

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**



**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Προσθετική κατασκευή πρωτότυπων μοντέλων γυναικείων  
τακουνιών**

**Διπλωματική Εργασία**

**Δημήτριος Λυσίκατος**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Σταυρουλάκης Γεώργιος**



Κατόπιν ολοκλήρωσης αυτής της διπλωματικής εργασίας δεν γίνεται να μην αναφερθώ στους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου. Αρχικά, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σταυρουλάκη Γεώργιο, αλλά και τον κ. Μπίλαλη Νικόλαο ως προηγούμενο επιτηρητή, που δεν κατάφερε να είναι επιβλέπωντας λόγω της συνταξιοδότησής του, για τον χρόνο που αφιέρωσαν στο θέμα της εργασίας μου καθώς και την υποστήριξη τους καθ' όλη την διάρκεια αυτών των μηνών.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει στην οικογένεια και στους φίλους μου, στους οποίους είναι και αφιερωμένη η εργασία.



## Πίνακας Περιεχομένων

### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ

Ευχαριστίες .....	2
Περίληψη .....	7
Συνοτομογραφίες και ακρωνύμια .....	9
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στην έννοια του πρωτοτύπου και του κύκλου ζωής ενός προϊόντος ..	10
1.1 Μοντέλο ανάπτυξης προϊόντος .....	10
1.2 Δημιουργία Ιδεών .....	11
1.3 Αξιολόγηση Ιδεών – Επιλογή τελικής ιδέας .....	12
1.4 Πρωτότυπα .....	14
1.5 Οι σκοποί και η χρησιμότητα των πρωτοτύπων .....	14
Κεφάλαιο 2: Εισαγωγή στην έννοια της προσθετικής κατασκευής και οι μοναδικές δυνατότητές της .....	16
2.1 Τι είναι προσθετική μηχανική και ποια η σημασία της .....	16
2.2 Η διεργασία της προσθετικής μηχανικής .....	17
2.2.1 Στάδιο 1: Σύλληψη της ιδέας CAD .....	18
2.2.2 Στάδιο 2: Μετατροπή σε αρχείο STL .....	19
2.2.3 Στάδιο 3: Μεταφορά του αρχείου STL στη μηχανή AM και προετοιμασία .....	19
2.2.4 Στάδιο 4: Κατασκευή .....	20
2.3 Θέματα σχεδιασμού για προσθετική κατασκευή .....	21
Κεφαλαίο 3: Δυνατότητες Προσθετικής Κατασκευής .....	23
3.1 Μορφολογική Πολυπλοκότητα .....	23
3.2 Πολυπλοκότητα Υλικού .....	24
3.3 Προσθετική κατασκευή – AM πολλαπλών υλικών .....	Error! Bookmark not defined.
Κεφαλαίο 4: Χειρωνακτική κατασκευή πρωτότυπων γυναικείων τακουνιών .....	26
4.1 Ιστορία και αναγκαιότητα κατασκευής προτύπων τακουνιών .....	26
4.2 Γενικές Πληροφορίες .....	29
4.3 Βήματα χειρωνακτικής σχεδίασης πρωτοτύπου .....	29
Κεφαλαίο 5: Σχεδιασμός με το λογισμικό σχεδίασης Siemens – NX .....	33
5.1 Προσθετική κατασκευή βήμα – βήμα ενός πρωτότυπου γυναικείου τακουνιού .....	33
5.2 Εκτύπωση τελικού αντικειμένου .....	43

Κεφαλαίο 6: Μέθοδοι εκτύπωσης FDM και SLA.....	43
6.1 Σύγκριση των μεθόδων.....	44
6.2 Εφαρμογές στα πρωτότυπα γυναικείων τακουνιών.....	45
Κεφαλαίο 7: Συμπεράσματα .....	48

## Περίληψη

Η πορεία των προϊόντων μίας εταιρείας είναι άμεσα συνδεδεμένη με την ύπαρξη και τη πορεία μίας επιχείρησης. Κάθε προϊόν έχει ένα συγκεκριμένο κύκλο ζωής τον οποίο περνά και στο τέλος του το προϊόν αποσύρεται από την αγορά. Η ανάπτυξη νέων προϊόντων αποτελεί μία περίπλοκη, επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει πάρα πολλούς κινδύνους. Για τη δημιουργία των προϊόντων μέσω του μοντέλου ανάπτυξης το οποίο και θα αναλυθεί περαιτέρω στη συνέχεια απαραίτητο συστατικό είναι η δημιουργία ιδεών και κατόπιν η δημιουργία πρωτοτύπων. Από τη δημιουργία ανάγκης κατασκευής γυναικείων υποδημάτων, το πιο σημαντικό στάδιο στην τελική δημιουργία τους ήταν η κατασκευή του πρωτότυπου. Ως πρωτότυπο, ορίζεται το έργο το οποίο χρησιμεύει ως πρότυπο για κάποιο άλλο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ως πρωτότυπο πλαστικού τακουινιού ή ως ρέζινα όπως αποκαλείται στο χώρο της υποδηματοποιίας, ορίζεται το αντικείμενο το οποίο είναι ίδιο με αυτά της παραγωγής αλλά από άλλο υλικό το οποίο πληροί κάποιες συγκεκριμένες προδιαγραφές οι οποίες θα αναφερθούν στη συνέχεια και είναι έτσι κατασκευασμένο έτσι ώστε να αποτελέσει την βάση για την δημιουργία του καλουπιού το οποίο είναι το επόμενο στάδιο. Μέχρι πριν από μερικά χρόνια επικρατέστερος τρόπος για την δημιουργία πρωτοτύπων ήταν με κατεργασίες στο χέρι. Με αυτόν τον τρόπο, οι χρόνοι κατεργασίας όλο και αυξάνονται, τα ανθρώπινα λάθη όπως είναι φυσικό γίνονται συχνότερα και το κόστος πραγματοποίησης είναι αρκετά αισθητό. Τα παραπάνω αποτελούν τροχοπέδη στην άρτια δημιουργία πρωτοτύπων και η ανάγκη βελτίωση τους οδήγησε στην εξερεύνηση διάφορων ψηφιακών προγραμμάτων CAD αλλά και προσθετικής μηχανικής ή τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αυτή τη στιγμή διανύουμε την εποχή που ο τομέας των ψηφιακών και αυτοματοποιημένων κατασκευαστικών τεχνολογιών δεν αποτελεί επιλογή αλλά μονόδρομος. Η προσθετική κατασκευή ή Additive Manufacturing ή τρισδιάστατη εκτύπωση ή όπως είναι κοινό σε όλους ως 3D Printing, ορίζεται από το σύνολο των τεχνολογιών που είναι ικανές να μετατρέψουν ένα ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο σε ένα φυσικό στερεό αντικείμενο. Η κατασκευή πραγματοποιείται με τη σταδιακή πρόσθεση λεπτών στρώσεων υλικού, που αποτελούν τις αντίστοιχες διατομές του μοντέλου, μέχρι να σχηματιστεί το τελικό αντικείμενο. Σε σύγκριση με ό,τι συμβαίνει στις συμβατικές κατασκευαστικές διεργασίες, ο στρωματικός προσθετικός χαρακτήρας της AM οδηγεί σε μοναδικές δυνατότητες όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των κατασκευαζόμενων κομματιών. Η εξέλιξη της προσθετικής μηχανικής είναι συνεχής με σκοπό οι δυνατότητες αυτών να αξιοποιηθούν όσο περισσότερο γίνεται. Βέβαια, για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων των τεχνολογιών αυτών απαιτούνται και τα κατάλληλα εργαλεία λογισμικού, τα οποία λέγονται και συστήματα στερεάς μοντελοποίησης ή CAD. Τα αρχεία τα οποία αναπαραστούν τα δεδομένα ενός ψηφιακού μοντέλου ονομάζονται STL, τα οποία μεταφέρονται στο λογισμικό μιας μηχανής προσθετικής μηχανικής προκειμένου να πραγματοποιηθεί η κατασκευή του αντικειμένου. Ένα από τα λογισμικά CAD, που μπορούν να διευθετήσουν ορισμένα θέματα που συναντώνται στη ροή εργασιών της προσθετικής κατασκευής είναι το

Siemens NX. Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναδείξει τις μοναδικές δυνατότητες της προσθετικής κατασκευής ή αλλιώς 3D Printing, να παρουσιάσει ορθά και με σαφήνεια τη διαδικασία που ακολουθείται από τη δημιουργία ιδεών μέχρι και την δημιουργία του πρωτότυπου και τέλος μέσω του προγράμματος Siemens NX να αποδειχθεί πόσο πιο απλός και εύχρηστος είναι ο σχεδιασμός πρωτοτύπων στο χώρο της υποδηματοποιίας και ειδικότερα των πλαστικών γυναικείων τακουνιών, αποφεύγοντας τα σημαντικά προβλήματα που παρουσιάζονται στις κατεργασίες στο χέρι.

Συγκεκριμένα:

Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αποτελεί εισαγωγή στη θεωρία της διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντων, κυρίως εμβάθυνση στα στάδια «Δημιουργία Ιδεών» και «Δημιουργία Πρωτοτύπων». Επίσης θα γίνει μία μικρή αναφορά στο κύκλο ζωής των προϊόντων.

Το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο της συγκεκριμένης έρευνας αποτελείται από την μεταφορά της άυλης ιδέας στο πρακτικό κομμάτι της προσθετικής κατασκευής, αναφέροντας την σημασία της, την διαδικασία διεργασίας και στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται κυρίως οι δυνατότητες της καθώς και οι μορφολογική της πολυπλοκότητα.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται λεπτομερώς η χειρωνακτική μέθοδος σχεδίασης ενός γυναικείου πρωτότυπου τακουνιού καθώς και οι προδιαγραφές που πρέπει να ορίζονται προτού της σχεδίασης για να θεωρηθεί το τελικό προϊόν ολοκληρωμένο. Από την άλλη πλευρά, στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο με τη βοήθεια του Siemens-NX, το οποίο προσφέρει ποικίλες δυνατότητες σχεδίασης, πραγματοποιείται η σχεδίαση ενός υπαρκτού γυναικείου τακουνιού στο πρωτότυπό του με όλες τις κατάλληλες προδιαγραφές, με σκοπό την σύγκριση των δύο μεθόδων και την επιλογή της πιο κατάλληλης με βάση τα κριτήρια που έχουν οριστεί.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, συγκρίνονται οι δύο επικρατέστεροι μέθοδοι εκτύπωσης FDM και SLA, όσον αφορά το τελικό αποτέλεσμα της εκτύπωσης στα πρωτότυπα που είναι το σημαντικότερο αλλά και τους υπόλοιπους παράγοντες, όπως κόστος, χρόνος και στηρίγματα.



## Πίνακας συμβόλων – ακρωνύμιων – συντομογραφιών

2D Two-Dimensional (Δισδιάστατος/-η/-ο)

3D Three-Dimensional (Τρισδιάστατος/-η/-ο)

3MF 3D Manufacturing Format

ABS Acrylonitrile Butadiene Styrene

ABS/PC Acrylonitrile Butadiene Styrene/PolyCarbonate

CAD Computer-Aided Design

CAM Computer-Aided Manufacturing

CNC Computerized Numerical Control

RP Rapid Prototyping

AM Additive Manufacturing

ASTM American Society for Testing and Materials

STL STereoLithography, Standard Tessellation or Triangle Language

DFAM Design for Additive Manufacturing

SLA StereoLithogrAphy

FDM Fused Deposition Modeling

TPU Thermoplastic PolyUrethane


## Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή στην έννοια του πρωτοτύπου και του κύκλου ζωής ενός προϊόντος.

### 1.1 Μοντέλο ανάπτυξης προϊόντος

Για την ανάπτυξη ενός μοντέλου-πρωτότυπου ακολουθείται μία συγκεκριμένη διαδικασία αποτελούμενη από διαδοχικά στάδια, τα οποία οφείλουν να γίνουν με τη σειρά που θα αναφερθούν. Το πρώτο στάδιο είναι η δημιουργία μίας ιδέας και ακολουθεί η αξιολόγησή και η τελική επιλογή της ανάλογα με τις προδιαγραφές που έχουνε θεσπιστεί αρχικά. Κατόπιν της τελικής επιλογής η διαδικασία προχωράει στο κομμάτι της κατασκευής του πρωτοτύπου με βάση τις προδιαγραφές και τα θέλω που έχουνε οριστεί στα προηγούμενα στάδια. Παρόλο που το πρωτότυπο αποτελεί την βάση και το έναυσμα για την ανάπτυξη οποιουδήποτε προϊόντος, βασικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπόψιν σε οποίον δημιουργεί κάτι καινούργιο είναι η προώθηση του. Η σχέση της παραγωγής, της ανάπτυξης και της προώθησης ενός προϊόντος είναι αλληλένδετες και ο συνδυασμός τους κρίνεται απαραίτητος για να θεωρηθεί ένα προϊόν ως επιτυχημένο.

