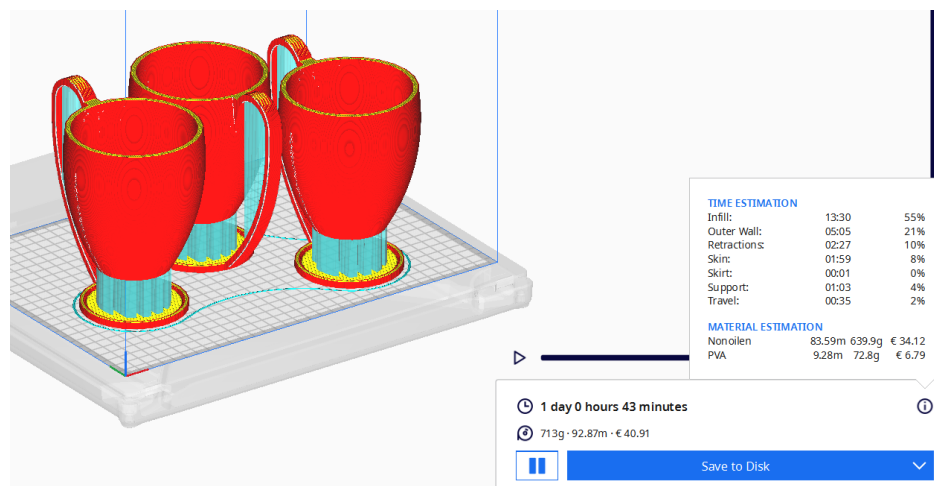
Με βάση τα κόστη που βρέθηκαν και εισήχθησαν στο λογισμικό του CURA για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, υπολογίστηκαν οι τιμές συνολικά των αντικειμένων. Στο σχήμα 5 που δείχνει την προετοιμασία του αντικειμένου, κατά το *slice*, υπολογίζεται και το κόστος. Βρέθηκε πως για την παραγωγή ενός αντικειμένου χρειάζεται $Cost_1 = 13.64 \text{ €}$. Ενώ, για την παραγωγή και των πέντε αντικειμένων χρειαζόμαστε κόστος $Cost_2 = 68.19 \text{ €}$. Αναλυτικότερα τα κόστη φαίνονται και στα σχήματα 7.1, 7.2 και 7.3.



Σχήμα 7.1 Κόστος Ενός Αντικειμένου



Σχήμα 7.2 Κόστος Δύο Από Πέντε Αντικειμένων



Σχήμα 7.3. Κόστος Τριών Από Πέντε Αντικειμένων