### 1.2 Δημιουργία Ιδεών

Στο χώρο της υποδηματοποιίας για την δημιουργία οποιουδήποτε νέου προϊόντος ισοδυναμεί και την δημιουργία του αντίστοιχου πρωτότυπου αυτού. Για την ανάπτυξη και την δημιουργία νέων προϊόντων χρειάζονται κάποιες αρχικές ιδέες για νέα προϊόντα, ένα από τα οποία θα αποτελέσει νέο προϊόν και προφανώς και πρωτότυπο προτού έλθει σε τελική μορφή. Η δημιουργία αυτών των ιδεών αποτελεί και τη βάση της σωστής ανάπτυξης ενός νέου πρωτοτύπου και προϊόντος. Οι πηγές ιδεών ανάλογα τον χώρο στον οποίο απευθύνονται διαφοροποιούνται και είναι άμεσα εξαρτώμενες με τις αντίστοιχες προδιαγραφές που ορίζονται.

 Ιδέες προερχόμενες από έρευνα αγοράς.

Στο χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας οι μικρομεσαίες βιοτεχνίες ακόμα και οι βιομηχανίες που έχουνε μεγαλύτερο πελατολόγιο έρχονται σε θέση 6 μήνες πριν να προβλέψουν και να «ποντάρουν» σε νέα προϊόντα. Όταν, τα γυναικεία υποδήματα την σεζόν του καλοκαιριού είναι έτοιμα περίπου το μήνα Απρίλιο, σημαίνει πως οι κατασκευαστές τους τα έχουνε προμηθευτεί τουλάχιστον δύο μήνες πριν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τους βιοτεχνίες που παρασκευάζουν τα υλικά για τα παπούτσια αυτά πρέπει η παραγωγή των προϊόντων να είναι ολοκληρωμένη τουλάχιστον δύο μήνες πριν την παραλαβή τους από τους κατασκευαστές. Επομένως, η κατασκευή των πρωτοτύπων για τα προϊόντα αυτά προκύπτει δύο μήνες περίπου πριν από τον ερχομό της παραγωγής καθώς μόλις είναι έτοιμα πρέπει να δημιουργηθούν τα καλούπια από τα πρωτότυπα αυτά καθώς και η επεξεργασία τους η οποία μπορεί φτάσει και τον ένα μήνα. Επομένως, έχοντας υπόψιν όλα αυτά τα δεδομένα για να θεωρηθεί η ανάπτυξη ενός προϊόντος επιτυχής απαιτείται πολύ καλή γνώση των πελατών και των αναγκών τους και γενικότερα της αγοράς στην οποία θα απευθύνεται το νέο

προϊόν. Ώθηση, στη δημιουργία ιδεών αποτελούν εκθέσεις που γίνονται ετησίως, συμμετέχουν μεγάλοι οίκοι μόδας και παρουσιάζουν προϊόντα για την επερχόμενη σεζόν. Δηλαδή, στην χειμερινή περίοδο παρουσιάζουν καλοκαιρινά προϊόντα και αντίστοιχα στην καλοκαιρινή περίοδο παρουσιάζουν χειμερινά προϊόντα. Τα πρωτότυπα ή τα «μοντέλα» ή οι «ρέζινες», όπως ονομάζονται στο χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας πρέπει να ικανοποιούν όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές και τις ανάγκες των πελατών – καταναλωτών.

#### Ιδέες προερχόμενες από ανταγωνιστές

Όλες οι βιοτεχνίες, εκτός από ειδικές περιπτώσεις, ενημερώνονται με παρόμοιο τρόπο, από έρευνα που πραγματοποιούν οι ίδιοι, από εκθέσεις, επιδείξεις και από διάφορες φωτογραφίες προϊόντων μεγάλων οίκων κλπ. Ορισμένες από τις ιδέες μεταξύ ανταγωνιστών μπορεί να είναι παρόμοιες αλλά όχι όλες. Επομένως, εκθέσεις, επιδείξεις και σεμινάρια ανταγωνιστικών επιχειρήσεων μπορεί να αποτελούν ένα πολύ καλό τρόπο για τη δημιουργία ιδεών διότι μέσα από αυτές τις εκδηλώσεις μια επιχείρηση μπορεί να πληροφορηθεί τις καινοτομίες της αγοράς, ποιες είναι οι τεχνολογικές εξελίξεις καθώς και ποιες βελτιώσεις ήδη υπάρχοντων προϊόντων – ανταγωνιστικών ή μη – μπορούν να γίνουν.

#### Ιδέες από εργαζόμενους στην επιχείρηση ή από μεσάζοντες

Μεσάζοντες στο χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας θεωρούνται οι σχεδιαστές και οι πωλητές των μεγάλων βιοτεχνιών και βιομηχανιών οι οποίοι έχουν άμεση ενημέρωση από το εξωτερικό και από τη διεθνή αγορά, τους παρουσιάζονται τα πρωτότυπα και τα δείγματα για τις σεζόν είτε τις καλοκαιρινές είτε τις χειμερινές και ανάλογα με την κρίση τους και τις προδιαγραφές που έχουν ορίσει επιλέγουν τα κατάλληλα για αυτούς και τα προωθούν στους κατασκευαστές των γυναικείων υποδημάτων. Η αγορά των γυναικείων παπουτσιών και οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στο χώρο αυτό μπορεί να αποδειχθούν πολύτιμοι στη δημιουργία ιδεών. Αυτοί, ουσιαστικά είναι οι άνθρωποι που έρχονται σε συνεχή επαφή με το κοινό, πελάτες και μη, από το οποίο μπορούν να αντλήσουν πληροφορίες για τα προϊόντα της επιχείρησης. Τυχόν αναγκαίες βελτιώσεις, παράπονα για ήδη υπάρχοντα προϊόντα ή ανάγκες νέων προϊόντων μπορούν να εκδηλωθούν από το κοινό προς αυτούς. Επίσης, σε περιπτώσεις που υπάρχει διαφοροποίηση της αγοράς οι μεσάζοντες είναι που έχουν τη δυνατότητα να προσφέρουν τέτοιες πληροφορίες.

#### Ιδέες από πελάτες ή χρήστες προϊόντων της επιχείρησης

Οι πελάτες της επιχείρησης ή οι χρήστες παλαιότερων προϊόντων της επιχείρησης τους δίνεται η δυνατότητα για δημιουργία ιδεών για νέα προϊόντα. Βασικός κανόνας σε μία τέτοια περίπτωση είναι ότι μία επιχείρηση θα πρέπει να προσφέρει στους πελάτες της αυτό που θέλουν και όχι αυτό που η ίδια νομίζει ότι θέλουν. Η συγκομιδή τέτοιων ιδεών μπορεί πολύ εύκολα να γίνει με την χρήση ερωτηματολογίων είτε κατά τη διάρκεια μιας αγοράς (έρευνα στα καταστήματα πώλησης των προϊόντων), είτε τηλεφωνικώς (τηλεφωνική έρευνα με βάση το

πελατολόγιο της επιχείρησης), είτε με τη χρήση του διαδικτύου (on-line questioners).

### 1.3 Αξιολόγηση Ιδεών – Επιλογή Τελικής Ιδέας

#### Αξιολόγηση ιδεών με βάση τους στόχους της επιχείρησης

Κάθε επιχείρηση έχοντας ως βάση τους στόχους της και τη στρατηγική της πορεία μέσα σε μία αγορά και αξιολογώντας το σύνολο των ιδεών για νέα προϊόντα, έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει τους στόχους αλλά και να προτείνει και να επιτρέψει την επιλογή της καλύτερης ιδέας για την ανάπτυξη ενός νέου προϊόντος, η οποία είναι σύμφωνη με την μελλοντική πορεία της επιχείρησης όπως αυτή έχει ορισθεί μέσα από το στρατηγικό της σχέδιο. Πιο συγκεκριμένα, στο χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας τα πράγματα δεν είναι τόσο απλά όπως στη θεωρία, καθώς ο παράγοντας μόδα μπορεί να επηρεάσει τα πάντα. Η ελληνική συγκριτικά με την υπόλοιπη ευρωπαϊκή, πόσο μάλλον την παγκόσμια μόδα απέχει κατά πολύ. Επομένως, αν η στρατηγική πορεία μίας επιχείρησης είναι η δημιουργία προϊόντων και κατ' επέκταση η δημιουργία πρωτοτύπων για αυτά τα προϊόντα έχοντας ως βάση την ευρωπαϊκή μόδα τα προϊόντα μπορεί να μην αποδώσουν το ίδιο στην Ελλάδα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Με αυτό τον τρόπο η επιλογή της σωστής στρατηγικής μπορεί να λειτουργήσει και ως οδηγός για την αξιολόγηση των διαφόρων ιδεών και την υιοθέτηση της καλύτερης. Κατά την κατάσχεση του στρατηγικού σχεδίου:

- Προσδιορίζεται το σύνολο των πελατών.
- Αποκρυπτογραφούνται οι στόχοι της επιχείρησης.
- Προσδιορίζονται οι προϋποθέσεις σύμφωνα με τις οποίες ένα νέο προϊόν κρίνεται επιτυχημένο. Τέτοιες προϋποθέσεις είναι η ποιότητα του προϊόντος, η αγοραστική του αξία, η θέση που έχει στην αγορά σε σύγκριση με ανταγωνιστικά προϊόντα.

#### Αξιολόγηση ιδεών με βάση τις πωλήσεις και τα κέρδη της επιχείρησης

Κάθε επιχείρηση όταν βρίσκεται στο τελικό στάδιο απόφασης για το πιο προϊόν θα εκτελέσει στην παραγωγή του και ποια ιδέα και πρωτότυπο θα αξιοποιήσει ένας από τους βασικούς παράγοντες που έχουνε στο νου τους αν όχι ο πιο βασικός είναι ότι θα πρέπει να έχει την δυνατότητα της πώλησης ενός ελάχιστου ποσοστού που έχει θεσπιστεί από την εκάστοτε επιχείρηση και συνεπώς ενός ποσοστού και των κερδών.

#### Αξιολόγηση ιδεών με βάση σημαντικούς πελάτες

Οι κατασκευαστές γυναικείων υποδημάτων έχουν τον πρώτο και τον τελευταίο λόγο για τα προϊόντα τα οποία καταλήγουν στην αγορά. Γνωρίζουν τις ανάγκες των καταναλωτών καλύτερα από τον καθένα καθώς και με βάση την εμπειρία τους βρίσκονται σε θέση να κρίνουν αν ένα προϊόν θα είναι παραγωγικό και

ταυτόχρονα εύκολο στην κατασκευή του, δηλαδή εάν πληροί τις απαραίτητες προδιαγραφές. Από την άλλη πλευρά, τις φορές που οι πελάτες δεν παρέχουν ιδέες για νέα προϊόντα, επέρχεται ως πιθανό αποτέλεσμα η αποτυχία του προϊόντος και τίθενται σε κίνδυνο όλες οι επενδύσεις που έχουν γίνει για την ανάπτυξή του. Αυτό δεν αποτελεί τον μοναδικό λόγο αποτυχίας των προϊόντων. Η υποτίμηση των ανταγωνιστών, η έλλειψη ή μη αναγνώριση κατάλληλων αγορών για τη διάθεση του προϊόντος, η υπερτίμηση της τιμής του προϊόντος και η υπερτίμηση του μεγέθους του καταναλωτικού κοινού αποτελούν τους βασικούς λόγους αποτυχίας νέων προϊόντων καθώς και των πρωτοτύπων. Κυριότερος λόγος για την αποτυχία ενός προϊόντος θεωρείται η έλλειψη επικοινωνίας της επιχείρησης με τους πελάτες της κατά την αξιολόγηση των νέων ιδεών που θα αναπτυχθούν σε προϊόντα.

## 1.4 Πρωτότυπα

Σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε το 1987, το εννοιολογικό σχήμα για την αναπαράσταση μιας πτυχής ή και περισσοτέρων ενός γενικευμένου ετερογενούς συνόλου στοιχείων ενός προϊόντος ορίζεται ως πρωτότυπο, το οποίο θεωρητικά θα πρέπει να αποτελεί τη σωστή βάση για το ξεκίνημα και την συνέχιση της σχεδιαστικής διαδικασίας. Εν τέλη, ένα οποιοδήποτε πρωτότυπο και πιο ειδικά τα πρωτότυπα που αφορούν την γυναικεία υποδηματοποιία δίνουν μορφή στις γνώσεις και στις ιδέες των σχεδιαστών. Για να κριθεί ένα πρωτότυπο ως κατάλληλο θα πρέπει σε πρώιμο στάδιο να περιέχει πληροφορίες που αφορούν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά του ενώ σε μεταγενέστερο στάδιο πρέπει να περιέχει λεπτομερείς πληροφορίες που αφορούν τη δομή του. Τα πρωτότυπα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα φυσικά και στα αναλυτικά πρωτότυπα. Φυσικά πρωτότυπα θεωρούνται τα απτά τεχνουργήματα τα οποία δημιουργούνται για να προσεγγίσουν το τελικό προϊόν, τα οποία αποτυπώνουν πλήρως τα χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος, οι δημιουργοί των πρωτοτύπων αυτών μπορούν να πειραματιστούν με αυτά. Ειδικότερα τα πρωτότυπα των γυναικείων πλαστικών τακουνιών θεωρούνται φυσικά, δηλαδή μοιάζουν και συμπεριφέρονται σαν το τελικό προϊόν. Βασικός στόχος των πρωτοτύπων είναι να δοκιμαστεί γρήγορα μια ιδέα. Από την άλλη πλευρά, τα αναλυτικά πρωτότυπα παρουσιάζουν το προϊόν με έναν τρόπο ψηφιακό, συνήθως μαθηματικό ή οπτικό, με στόχο την ανάλυση του. Τέτοια πρωτότυπα μπορεί να είναι μια προσομοίωση στον υπολογιστή, ένα τρισδιάστατο μοντέλο στον υπολογιστή ή ένα σύστημα εξισώσεων που κωδικοποιείται σε ένα λογιστικό φύλλο.

## 1.5 Οι σκοποί και η χρησιμότητα των πρωτοτύπων

Κατά γενική ομολογία οι ρόλοι των πρωτοτύπων είναι κοινοί σε όλους τους τομείς. Από την άλλη πλευρά, στη σχεδιαστική διαδικασία τα πρωτότυπα καλούνται να διαδραματίσουν διαφορετικούς ρόλους.

Βασικός στόχος των πρωτοτύπων είναι να μάθει εάν οι προδιαγραφές που του έχουν δοθεί κατά την σχεδιαστική διαδικασία δουλεύουν και εάν ανταποκρίνονται στις

ανάγκες των καταναλωτών. Πιο συγκεκριμένα, στο χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας και ειδικότερα στα γυναικεία πλαστικά τακούνια, αποτυπώνουν βασικές προδιαγραφές του τελικού προϊόντος όπως τα βάρη που συντελεί καθοριστικό ρόλο στο τελικό κοστολόγιο του τελικού προϊόντος, τις συστολές που θα αναλυθούν παρακάτω αλλά το σχήμα και το σχέδιο του τελικού προϊόντος. Άρα σε αυτή την περίπτωση τα πρωτότυπα χρησιμοποιούνται ως γνωσιακά εργαλεία. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένα φυσικό και επικεντρωμένο πρωτότυπο είναι ιδανικό για αυτό το σκοπό.

Η δημιουργία και η σωστή διαχείριση των πρωτοτύπων μπορεί να λειτουργήσει ως δίαυλος επικοινωνίας και ως μεσάζοντας ανάμεσα στη σχεδιαστική ομάδα, τους πωλητές και τους καταναλωτές. Επομένως, αποτελεί το συνδετικό κρίκο ανάμεσα στα άτομα που έχουν κοινό ενδιαφέρον για το εν δυνάμει προϊόν. Αυτό το σκοπό, συνήθως, υπηρετεί ένα φυσικό πρωτότυπο.

Ακόμα, τα πρωτότυπα χρησιμοποιούνται ως εργαλεία ένταξης των προϊόντων κατά τη διαδικασία ανάπτυξης αυτών, για να διασφαλίσουν ότι όλα τα μέρη και τα υποσυστήματα του προϊόντος λειτουργούν συγχρονισμένα και αρμονικά. Τα ολοκληρωμένα και φυσικά πρωτότυπα είναι ιδανικά σε αυτό το στάδιο, το οποίο απαιτεί την συναρμολόγηση όλων των εξαρτημάτων και υποεξαρτημάτων ώστε να φτιαχτεί ένα πρωτότυπο πολύ κοντά στις προδιαγραφές του τελικού προϊόντος. Τα βασικά εξαρτήματα στα πρωτότυπα των γυναικείων πλαστικών τακουνιών είναι το αντικείμενο του τακουνιού και ο φτερνιτής. Φτερνίτης, ονομάζεται το κάτω μέρος του τακουνιού το οποίο πατάει και στο έδαφος. Ο τελευταίος και ίσως σημαντικότερος ρόλος των πρωτοτύπων είναι ότι χρησιμοποιούνται ως ορόσημα, με σκοπό να επιδείξουν ότι το προϊόν έχει φτάσει στα επιθυμητά όρια λειτουργικότητας. Αυτό μεταφράζεται, στο γεγονός ότι πολλές φορές, πριν το προϊόν δοθεί στην παραγωγή, ζητείται ένα τελικό πρωτότυπο, στο οποίο πραγματοποιούνται αρχικά έλεγχοι ποιότητας και στη συνέχεια μία πρώτη επίδειξη λειτουργιών του.

Παρόλα που όλα τα πρωτότυπα κατά γενική ομολογία εξυπηρετούν και χρησιμοποιούνται για αυτούς του τέσσερις σκοπούς που προαναφέρθηκαν, κάθε τύπος πρωτοτύπου υπηρετεί και έναν διαφορετικό. Κατά τη σχεδιαστική διαδικασία και κυρίως στον χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας το φάσμα των λειτουργιών των πρωτοτύπων διαφέρουν. Τα πρωτότυπα των γυναικείων πλαστικών τακουνιών όντας ορθά στην σχεδίαση μειώνουν τον κίνδυνο δαπανηρών επαναλήψεων κάποιου μέρους της σχεδιαστικής διαδικασίας καθώς όταν γίνεται κάποιο λάθος και διορθώνεται σε πρώιμο στάδιο δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί το ίδιο σφάλμα και στην συνέχεια. Τα πρωτότυπα, εκτός ότι επιτρέπουν τον έλεγχο μίας υπόθεσης δίνουν στους σχεδιαστές και γενικά στην σχεδιαστική ομάδα μία ολοκληρωμένη και απτή εικόνα ενός προϊόντος, χωρίς να χρειάζεται να ακολουθήσουν περαιτέρω διαδικασίες και προσημειώσεις είτε εντός είτε εκτός του υπολογιστή για την τελική απεικόνιση του τελικού προϊόντος. Τέλος, τα πρωτότυπα βοηθούν στην κωδικοποίηση των συμπεριφορών ενός προϊόντος που πρέπει να αναλυθούν και μέσω αυτών διευκολύνεται η διαδικασία σχεδιασμού ενός προϊόντος ειδικά όταν οι διαθέσιμες πληροφορίες για αυτό είναι ελάχιστες.



## Κεφάλαιο 2: Προσθετική Κατασκευή

### 2.1 Τι είναι η προσθετική μηχανική και ποια η σημασία της

Η προσθετική κατασκευή θεωρείται σύγχρονη κατασκευαστική τεχνολογία, της οποίας οι εφαρμογές αυξάνονται με εκθετική μορφή. Προσθετική κατασκευή ( Additive Manufacturing – AM ) ή τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing), όπως είναι ευρύτερα γνωστή, είναι το κατάλληλο όνομα για να περιγράψει τις τεχνολογίες που κατασκευάζουν τρισδιάστατα αντικείμενα προσθέτοντας στρώμα προς στρώμα υλικό, είτε το υλικό είναι πλαστικό, μέταλλο σε λιγότερες εφαρμογές βέβαια λόγω της ακρίβειας κυρίως, σκυρόδεμα, ακόμα και ανθρώπινο ιστό καθώς η τεχνολογική ανάπτυξη στον τομέα αυτό είναι ραγδαία. Ο όρος AM περιλαμβάνει πολλές τεχνολογίες, συμπεριλαμβανόμενων υποσυνόλων όπως το 3D Printing, το Rapid Prototyping (PR), η Direct Digital Manufacturing (DDM), η πολυεπίπεδη κατασκευή. Η εφαρμογή AM είναι απεριόριστη. Η πρώτη χρήση του AM με τη μορφή Rapid Prototyping επικεντρώθηκε σε μοντέλα οπτικοποίησης προπαραγωγής. Πιο πρόσφατα, η AM χρησιμοποιείται για την κατασκευή προϊόντων τελικής χρήσης σε προϊόντα μόδας κλπ. Το διάστημα το οποίο το κοινό μπερδευε και συσχέτιζε τις έννοιες της ταχείας πρωτοτυποποίησης και της προσθετικής κατασκευής ήταν μεγάλο αλλά δεν γινόταν χωρίς λόγο. Ο κύριος λόγος που πραγματοποιείται κάτι τέτοιο είναι ότι ένα σημαντικό πεδίο εφαρμογών της τεχνολογίας είναι η ταχεία κατασκευή φυσικών αντικειμένων και πρωτοτύπων, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την αξιολόγηση της διαδικασίας σχεδιασμού και ανάπτυξης προϊόντων. Παρόλα αυτά, με την πάροδο του χρόνου και την ταυτόχρονη εξέλιξη της τεχνολογίας ο συγκεκριμένος όρος θεωρήθηκε ανεπαρκής, καθώς το σύνολο του φάσματος των εφαρμογών της δεν περιγράφεται ορθά.

Ουσιαστικά ο ρόλος της προσθετικής κατασκευής αποτυπώνεται ορθά και στον ορισμό της, καθώς υποδηλώνει ακριβώς την προσθετικού χαρακτήρα κατασκευαστική αρχή που χαρακτηρίζει το σύνολο των σχετικών τεχνολογιών. Με την πάροδο του χρόνου διάφορες επιτροπές ισχυροποίησαν την χρήση αυτού του όρου. Μία από αυτές είναι και η επιτροπή F42 του Αμερικάνικου Οργανισμού Ελέγχου και Υλικών ( ASTM ). Στην μέθοδο που αναλύεται έχει δοθεί ο χαρακτηρισμός «προσθετική», καθώς στην αρχή δεν υπάρχει τίποτα και σταδιακά προστίθεται υλικό προκειμένου να δημιουργηθεί το τελικό αποτέλεσμα, από διάφορα υλικά όπως και προαναφέρθηκε. Μέχρι πρότινος, η πιο συνήθης κατεργασία ήταν η κατεργασία κοπής, η οποία θεωρείται μέθοδος αφαίρεσης υλικού σε σύγκριση με την ιδέα της πρόσθεσης υλικού που αναλύεται. Η κατεργασία κοπής, σήμερα, εφαρμόζεται σε βιομηχανική κλίμακα με τη χρήση εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου(CNC). Το φρεζάρισμα γνωστό και ως φρέζα με αριθμητικό έλεγχο υπολογιστή είναι μια διαδικασία μηχανικής κατεργασίας που αφαιρεί υλικό από ένα τεμάχιο εργασίας χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά χειριστήρια και ένα περιστρεφόμενο κυλινδρικό εργαλείο που ονομάζεται φρέζα για τη δημιουργία ενός προσαρμοσμένου σχεδιασμού εξαρτήματος ή προϊόντος. Για αυτό ακριβώς τον λόγο και η μέθοδος θεωρείται και χαρακτηρίζεται ως αφαιρετική.

Για την κατασκευή ενός οποιουδήποτε κομματιού ή προϊόντος χρησιμοποιείται λογισμικό μέσω του οποίου παρέχονται δεδομένα και πληροφορίες για το ίδιο



κομμάτι ή προϊόν. Άλλωστε, βασική ιδέα της προσθετικής μηχανικής είναι ο προσθετικός τρόπος που κατασκευάζεται ένα κομμάτι απευθείας σε μία μηχανή AM. Για την επίτευξη της τελικής φυσικής αναπαράστασης ενός αντικείμενου απαραίτητο θεωρείται και η ψηφιακή αναπαράστασή του σε ένα τρισδιάστατο σύστημα σχεδίασης με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή ( CAD ). Για να δημιουργηθεί ένα τελικό προϊόν με τη βοήθεια της προσθετικής μηχανικής AM περνούν κάποια στάδια, τα οποία και θα αναφερθούν απλοϊκά. Αρχικά, μέσω των συστημάτων CAD που προαναφέρθηκε, δημιουργούνται τα δεδομένα του ψηφιακού μοντέλου και δίνοντας την εντολή δημιουργίας του μοντέλου αυτού σε διαδοχικές προσθήκες στρώσεων όπου η κάθε στρώση αντιπροσωπεύει μία λεπτή διατομή πραγματοποιείται η τελική κατασκευή του κομματιού. Κατά γενική ομολογία, οι σύγχρονες μηχανικές προσθετικής μηχανικής – κατασκευής λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο και οι διαφορές που παρατηρούνται είναι κυρίως στο στάδιο επεξεργασίας του υλικού έτσι ώστε να σχηματιστεί η κάθε στρώση αλλά και το υλικό κατασκευής, το οποίο κατά κύριο λόγο είναι πλαστικό λόγω κόστους και πιο πρόσφατα από μέταλλο.

Όπως γίνεται λογικό και κατανοητό το τελικό αποτέλεσμα και η τελική μορφή του προϊόντος εξαρτάται από το πάχος των στρώσεων. Δηλαδή, όσο μικρότερο είναι το πάχος των στρώσεων τόσο το τελικό αποτέλεσμα θα είναι πιο κοντά στη μορφή του ψηφιακού μοντέλου. Η αποτύπωση των καμπυλών των ψηφιακών μοντέλων συγκριτικά με απλές λείες επιφάνειες είναι πολύ πιο δύσκολη. Για αυτό τον λόγο, για να πραγματοποιηθεί η σωστή αποτύπωση των καμπυλών θα πρέπει οι στρώσεις να είναι όσο πιο λεπτές γίνεται και τόσο λιγότερο διακριτές με το μάτι. Από την άλλη πλευρά, όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος ενός αντικείμενου τόσο πιο ορατές είναι οι γραμμές.

Οι δυνατότητες που παρέχονται από τη προσθετική μηχανική καθώς και ο χαρακτήρας της προκαλεί συνεχώς ενδιαφέρον και φρενίτιδα σε αυτούς που θέλουν να δοκιμάσουν κάτι από τις κλασικές κατασκευαστικές τεχνολογίες. Εκτός από την αποτελεσματικότητα και την ελαχιστοποίηση του κόστους, ένας εξίσου ελκυστικός λόγος αξιοποίησης της προσθετικής μηχανικής είναι η προσφορά μοναδικών δυνατοτήτων σχετικά με τα χαρακτηριστικά των κατασκευαζόμενων κομματιών.

## 2.2 Η διεργασία της προσθετικής κατασκευής.

Για την δημιουργία του τελικού και φυσικού αντικείμενου πρέπει να τηρηθεί μία σειρά διαδικασιών που είναι απαραίτητες να πραγματοποιηθούν. Τα στάδια που μεσολαβούν ανάμεσα από την δημιουργία, την τελική επιλογή μιας ιδέας και την τελική ψηφιακή αναπαράστασή της αποτελούν μία αλληλουχία, η οποία διαφοροποιείται ανάλογα με την εκάστοτε τεχνολογία AM που χρησιμοποιείται ή ανάλογα με την οπτική γωνία που το βλέπεις ο εκάστοτε χρήστης. Με βάση τα παραπάνω, το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι είτε ο χρήστης είναι κάποιος σχεδιαστής και μπορεί να αναλύσει το πρωταρχικό στάδιο σε περιβάλλον CAD, είτε ο χρήστης είναι σε θέση να ακολουθήσει ολόκληρη την σχεδιαστική διαδικασία με τα πιο σύνθετα βήματα, η διαδικασία που ακολουθείται σε γενικές γραμμές είναι παρόμοια σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις.

### 2.2.1 Στάδιο 1: Σύλληψη της ιδέας και CAD

Το αρχικό στάδιο θεωρείται ο προσδιορισμός της μορφής και της λειτουργίας του αντικειμένου που πρόκειται να κατασκευαστεί. Σε αυτό το στάδιο, ο χρήστης ορίζει τις περισσότερες, αν όχι όλες, τις προδιαγραφές του αντικειμένου αλλά και κάποιες από τις λεπτομέρειες σχετικά με τη χρησιμότητά του. Σύμφωνα με σχόλια και δηλώσεις πολλών ειδικών κρίνεται απαραίτητη η ψηφιακή αναπαράσταση της μορφής του τελικού αντικειμένου, είτε η AM χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία του τελικού αντικειμένου είτε απλά μόνο για κάποιο πρωτότυπο.

Το επόμενο βήμα από το σημείο αυτό είναι η χρησιμότητα και ο ρόλος των συστημάτων CAD. Το τρισδιάστατο μοντέλο, το οποίο περιέχει την πληροφορία που περιγράφει τη μορφή του αντικειμένου δημιουργείται από το αντίστοιχο σύστημα CAD. Υπάρχει μία ποικιλία λογισμικών επαγγελματικών ή ελεύθερων συστημάτων CAD όπως, Solidworks, Autodesk Inventor, NX, CATIA, Rhino, Creo, Fusion 360 και Tinkercad. Ένας διαφορετικός τρόπος που μπορεί να προκύψει ένα τρισδιάστατο μοντέλο είναι ως αποτέλεσμα μιας λειτουργίας βελτιστοποίησης που διαθέτουν πολλά από τα CAD συστήματα. Όλη αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω ειδικών αυτοματοποιημένων αλγορίθμων, οι οποίοι μέσω επαναληπτικών βημάτων δημιουργούν ή προσαρμόζουν τη μορφή ενός ψηφιακού μοντέλου με βάση τους περιορισμούς ή τις επιδιώξεις που καθορίζει ο σχεδιαστής/χρήστης. Ένας εξίσου δημοφιλής τρόπος δημιουργίας τρισδιάστατων μοντέλων και δεδομένων είναι η μέθοδος της αντίστροφης μηχανικής ή αλλιώς κοινή σε πολλούς ως τρισδιάστατη σάρωση ενός ήδη υπάρχοντος φυσικού προϊόντος ή αντικειμένου. Με την διαδικασία αυτή, οι χρήστες θεωρούν και χρησιμοποιούν άλλωστε το φυσικό πρωτότυπο ως αποκλειστική πηγή πληροφόρησης για τη δημιουργία του ψηφιακού πρωτοτύπου. Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν χρήστες οι οποίοι θέλουν πιο εύκολες αλλά εξίσου αποτελεσματικές λύσεις καθώς δεν είναι εξοικειωμένοι με αυτές τις καινούργιες τεχνολογίες. Όσοι ανήκουν σε αυτή την κατηγορία μπορούν να μεταβούν σε ιστοσελίδες όπως Thingiverse, YouMagine, CrabCad και MyMinifactory Shapeways προκειμένου να βρουν έτοιμα αρχεία σχεδίων που έχουν ήδη δημιουργηθεί από άλλους, πολλά εκ των οποίων παρέχονται και δωρεάν. Βέβαια, ένα 3D μοντέλο μπορεί να δημιουργηθεί από έναν συνδυασμό κάποιων από τις προηγούμενες μεθόδους.

Ανεξαιρέτως της χρήσης οποιασδήποτε από τις παραπάνω μεθόδους που προαναφέρθηκαν ο τελικός στόχος είναι να προκύψει ένα τρισδιάστατο κλειστό στερεό μοντέλο. Το τελικό 3D μοντέλο για να θεωρηθεί αξιόπιστο πρέπει να πληροί κάποιες βασικές προδιαγραφές μία εκ των οποίων είναι η αποφυγή κάποιων επιφανειακών κενών, που η τυχόν ύπαρξή τους στο τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από την εκάστοτε μηχανή AM και καθιστά το αποτέλεσμα της εκτύπωσης μη προβλέψιμο. Σύμφωνα με δήλωση του Gibson το 2017, τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα CAD στερεάς μοντελοποίησης δημιουργούν πλήρως κλειστά, από μαθηματική σκοπιά, μοντέλα με αποτέλεσμα η γεωμετρία του κατασκευαζόμενου κομματιού να είναι αξιόπιστη.

### 2.2.2 Στάδιο 2: Μετατροπή σε αρχείο STL

Έπειτα από το στάδιο του σχεδιασμού του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου σε ένα σύστημα CAD, το αρχείο που δημιουργείται δεν είναι σε κατάλληλη μορφή για δοθεί στον εκτυπωτή και να αρχίσει η εκτύπωσή του. Σε πρώτη φάση πρέπει να μετατραπεί σε έναν τύπο αρχείου που ονομάζεται STL, γι' αυτό και το όνομα των αντίστοιχων αρχείων έχει την επέκταση «.stl». Το αρχείο STL δημιουργήθηκε το 1987 από την 3D Systems Inc. Όταν ανέπτυξαν πρώτα τη στερεολιθογραφία και το αρχείο STL αντιπροσωπεύει αυτόν τον όρο. Ονομάστηκε επίσης και γλώσσα Standard Tessellation. Υπάρχουν και άλλοι τύποι αρχείων, αλλά το αρχείο STL είναι το πρότυπο για κάθε διαδικασία παραγωγής πρόσθετων. Η μορφή αρχείου STL θεωρείται ότι είναι το σίγουρο πρότυπο ανταλλαγής δεδομένων για τις διαδικασίες AM. Τα περισσότερα, αν όχι όλα, από τα μεγάλα πακέτα λογισμικού 3D CAD παρέχουν συγκεκριμένα εργαλεία για μετατροπή αρχείων σε STL. Η μετατροπή είναι η εκτέλεση ενός αλγορίθμου τριγωνισμού επιφάνειας που χρησιμοποιείται συχνά σε ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων από τη δεκαετία του 1970. Ορισμένες ελλείψεις στη δομή και στην μορφή των αρχείων STL ως προς τον χρόνο και την ακρίβεια επεξεργασίας θέτουν ένα εμπόδιο για ορισμένα απαιτητικά έργα μηχανικής. Ενώ ορισμένοι ερευνητές προτείνουν βελτιώσεις στο STL, άλλοι προσαρμόζουν τις υπάρχουσες μορφές CAD σε AM ή προτείνουν νέες μορφές. Κάποιες από τις υπόλοιπες εναλλακτικές μορφές αρχείων που έχουν υιοθετηθεί τα τελευταία χρόνια είναι οι μορφές OBJ, 3MF και AMF.

### 2.2.3 Στάδιο 3: Μεταφορά του αρχείου STL στη μηχανή AM και προετοιμασία

Το επόμενο στάδιο, κατόπιν της μετατροπής του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου και την επιδιόρθωσή του είναι η αποστολή στο λογισμικό της μηχανής AM στην οποία θα πραγματοποιηθεί και η εκτύπωσή του. Σύμφωνα με ειδικούς και κυρίως μία δήλωση του Lee το 2009, το λογισμικό που είναι σε μορφή STL χαρακτηρίζεται ως λογισμικό προετοιμασίας εξαρτημάτων και αποτελεί την γέφυρα επικοινωνίας με την μηχανή AM. Κάποιοι από τους υπόλοιπους το ονομάζουν και λογισμικό τεμαχισμού ή κοινώς slicer. Προτού φτάσουμε στο στάδιο της κατασκευαστικής φάσης η χρησιμότητα του λογισμικού για την εκτέλεση κάποιων απαραίτητων προπαρασκευαστικών ενεργειών είναι καθοριστική. Αυτές οι εργασίες αφορούν σε πρώτη φάση τη διαχείριση του αρχείου STL και μπορεί να είναι η επαλήθευση του μοντέλου, η πρόσθετη μοντελοποίηση/τροποποίηση του σχεδίου του κομματιού, ο καθορισμός του προσανατολισμού δημιουργίας και της τοποθέτησης του κομματιού, η αλλαγή μεγέθους και η δημιουργία στηριγμάτων. Σε δεύτερη φάση σχετίζονται με την επιλογή των κατασκευαστικών παραμέτρων όπως είναι το υλικό κατασκευής, το πάχος στρώσης, η θερμοκρασία, το ποσοστό συμπλήρωσης του εσωτερικού του κομματιού, καθώς και το σχετικό μοτίβο συμπλήρωσης (fill pattern).

Στο επόμενο στάδιο, η διαδικασία που ακολουθείται ονομάζεται τεμαχισμός ή αλλιώς slicing και για τους χρήστες των μηχανών AM είναι ίσως η σημαντικότερη. Η διαδικασία slicing είναι ουσιαστικά η «μετάφραση» του αρχείου STL σε μία ακολουθία κινήσεων ή οδηγιών που πρέπει να ακολουθήσει πιστά η μηχανή AM βήμα προς βήμα. Ανάλογα την μηχανή AM, πραγματοποιείται και ο αντίστοιχος

«τεμαχισμός» του τρισδιάστατου μοντέλου σε εκατοντάδες ή χιλιάδες επίπεδα, τα οποία είναι παράλληλα σε αυτό της κατασκευαστικής πλατφόρμας (επίπεδο XY) και κάθετα στον άξονα κατά τον οποίο κατασκευάζεται το αντικείμενο (άξονας Z). Το λεγόμενο πάχος στρώσης αποτυπώνεται από την απόσταση μεταξύ αυτών των επιπέδων. Η επόμενη φάση είναι το αρχείο build file, το οποίο δημιουργείται κατόπιν το τέλος του προηγούμενου σταδίου και περιλαμβάνει G-κώδικα και έχει την επέκταση «.gcode». Ο G-κώδικας είναι μία γλώσσα προγραμματισμού με σκοπό την επικοινωνία των ανθρώπων με μία μηχανή. Με την τρισδιάστατη εκτύπωση, ο G-κώδικας περιέχει εντολές για την μετακίνηση εξαρτημάτων εντός του εκτυπωτή και αντίστοιχα κάνει την ίδια δουλειά σε μία εργαλειομηχανή CNC που μεταφέρει και επιλέγει τα κατάλληλα κοπτικά εργαλεία. Ο G – κώδικας αποτελείται από εντολές G και M που έχουν εκχωρημένη κίνηση ή ενέργεια. Άρα το συμπέρασμα που απορρέει είναι ότι ο G – κώδικας είναι ο δίαυλος επικοινωνίας μεταξύ του χρήστη και της μηχανής AM.

Οι προετοιμασίες που γενικά κρίνονται απαραίτητες να πραγματοποιηθούν έως την τελική φυσική αναπαράσταση του προϊόντος δεν είναι μόνο μέσω λογισμικού αλλά και φυσικής προετοιμασίας των περισσότερων μηχανών AM. Απαραίτητος έλεγχος θεωρείται αυτός της τροφοδοσίας της μηχανής με την κατάλληλη ποσότητα υλικού, έτσι ώστε το υλικό να επαρκεί για την κατασκευή του αλλά και των στηριγμάτων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ποικίλουν τόσο στο κόστος αγοράς όσο και στην μορφή. Σε περίπτωση που το υλικό βρίσκεται σε μορφή νήματος που εξέρχεται από ένα ακροφύσιο (nozzle) ενός εξωθητήρα (extruder), πρέπει να προηγηθεί η προθέρμανση του εξωθητήρα, έτσι ώστε ο μηχανισμός αυτός να μπορεί να τήκει το νήμα. Άλλες απαραίτητες ενέργειες μπορεί να αφορούν την κατασκευαστική πλατφόρμα και περιλαμβάνουν την ευθυγράμμιση της ως προς τους άξονες, ενέργεια γνωστή και ως καλιμπράρισμα (calibration), αλλά και την προθέρμανσή της. Για κάποιες από τις μηχανές AM οι παραπάνω ενέργειες είναι αυτοματοποιημένες. Σε περίπτωση που αυτό δεν ισχύει, αυτές πρέπει να εκτελούνται από κατάλληλα εκπαιδευμένο χειριστή.

#### 2.2.4 Στάδιο 4: Κατασκευή

Κατόπιν της ολοκλήρωσης των παραπάνω προπαρασκευαστικών εργασιών, το επόμενο στάδιο της διαδικασίας είναι μέσω της AM, η εκτέλεση της κατασκευαστικής φάσης. Οι ανθρώπινες δυνατότητες δεν είναι ανάγκη να χρησιμοποιηθούν στον βαθμό που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα στάδια, για αυτό και η φάση αυτή θεωρείται πιο απλή. Το λογισμικό δημιουργίας της μηχανής AM στο στάδιο αυτό είναι σε θέση να ελέγχει πλήρως το στάδιο αυτό. Πιο συγκεκριμένα, στην φάση της προετοιμασίας σε προηγούμενο στάδιο το αρχείο δημιουργίας ή αλλιώς build file έχει μεταφερθεί στη μηχανή AM, χρησιμοποιείται από το λογισμικό ελέγχου με σκοπό τον έλεγχο του συνόλου της κατασκευαστικής φάσης στη μηχανή AM. Η στρωματική κατασκευή που προαναφέρθηκε σε προηγούμενες φάσεις πραγματοποιείται σε αυτό το στάδιο. Η διαδικασία δημιουργίας των διαδοχικών στρώσεων εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία AM. Όσο δεν εμφανίζονται σφάλματα, η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή του κομματιού.

### 2.2.5 Στάδιο 5: Τελική Επεξεργασία

Το στάδιο της τελικής επεξεργασίας επέρχεται κατόπιν της ολοκλήρωσης των υπόλοιπων φάσεων και την ολοκλήρωση κατασκευής του κομματικού ή προϊόντος στη μηχανή ΑΜ. Με σκοπό την απόκτηση όλων εκείνων των προδιαγραφών ή των χαρακτηριστικών από το ΑΜ κομμάτι, που το καθιστούν έτοιμο για τελική χρήση κρίνεται απαραίτητη η σωστή τήρηση της διαδικασίας αυτής. Σύμφωνα με του Gibson et al. (2017), η λειτουργία του κομματιού, οι συναρμογές του και η μορφή σχετίζονται άμεσα με τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν. Για την επίτευξη της τελικής μορφής του κομματιού, η αφαίρεση της υποστηρικτικής δομής – στηριγμάτων (όπου χρειάζεται), η βελτίωση της ποιότητας της επιφάνειας και η βελτίωση της αισθητικής θεωρούνται απαραίτητες τεχνικές στο στάδιο της τελικής επεξεργασίας. Επιπλέον, με σκοπό την επίτευξη των σωστών συναρμογών απαιτούνται βελτιώσεις της διαστασιολογικής ακρίβειας, οι οποίες συνήθως εκτελούνται με φρεζάρισμα ή διάτρηση. Για την επίτευξη της επιθυμητής λειτουργίας, ενδέχεται να χρειάζεται προετοιμασία του κομματιού για χρήση του ως πρότυπο χύτευσης ή βελτιώσεις των ιδιοτήτων του με θερμικές και μη θερμικές τεχνικές. Τέλος, άξιο αναφοράς είναι ο καθοριστικός ρόλος του χρησιμοποιούμενου υλικού για να θεωρηθεί μία μέθοδος τελικής επεξεργασίας ως κατάλληλη.

### 2.3 Θέματα σχεδιασμού για προσθετική κατασκευή

Στις μέρες μας, λόγω της συνεχής εξέλιξης του τομέα της προσθετικής κατασκευής, πρέπει να γίνεται σαφές εάν το αντικείμενο προορίζεται για απλή πρωτοτυποποίηση ή αν προορίζεται για παραγωγή. Με αυτόν τον τρόπο η κατασκευή οποιουδήποτε αντικειμένου με ΑΜ θα έχει και νόημα. Κατά γενική ομολογία, στο σημείο που έχουνε φτάσει οι προδιαγραφές των εκτυπωτών μέχρι τώρα οι απαιτήσεις για την περίπτωση παραγωγής είναι σημαντικά περισσότερες και δε συνίσταται να εκτυπώνονται κομμάτια τα οποία έχουν σχεδιαστεί για κλασικές μεθόδους παραγωγής, όπως οι κατεργασίες κοπής ή η χύτευση με έγχυση. Από την άλλη πλευρά, ο κάθε σχεδιαστής οφείλει να λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις και τα θέματα που έχει κάθε μέθοδος παραγωγής και για αυτό θεωρείται και ο κύριος λόγος που η εκτύπωση προϊόντων για παραγωγή είναι πιο δύσκολη. Αντιθέτως, στη διαδικασία της χύτευσης με έγχυση το χρησιμοποιούμενο καλούπι με το έτοιμο καλούπι πρέπει να διαχωρίζεται και θεωρείται και απαραίτητο στη διαδικασία αυτή. Για παράδειγμα εάν το κομμάτι προσδιορίζεται για κατασκευή από μηχανή ΑΜ με τον τρόπο αυτό υπάρχει περίπτωση να δημιουργηθούν αχρείαστες σχεδιαστικές προσθήκες ή οι επιφάνειες του να μην είναι ιδανικές, λόγω του σχεδιασμού του κομματιού έτσι ώστε στην τελική φάση να κατασκευαστεί από κάποια παραδοσιακή μέθοδο παραγωγής. Επίσης, το κόστος είναι μεγαλύτερο για μία εκτύπωση, στην οποία η γεωμετρία του κομματιού να μην είναι ιδανική.

Αναφορικά με το γεγονός αυτό θα πρέπει να αναφερθούν τα χαρακτηριστικά των βασικών – γενικών αρχών του σχεδιασμού για προσθετική κατασκευή. Η εκκίνηση θα γίνει με την ελάχιστη ανάλυση εκτυπωτή ή αλλιώς minimum printer resolution. Στην καθημερινότητα, πραγματοποιούνται άπειρες εκτυπώσεις σε επιτραπέζιους 2D εκτυπωτές. Για αυτό το λόγο, όπως ένα εκτυπωτής 2D έχει μία ελάχιστη ανάλυση, το ίδιο ισχύει και για τους 3D. Η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ΑΜ καθορίζει με

ποικίλους τρόπους αυτήν την ελάχιστη ανάλυση εκτυπωτή 3D. Με αυτούς τους τρόπους περιγράφεται το ελάχιστο μέγεθος της γεωμετρίας την οποία ο συγκεκριμένος εκτυπωτής μπορεί να αναπαραστήσει με ακρίβεια. Ο εκτυπωτής και το υλικό καθορίζουν το ελάχιστο αυτό μέγεθος. Επίσης η ελάχιστη ανάλυση του εκτυπωτή καθορίζει την εκτύπωση του ελάχιστου πάχους του τοιχώματος. Δυσκολίες στην δημιουργία παρουσιάζονται και για τις μικρές ακτίνες, όταν κυρίως αυτές βρίσκονται σε εσωτερικές γωνίες. Τέλος, η αποτύπωση μορφολογικών χαρακτηριστικών, όπως οι μικρές οπές, εξαρτάται άμεσα από την ελάχιστη ανάλυση της μηχανής AM. Μία εξίσου σημαντική αρχή στην εκτύπωση είναι οι προεξοχές και τα εσωτερικά κενά. Τα κομμάτια με προεξοχές μέχρι έναν βαθμό μπορούν να εκτυπωθούν αν όχι από όλες τουλάχιστον από τις περισσότερες μηχανές AM. Από την άλλη πλευρά, στην παρουσία μεγάλων προεξοχών σε ένα κομμάτι που προσανατολίζεται για εκτύπωση θεωρείται αναγκαίο η παρουσία στηριγμάτων. Η δυνατότητα δημιουργίας στηριγμάτων θεωρείται πια δεδομένη από τα περισσότερα λογισμικά τεμαχισμού. Άξιο αναφοράς, είναι το γεγονός ότι στην διάρκεια εκτυπώσεων με πούδρα μετάλλου και πλαστικό πρέπει να υπάρχει προσοχή όσον αφορά τα εσωτερικά κενά. Δηλαδή, η ύπαρξη κενού εντός του κομματιού προϋποθέτει μία ικανή σχεδιαστική λύση που θα πληροί την επιθυμητή απομάκρυνση του υλικού, διαφορετικά η κατάρρευση του πλέγματος από την εγκλωβισμένη πούδρα είναι πολύ πιθανή. Για αυτό το γεγονός έχουν μεριμνήσει πολλές εταιρείες που παρέχουν στην αγορά λογισμικά, όπως η Siemens με το λογισμικό Siemens NX και Siemens NX - Student Edition που μεριμνούν για αυτό και περιλαμβάνουν διαδικασίες για τον έλεγχο και τη διευθέτηση των θεμάτων αυτών. Το λογισμικό της μηχανής AM βρίσκεται επίσης σε θέση να πραγματοποιήσει τις διαδικασίες αυτές ένα δεν πραγματοποιηθούν από το εκάστοτε σύστημα CAD. Γενικά, σύμφωνα με τους ειδικούς, τους καθημερινούς χρήστες των λογισμικών αλλά και των μηχανών AM τα ζητήματα που αναφέρθηκαν καλό θα ήταν να ελέγχονται και να επιλύονται στη φάση του σχεδιασμού, θεωρώντας δεδομένο ότι ένας σχεδιαστής αντιλαμβάνεται καλύτερα τις σχεδιαστικές έννοιες και προθέσεις σε σχέση με έναν χειριστή του λογισμικού μιας μηχανής AM στην οποία πρόκειται να κατασκευαστεί το κομμάτι.

## Κεφάλαιο 3: Δυνατότητες της προσθετικής κατασκευής

Σήμερα, τα κατασκευαζόμενα κομμάτια μπορούν να οδηγηθούν σε μοναδικά αποτελέσματα μέσω των τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής και των στρωματικών κατασκευαστικών αρχών που χρησιμοποιούνται. Οι συμβατικές κατασκευαστικές διεργασίες δεν μπορούν έρθουν σε σύγκριση με τις σημερινές δυνατότητες μίας μηχανής ΑΜ, έχοντας ως βασικό κριτήριο τον βαθμό ελευθερίας και σχεδίασης. Υπάρχουν πολλές δυνατότητες που παρέχονται από τις μηχανές ΑΜ, δύο εκ των οποίων θεωρούνται και πιο σημαντικές, η μορφολογική πολυπλοκότητα και η πολυπλοκότητα του υλικού.

### 3.1 Μορφολογική Πολυπλοκότητα

Κύριος σκοπός των τεχνολογιών προσθετικής κατασκευής είναι η προσθήκη ή η επεξεργασία υλικού σε συγκεκριμένα σημεία εντός μιας κατασκευαστικής στρώσης. Η διατομή του μοντέλου, ουσιαστικά, σχηματίζεται από το πλήθος όλων των σημείων της κάθε στρώσης. Επομένως, η κατασκευή κάθε στρώσης είναι ανεξάρτητη στην κατασκευή της συγκριτικά με το σχήμα της και με αυτόν τον τρόπο γίνεται εφικτή η κατασκευή κομματιού οποιασδήποτε μορφής. Είναι λογικό οι δρόμοι της αισθητικής και της λειτουργικότητας να είναι ανάλογοι με το δρόμο της πολυπλοκότητας. Δηλαδή, η αισθητική και η λειτουργικότητα ενός προϊόντος ενισχύεται συνήθως, αν όχι πάντα, από την αυξημένη πολυπλοκότητα. Από την άλλη πλευρά, με τη χρήση συμβατικών κατασκευαστικών διαδικασιών και την παρουσία της πολυπλοκότητας που αναφέρθηκε, τα κόστη που προκύπτουν είναι σίγουρα αυξημένα και οι βασικοί λόγοι είναι οι πολλαπλές διεργασίες και ο μεγαλύτερος χρόνος παραγωγής που προκύπτει.

Σε γενικές γραμμές για την κατασκευή εξατομικευμένων σχεδιασμένων γεωμετριών από τη ΑΜ βασίζεται κατά κύριο λόγο στη μορφολογική πολυπλοκότητα. Εφόσον η κατασκευαστική αρχή παραμένει σταθερή, η παραγωγή διαδοχικών κομματιών, τα οποία δεν έχουν κοινά όσον αφορά στη γεωμετρική τους αρχή, μπορεί να πραγματοποιηθεί στο στάδιο της κατασκευαστικής παραγωγής που χρησιμοποιεί ΑΜ διεργασίες προφανώς. Επομένως, κάθε κομμάτι που σχεδιάζεται θεωρείται ξεχωριστό όσον αφορά τη γεωμετρική μορφή. Η συγκεκριμένη δυνατότητα φαίνεται χρήσιμη σε όλες τις πτυχές της ζωής. Από την ιατρική βιομηχανία, στην οποία κατασκευάζονται πολλά κομμάτια, τα οποία προορίζονται ως βοηθήματα από διαφορετικά κάθε φορά άτομα, μέχρι το χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας, που λόγω της διαφοροποίησης της μόδας κάθε χρόνο θα πρέπει και η παραγωγή των υποδημάτων να προσαρμόζεται σε αυτήν. Σύμφωνα με ειδικούς, τα περισσότερα αντικείμενα που κατασκευάζονται σε προσωπικούς επιτραπέζιους τρισδιάστατους εκτυπωτές μπορούν να θεωρηθούν εξατομικευμένα. Δηλαδή, αυτά τα αντικείμενα ή αλλιώς τα φυσικά κομμάτια με βάση τα ψηφιακά τους δεδομένα μπορούν να κατασκευαστούν απευθείας, δίχως την απαίτηση κάποιου είδους συγκράτησης. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η παραγωγή μικρών παρτίδων ή ακόμα και ενός προϊόντος καθώς προτού συμβεί αυτό το κόστος αποτελούσε τροχοπέδη.

Είναι λογικό, η απόδοση ενός εξαρτήματος ή αλλιώς ενός κομματιού να επηρεάζεται άμεσα από πολλά αν όχι όλα τα λειτουργικά χαρακτηριστικά με σκοπό τη

βελτιστοποίηση της γεωμετρικής μορφής. Οι λειτουργικοί σκοποί του συγκεκριμένου εξαρτήματος, οι οποίοι εξυπηρετούνται από την μορφή, η οποία βελτιστοποιεί την απόδοσή του να είναι πολύπλοκης γεωμετρίας και να μην μπορεί να δημιουργηθεί από τις συμβατικές κατασκευαστικές διεργασίες. Στις μέρες μας, είναι πιθανόν η μορφή που εξυπηρετεί ιδανικά τους λειτουργικούς σκοπούς του συγκεκριμένου κομματιού και βελτιστοποιεί την απόδοσή του να είναι πολύπλοκης γεωμετρίας και να μην μπορεί να δημιουργηθεί από τις συμβατικές κατασκευαστικές διεργασίες. Η δυνατότητα της ΑΜ να τοποθετεί υλικό σε εκείνα ακριβώς τα σημεία όπου αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί στο μέγιστο βαθμό (Gibson et al., 2017) είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου απαιτείται να κατασκευαστεί μια τέτοια πολύπλοκη μορφή. Με τις δυνατότητες που παρέχονται από τις μηχανές ΑΜ είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν διάφορες πολυπλοκότητες που αφορούν τη μορφή και ειδικότερα χαρακτηριστικά, γεωμετρίες, ενοποίηση κομματιών και συγχώνευση σταδίων κατασκευής.

### 3.2 Πολυπλοκότητα του υλικού

Με την πάροδο του χρόνου, ο ανταγωνισμός και η πολυπλοκότητα της κατασκευαστικής παραγωγής συνεχώς αυξάνεται και έτσι πρέπει να γίνεται και με την αποδοτικότητα. Δηλαδή, όταν αυξάνεται το ένα να αυξάνεται και το άλλο. Είναι γνωστό πως η ΑΜ στους περισσότερους τομείς θεωρείται πιο ικανή σε σχέση με τις κλασικές κατασκευαστικές διεργασίες. Από την άλλη πλευρά, δημιουργούνται ζητήματα που αποτελούν τροχοπέδη και σχετίζονται με την ποιότητα και την απόδοση των τελικών προϊόντων. Κατά καιρούς έχουν προταθεί λύσεις για την ποιότητα που αναφέρθηκε και σχετίζεται με τον έλεγχο της μηχανικής κατεργασίας. Επιπλέον, η χρήση συστημάτων με πολλαπλά υλικά μπορεί να αποτελέσει λύση για την ενίσχυση της απόδοσης των κομματιών. Επομένως, παρακάτω θα αναλυθεί περιληπτικά η τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής πολλαπλών υλικών ή αλλιώς Multiple Material Additive Manufacturing – MMAM.

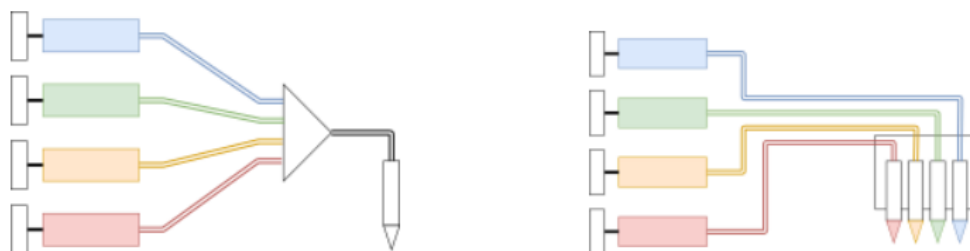
### 3.3 Προσθετική Κατασκευή - ΑΜ πολλαπλών υλικών

Στην αρχή της κατασκευής των αναπτυγμένων θεωρητικά ΑΜ, η κατασκευή των αντικειμένων γινόταν από ένα και μόνο υλικό. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω με την πάροδο του χρόνου οι απαιτήσεις για υψηλή πολυπλοκότητα και βελτιωμένη λειτουργική απόδοση γίνονται συνεχώς περισσότερες και το ενδιαφέρον έχει στραφεί με μεγάλη προσοχή στη τεχνική πολλαπλών υλικών MMAM, που λύνει τα περισσότερα προβλήματα που αφορούν την πολυπλοκότητα και την λειτουργικότητα. Η μέθοδος MMAM παρέχει δυνατότητες βελτίωσης στην απόδοση των κομματιών μεταβάλλοντας τη σύνθεση ή το είδος των υλικών μεταξύ των στρώσεων, γεγονός που με δυσκολία πραγματοποιείται με τις συμβατικές κατασκευαστικές μεθόδους. Οι πιο γνωστές και πρακτικές τεχνολογίες MMAM θεωρούνται οι FDM, VP, SLA, MJ και BJ.

Η FDM θεωρείται τεχνολογία εξώθησης υλικού, με την οποία παρέχεται η δυνατότητα κατασκευής κομματιών με τη χρήση πολλαπλών κομματιών έχοντας κατά νου δύο εκ των βασικών προσεγγίσεων, όπως ο σχεδιασμός για μονό ακροφύσιο



και ο σχεδιασμός για πολλαπλά ακροφύσια. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι αντίστοιχες προσεγγίσεις.



**Εικόνα 2.2** Προσεγγίσεις της FDM πολλαπλών υλικών ανάλογα με τον αριθμό των ακροφυσίων (πηγή: Wikipedia)

Κατά την πρώτη περίπτωση, ο συνδυασμός των διαφορετικών υλικών πραγματοποιείται πριν ή εντός του θαλάμου τήξης, με κύριο σκοπό την εξώθηση από το ίδιο ακροφύσιο. Αυτός ο τρόπος και λόγω της παρουσίας του μονού ακροφυσίου γίνεται αισθητή η παρουσία ακαθαρσιών. Για να εξαλειφθεί αυτό θεωρείται αναγκαία ο καλός καθαρισμός του θαλάμου τήξεως από το προηγούμενο υλικό προτού χρησιμοποιηθεί το επόμενο. Ειδικότερα, στον σχεδιασμό γυναικείων τακουνιών που αποτελεί και το κύριο θέμα της εργασίας/αναφοράς αυτής, το άχρηστο υλικό ή η μπουκαδούρα, όπως την αναφέρουν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπλήρωμα για το εσωτερικό του κομματιού ή αλλιώς infill. Αυτό μπορεί να συνεισφέρει στην μείωση της σπατάλης του υλικού που πολλές φορές στον σχεδιασμό ψηλών και χοντρών τακουνιών μπορεί να θεωρηθεί πολύ σημαντικό. Όσον αφορά την προσέγγιση πολλαπλών ακροφυσίων, ανάλογα με τις κεφαλές εξώθησης, δηλαδή ανάλογα αν είναι ίδια ή σε διαφορετικές και ανάλογα με το κάθε υλικό χρησιμοποιείται και ένα ξεχωριστό ακροφύσιο. Σε αυτή την προσέγγιση, απαραίτητο θεωρείται η ρύθμιση του ύψους των διαφορετικών ακροφυσίων σε σύγκριση με το επίπεδο της κατασκευαστικής πλατφόρμας, έτσι ώστε όλα τα ακροφύσια να απέχουν την ίδια απόσταση απ' αυτό. Κατά την διάρκεια αυτής της προσέγγισης προκύπτει το θετικό γεγονός της μείωσης της σπατάλης του υλικού. Κατά την διεργασία και των δύο προσεγγίσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μία ποικιλία από υλικά όπως το PLA, ABS, PETG και TPU, αλλά και μεταλλικά και σύνθετα. Πιο συγκεκριμένα, στον σχεδιασμό γυναικείων τακουνιών χρησιμοποιείται κυρίως ABS και ειδικότερα διάφορες πτυχές του που προσφέρουν διαφορετικές ιδιότητες όπως τα ABSplus, ABSi και ABS/PC.

Σύμφωνα με διάφορες προσεγγίσεις ειδικών στον χώρο της τρισδιάστατης μοντελοποίησης, η δημιουργία κομματιών και πρωτότυπων με την χρήση πολλαπλών υλικών μπορεί να γίνει πράξη με τις διεργασίες VP, όπως η SLA.

Το SLA έχει να κάνει με την ακρίβεια και την σχεδιαστική ορθότητα, επομένως χρησιμοποιείται συχνά όταν η μορφή, η εφαρμογή και η συναρμολόγηση είναι κρίσιμα. Οι ανοχές στα εξαρτήματα SLA είναι συνήθως μικρότερες από 0,05 mm και

το SLA προσφέρει το πιο ομαλό φινίρισμα επιφάνειας από οποιαδήποτε διαδικασία κατασκευής προσθέτων. Με την ποιότητα που μπορεί να επιτύχει το SLA, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη δημιουργία μοτίβων χύτευσης υψηλής ακρίβειας (π.χ. για χύτευση με έγχυση, χύτευση και χύτευση υπό κενό) καθώς και για λειτουργικά πρωτότυπα, μοντέλα παρουσίασης και δοκιμή φόρμας και προσαρμογής. Η τεχνολογία SLA είναι εξαιρετικά ευέλικτη και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιονδήποτε αριθμό τομέων όπου η ακρίβεια είναι πρωταρχικής σημασίας.

Το SLA προσφέρει επίσης ένα πλεονέκτημα ταχύτητας όταν χρειάζεστε μια ποικιλία λειτουργικών πρωτοτύπων ή γρήγορη πρόσβαση σε μοτίβα χύτευσης. Ο νικηφόρος συνδυασμός ταχύτητας και ακρίβειας της SLA την καθιστά εξαιρετική επιλογή για την αξιολόγηση πρωτοτύπων. Η ακρίβεια του SLA σημαίνει ότι οι εκτυπώσεις σας είναι πιστές στο τελικό σχέδιο, επιτρέποντάς σας να εντοπίσετε και να διορθώσετε ελαττώματα σχεδιασμού, συγκρούσεις και πιθανά εμπόδια μαζικής κατασκευής πριν από την έναρξη της παραγωγής. Το SLA παρέχει συγκρίσιμα χαρακτηριστικά με εξαρτήματα που συνήθως κατασκευάζονται από πολυπροπυλένιο ή ABS για παραγωγή χαμηλού έως μεσαίου όγκου και δεν απαιτεί αργή, δαπανηρή ανακατασκευή για προσαρμογή ή απαιτούμενες αλλαγές εργαλείων. Το SLA επιτρέπει επίσης μειωμένο κόστος υλικών, καθώς οποιαδήποτε αχρησιμοποίητη ρητίνη παραμένει στον κάδο, έτοιμη για μελλοντικά έργα.

Επειδή τα εξαρτήματα SLA μπορεί να απαιτούν δομές υποστήριξης, συχνά απαιτούν επεξεργασία στην συνέχεια, η οποία ανοίγει ευκαιρίες για νέα χαρακτηριστικά εξαρτημάτων. Τα εξαρτήματα SLA μπορούν να ακονιστούν με ατμό ή να αμμοβοληθούν με χάντρες ή με αμμοβολή και μπορούν ακόμη και να επιμεταλλωθούν με μέταλλο, όπως νικέλιο. Η ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση καθιστά τα μέρη SLA σημαντικά ισχυρότερα και επίσης καθιστά τα μέρη ηλεκτρικά αγωγίμα και πιο σταθερά διαστάσεων σε υγρά περιβάλλοντα.

## Κεφάλαιο 4: Χειρωνακτική κατασκευή πρωτότυπων γυναικείων τακουνιών

### 4.1 Ιστορία και αναγκαιότητα κατασκευής προτύπων τακουνιών

Η ανάγκη του ανθρώπου, είτε αφορά το γυναικείο είτε αφορά το ανδρικό φύλο για την δημιουργία υποδημάτων ήτανε από πάντα εμφανής. Στον χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας για την κατασκευή του τελικού προϊόντος, τα στάδια που προηγούνται είναι αρκετά με σημαντικότερο την κατασκευή του πρωτοτύπου. Λέγοντας πρωτότυπο, εννοείται το πρωτότυπο του προϊόντος που τοποθετείται κάτω από το παπούτσι είτε αυτό είναι σόλα, είτε οποιαδήποτε πλατφόρμα είτε τακούνι. Η ομπρέλα των υποπροϊόντων σε καθεμία από τις κατηγορίες που αναφέρθηκαν είναι αναρίθμητες. Πιο συγκεκριμένα για την κατηγορία των γυναικείων πλαστικών τακουνιών όπου είναι το κυρίαρχο θέμα αυτής της έρευνας και θα αναλυθεί περαιτέρω, οι κύριες κατηγορίες είναι τα τακούνια που προορίζονται για ντύσιμο κυρίως με δέρμα και τα γυναικεία τακούνια που προορίζονται για βάψιμο. Επομένως, οποιοσδήποτε τεχνίτης που προορίζεται για την σχεδίαση ενός πρωτοτύπου γυναικείου τακουνιού θα πρέπει να επιλέξει ανάμεσα σε αυτές τις δύο εντολές. Για κάποιον εκτός του χώρου της γυναικείας υποδηματοποιίας η διαφορά αυτή μπορεί να φανεί ανούσια, παρόλα αυτά αυτή η διαφοροποίηση αποτελεί την ειδοποιός διαφορά για τον οποιοδήποτε σχεδιασμό γυναικείου τακουνιού, καθώς αλλάζουν οι προδιαγραφές σχεδίασης. Λέγοντας προδιαγραφές σχεδίασης, εννοείται κυρίως οι συστολές οι οποίες θα αναφερθούν αναλυτικότερα στην συνέχεια και αφορούν τις περιμετρικές συστολές καθώς το ντύσιμο με δέρμα προσθέτει περιφερειακά ενώ το βάψιμο του τακουνιού όχι. Ο δεύτερος κύριος διαχωρισμός που πραγματοποιείται είναι εάν τα τακούνια που σχεδιάζονται προορίζονται για να συνοδέψουν κάποιου είδους «φιάπα» (προϊόν γυναικείας υποδηματοποιίας) ή εάν θα είναι μονόσολα. Με τον όρο μονόσολα, αναφέρονται τα γυναικεία πλαστικά τακούνια που είναι σχεδιασμένα με τέτοια κλίση έτσι ώστε να δημιουργούνται παπούτσια με βάση μόνο αυτά και όχι κάποια άλλα προϊόντα. Τα νούμερα των τακουνιών είναι από 35 έως και 41 και χωρίζονται σε τρία μέρη, τα οποία ονομάζονται μπουγιέτες και είναι 35-36, 37-38 και 39-40-41, που η κάθε μπουγιέτα έχει τις ίδιες προδιαγραφές. Το υλικό που αρχικά χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή των πρωτοτύπων ήτανε ένα είδος ξύλου πολύ μαλακό το οποίο δυσκόλευε την διαδικασία αλλά από την άλλη πλευρά ήτανε πολύ πιο φθηνό από το υλικό που χρησιμοποιείται σήμερα. Ονομαζόταν «Αγιοί» και κόστιζε περίπου το 1/5 από την ρητίνη που χρησιμοποιείται στις μέρες μας. Για να γίνει πιο κατανοητή η διαφορά κόστους άξιο αναφοράς είναι ότι μία σημερινή πλάκα ρητίνης κοστίζει περίπου στα 400 ευρώ με τις ανατιμήσεις που έχουνε πραγματοποιηθεί και αν την επεξεργαστεί κάποιος με σωστό τρόπο καταναλώνεται, κατασκευάζοντας περίπου 25 σειρές τακουνιών, δηλαδή 25 σειρές επί 3 τακούνια που έχει κάθε σειρά (3 μπουγιέτες, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω), προκύπτουν 75 τακούνια. Αντίθετα, παρόλο το υψηλό κόστος της ρητίνης η διαδικασία κοπής της και επεξεργασίας της είναι πιο απλή από αυτή των «Αγίων». Στις μέρες μας, όποιος εξακολουθεί να δημιουργεί πρωτότυπα γυναικείων τακουνιών χειρωνακτικά χρησιμοποιεί ρητίνη.



Γυναικείο Παπούτσι με ντυμένο τακούνι και φιάπα.



Γυναικείο Παπούτσι με μονόσολο βαμμένο τακούνι.

Κυρίαρχο ρόλο στην σχεδίαση και στην δημιουργία τόσο των γυναικείων υποδημάτων όσο και των πρωτοτύπων αντίστοιχα κατέχει το καλαπόδι. Ουσιαστικά το καλαπόδι είναι το αντικείμενο που προσεγγίζει και αποτυπώνει το σχήμα του ποδιού. Με βάση αυτό σχεδιάζονται τα παπούτσια και τοποθετούνται και τα γυναικεία τακούνια για να βρεθεί η κατάλληλη κλίση και το κατάλληλο ύψος. Τα συνηθισμένα παπούτσια κυρίως τα αντρικά τα οποία θεωρούνται «flat», είναι περίπου ίσα με μηδέν πόντους, αλλά με μία υποτιθέμενη κλίση για να είναι παραγωγικό στο περπάτημα. Το ύψος του κάθε καλαποδιού μετριέται σε εκατοστά ή σε χιλιοστά, κυρίως στο χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας σε χιλιοστά. Σε κάθε χώρα το σχήμα και η διαμόρφωση του ποδιού κάθε ανθρώπου διαφοροποιείται. Παρόλα αυτά, γενικά στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται δύο είδη καλαποδιών. Τα λεγόμενα ιταλικά καλαπόδια τα οποία χωρίζονται σε 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm κλπ και τα ελληνικά καλαπόδια τα οποία χωρίζονται σε 5mm, 15mm, 25mm, 35mm 45mm κλπ. Αυτή η διαφοροποίηση δεν οδηγεί σε προβλήματα της παραγωγής καθώς πραγματοποιείται για χρόνια και συγκεκριμένος λόγος που υφίσταται τέτοια διαφορά δεν έχει εξηγηθεί ορθά από κανέναν.



Καλαπόδι υπό συγκριμένη κλίση και ύψος



Καλαπόδι δίχως να υποδηλώνεται το ύψος του

Ένας διαφορετικός αλλά πιο εμπειρικός ορισμός που δίνεται στον όρο καλαπόδι είναι η υψομετρική διαφορά «πιάντας» και τακουνιού. Ως «πιάντα», θεωρείται το πιο φαρδύ σημείο του «stampo» (θα αναλυθεί αργότερα) ή εκεί που πατάει το πέλμα. Για την εύρεση της «πιάντας» με βάση το «stampo» φέρνει κάποιος την κάθετη – κύρια αξονική και στο πιο φαρδύ σημείο του «stampo», με γωνία τραβάμε την παράλληλη. Ένας επιπλέον όρος που ακούγεται στην κατηγορία των καλαποδιών είναι η «πόντα». Θεωρείται το εμπρός σημείο του πέλματος.

## 4.2 Γενικές Πληροφορίες

Υπάρχουν κάποιοι βασικοί όροι και κάποια βασικά εξαρτήματα που πρέπει να είναι γνωστά έτσι ώστε να γίνει κατανοητή η χειρωνακτική διαδικασία σχεδίασης του πρωτότυπου ενός γυναικείου γυναικείου τακουνιού. Αρχικά, ξεκινώντας από τα κλασικά εξαρτήματα όπως το παχύμετρο, το οποίο μετράει το ύψος του τακουνιού σε χιλιοστά με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια. Στο χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας χρησιμοποιείται ένα είδος παχύμετρου το οποίο μετράει και την κλίση του τακουνιού. Η μεταλλική πλάκα που υπάρχει στο πάνω μέρος χρησιμοποιείται για την μέτρηση των μοιρών του τακουνιού ή αλλιώς την κλίση και το κάτω σημείο το ύψος. Βασικό χαρακτηριστικό αυτού του ειδικού παχύμετρου είναι η μεγάλη μεταλλική επιφάνεια που δίνει αισθητή ελευθερία στην επιλογή οποιουδήποτε τακουνιού για την σχεδίαση. Ο σχεδιασμός χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο άνω μέρος και στο κάτω. Το άνω μέρος ονομάζεται και «stampo» κοπής ξύλου ή αλλιώς «κόστα» ενώ το κάτω μέρος ονομάζεται σολαδούρα ή αλλιώς «κόστα» κάτω μέρους. Η «κόστα» είναι ουσιαστικά η αποτύπωση του τελικού προϊόντος, δηλαδή του γυναικείου τακουνιού, σχηματισμένο σε χαρτόνι. Το «stampo» που βγαίνει από το καλαπόδι, είναι η αποτύπωση της «κόστας» προσθέτοντας περιφερειακά τις αντίστοιχες συστολές. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω τα τακούνια που ανήκουν στην κατηγορία των βαμμένων τακουνιών, πρέπει να έχουνε παραπάνω συστολές όταν βγάζει κάποιος την «κόστα», οι οποίες συστολές θα είναι ανάμεσα σε 0.5mm και 1mm. Από την άλλη πλευρά όταν ένα πρωτότυπο τακουνιού προορίζεται για τον σχεδιασμό τακουνιού για ντύσιμο προστίθεται 0.6mm περιφερειακά δηλαδή συνολικά περίπου στο 1.2mm. Επομένως, για την δημιουργία της κόστας για ένα ντυμένο τακούνι προσθέτουμε 1.2mm από το μέγεθος που θέλουμε να προκύψει.

## 4.3 Βήματα χειρωνακτικής σχεδίασης πρωτοτύπου

Ο σχεδιασμός ενός πρωτότυπου τακουνιού με σωστές προδιαγραφές είτε αυτό προορίζεται για την ελληνική αγορά και αντίστοιχα με βάση τα ελληνικά καλαπόδια

είτε αυτό προορίζεται για το εξωτερικό με βάση κυρίως τα ιταλικά καλαπόδια θεωρείται μία σύνθετη διαδικασία η οποία αποτελείται από πολλά στάδια. Τα στάδια αυτά, λόγω της χειρωνακτικής εργασίας θα πρέπει να πραγματοποιούνται με ακρίβεια με σκοπό το ορθό αλλά κυρίως παραγωγικό αποτέλεσμα. Έχει παρουσιαστεί πολλές φορές το ζήτημα της παραγωγικότητας, καθώς μπορεί να σχεδιαστεί κάποιο πρωτότυπο ενός τακουνιού ακολουθώντας τα στάδια σχεδίασης κάποιος σωστά, αλλά εν τέλει μη σκεπτόμενος λεπτομέρειες της ευκολίας ή μη της παραγωγικότητας το τελικό αποτέλεσμα που προκύπτει να μην είναι το επιθυμητό.

**Βήμα 1:** Το αρχικό στάδιο για την σχεδίαση του πρωτοτύπου είναι ο καθορισμός των κατάλληλων προδιαγραφών του. Όταν κάποιος αναφέρει προδιαγραφές εννοεί τις μοίρες ή την κλίση του τακουνιού και το ύψος του. Στην συνέχεια πρέπει να καθοριστούν και τα αντίστοιχα stampa, της πλάγιας όψης, του άνω και του κάτω μέρους. Αυτές οι προδιαγραφές εξαρτώνται από τι θέλει κανείς να δημιουργήσει. Οι πηγές έμπνευσης μπορεί να είναι μία απλή και πιστή αντιγραφή ενός ήδη υπάρχον τακουνιού, μία φωτογραφία ενός παπουτσιού και η επιλογή του τακουνιού που έχει αυτό το παπούτσι ή πολύ απλά η δημιουργία ενός τακουνιού από την φαντασία κάποιου.

**Βήμα 2:** Κατόπιν της δημιουργίας των stampo και ειδικότερα της πλάγιας όψης το επόμενο βήμα είναι το ανάγλυφο. Τα stampa είναι σε μορφή χαρτονιού, έτσι ξεκινώντας από την πλάγια όψη κολλάμε ή καρφώνουμε το χαρτόνι της στο κομμάτι της ρητίνης και με ένα λεπτό στυλό με μύτη περίπου 0.1mm σχεδιάζουμε γύρω γύρω το αντίστοιχο ανάγλυφο της πλάγιας όψης.

**Βήμα 3:** Ξεκολλάμε το χαρτόνι και απομένει το ανάγλυφο. Σε ένα ειδικό εξάρτημα που ονομάζεται κορδέλα, που φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία κόβεται περιμετρικά το ανάγλυφο με απόκλιση τριών χιλιοστών (3mm), για να κοπεί μετέπειτα με μεγαλύτερη ακρίβεια από άλλα μηχανήματα.



Βήμα 4: Κατόπιν δημιουργίας ανάγλυφου τριών χιλιοστών (3mm) μεγαλύτερου του επιθυμητού το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία του αντικειμένου που προκύπτει στον τροχό. Τοποθετώντας αντίστοιχα γυαλόχαρτα στον τροχό, αρχικά 60 για να τροχίσει μεγάλη ποσότητα με υψηλή τραχύτητα και στην συνέχεια 150 για να τροχιστούν οι λεπτομερείς που απομένουν. Το εν δυνάμει πρωτότυπο για να τροχιστεί χρησιμοποιείται ένα κομμάτι ξύλου που ονομάζεται «τάκος», ο οποίος είναι γωνιασμένος δίχως να έχει ούτε λίγο απόκλιση και βοηθάει την διαδικασία έτσι ώστε ότι γίνεται να γίνεται παράλληλα. Όλα αυτά πραγματοποιούνται, πάνω σε μία επιφάνεια που ονομάζεται τραπέζι, το οποίο δεν υπάρχει στην αγορά και αποτελεί ειδική κατασκευή. Αυτό το τραπέζι φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία και μπορεί να έρθει υπό κλίση.



Βήμα 5: Αφού πραγματοποιούνται όλα τα παραπάνω βήματα προσεκτικά και το εν δυνάμει πρωτότυπο πληρεί τις προδιαγραφές ξεκινάει η διαδικασία του τροχού για την πλάγια όψη.

Βήμα 6: Σε αυτό το κομμάτι ρητίνης που δημιουργείται κατόπιν της κατάλληλης επεξεργασίας που προαναφέρεται τοποθετούνται τα stampa κοπής ξύλου άνω και κάτω, στο άνω και στο κάτω μέρος της ρητίνης αντίστοιχα.

Βήμα 7: Όπως και στο Βήμα 2 με ένα λεπτό στυλό σχεδιάζεται το αντίστοιχο άνω και κάτω ανάγλυφο και ξεκολλιούνται τα χαρτόνια. Η κατεργασία που επέρχεται στο άνω και στο κάτω μέρος είναι χειρωνακτική και πραγματοποιείται με χειρωνακτικές κατασκευές οι οποίες φαίνονται παρακάτω και αποτελούνται από ξύλο και ειδικής τραχύτητας γυαλόχαρτα





Βήμα 8: Εφόσον έχουν πραγματοποιηθεί όλα με την σειρά που προαναφέρθηκαν το τελευταίο βήμα είναι το λεγόμενο «σκάψιμο» που υπάρχει σε κάθε γυναικείο τακούνι έτσι και σε κάθε πρωτότυπο με σκοπό το τακούνι να «κουμπώνει» στο αντίστοιχο καλαπόδι. Στην χειρωνακτική διαδικασία σχεδιασμού αυτού του σκαψίματος έχουν δημιουργηθεί με την πάροδο του χρόνου ειδικά χαρτόνια με αντίστοιχες ακτίνες, τα οποία και παρουσιάζονται παρακάτω. Αυτά τα ειδικά χαρτόνια έχουν την ιδιότητα όσο πιο μικρή είναι η ακτίνα τόσο μεγαλύτερο βάθος πραγματοποιεί.

Με βάση όλα τα παραπάνω βήματα σχεδιάζεται ένα πρωτότυπο γυναικείο τακούνι από ρητίνη το οποίο αποτελεί την βάση και το σημαντικότερο στάδιο για την τελική δημιουργία προϊόντος ( γυναικείο τακούνι ). Ο μέσος χρόνος που χρειάζεται ένας τεχνίτης με πολυετή εμπειρία για την δημιουργία ενός μοναδικού πρωτοτύπου, δηλαδή μίας εκ των τριών μπουγιέτων, είναι 3 ώρες. Θεωρείται αυτονόητο ότι σε πολλά αν όχι σε όλα τα στάδια οι χειρωνακτικές διαδικασίες που ακολουθούνται δημιουργούν συνεχόμενες αποκλίσεις είτε αυτές θεωρούνται για κάποιους μικρές είτε μεγάλες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το τελικό προϊόν κατόπιν της χύτευσης αυτού του πρωτοτύπου και στην συνέχεια της παραγωγής του αντίστοιχου καλουπιού του να έχει εμφανείς διαφορές με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Εάν κάποιος δεν βρίσκεται στον χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας δεν μπορεί να διακρίνει τα λάθη που μπορεί να προκύψουν και πολλές φορές προκύπτουν. Ο χώρος της γυναικείας υποδηματοποιίας, ειδικότερα στην Ελλάδα, τεχνολογικά βρίσκεται πολύ πίσω συγκριτικά τόσο με την Μέκκα της μόδας και της γυναικείας υποδηματοποιίας, Ιταλία, όσο και με τις



υπόλοιπες χώρες. Για αυτό τον λόγο, κρίνεται αναγκαίο η δημιουργία πρωτοτύπων να πραγματοποιείται με την βοήθεια ειδικών λογισμικών CAD για την καλύτερη ακρίβεια διαστάσεων, την ευκολότερη εργασία όσον αφορά το πρωτότυπο, το κόστος εργασίας αλλά και το κυριότερο, τον χρόνο εργασίας.

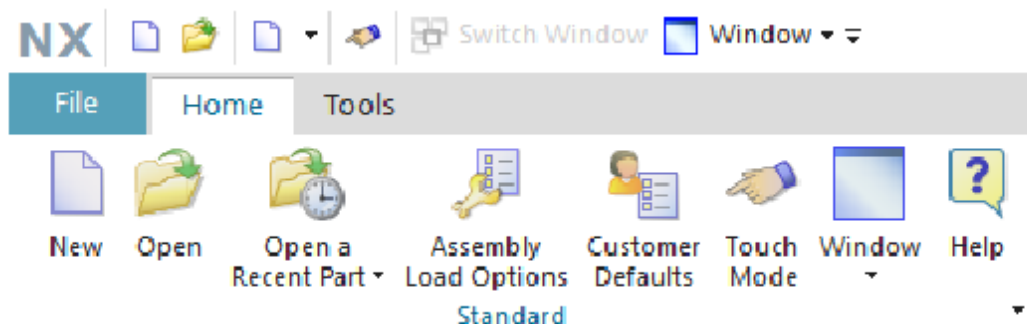
## Κεφάλαιο 5: Προσθετική κατασκευή πρωτοτύπου γυναικείου τακουνιού με το σύστημα Siemens – NX.

Στο κεφάλαιο αυτό θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Siemens – NX, για να αποδειχθεί πως ο σχεδιασμός ενός πρωτοτύπου γυναικείου τακουνιού μπορεί να πραγματοποιηθεί με πιο απλό τρόπο και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Το συγκεκριμένο CAD λογισμικό παρόλο που δεν είναι plugin, που σημαίνει πως δεν είναι προγραμματισμένο με τις κατάλληλες εντολές μόνο για την σχεδίαση γυναικείων τακουνιών, αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο που εάν πραγματοποιηθεί παραμετρική σχεδίαση θα αποτελέσει την βάση για τον σχεδιασμό οποιουδήποτε γυναικείου τακουνιού.

### 5.1 Δημιουργία προτύπου AM στο πρόγραμμα NX

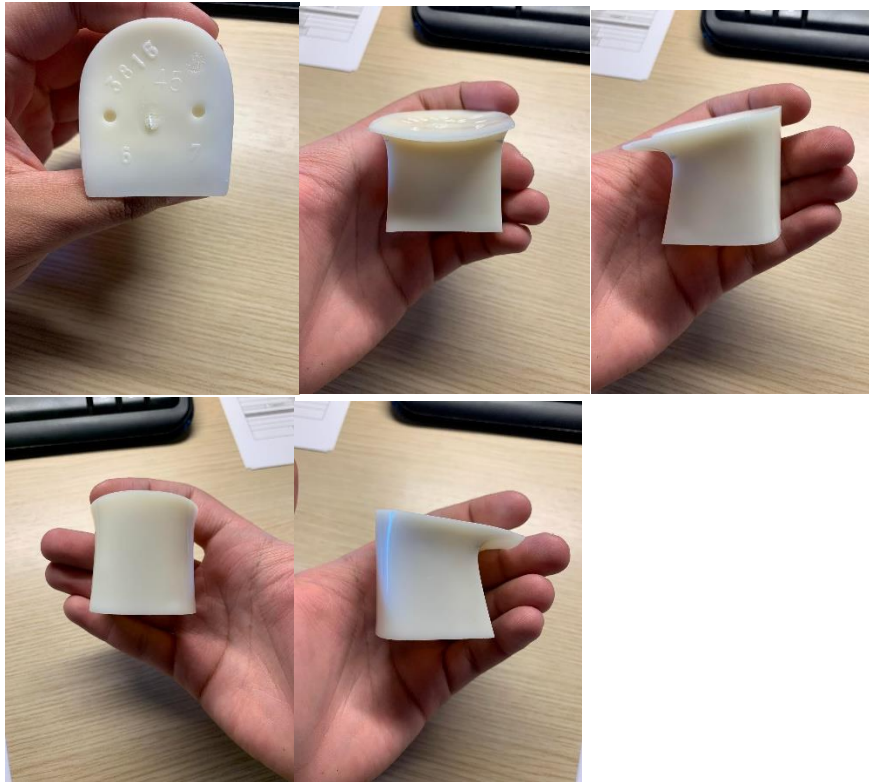
Για να δημιουργήσει ο χρήστης του προγράμματος Siemens NX 12 ένα μοντέλο το οποίο θα προορίζεται για να πραγματοποιηθεί ένα πρότυπο αρχείο προσθετικής κατασκευής ή όπως αναφέρεται σε πολλά κείμενα ως AM template πρέπει να ακολουθήσει μία συγκεκριμένη αλλά απλή διαδικασία.

Αρχικά ο χρήστης στο Ribbon Bar του λογισμικού του προγράμματος Siemens – NX και την καρτέλα Home επιλέγει το κουμπί New, όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία.



Στην συνέχεια στο παράθυρο διαλόγου New που ανοίγει, ο χρήστης επιλέγει την καρτέλα Model, ονομάζει το μοντέλο σχεδίασης του όπως εκείνος επιθυμεί και ξεκινάει την σχεδίαση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα σχεδιαστεί ένα γυναικείο τακούνι το οποίο είναι υπαρκτό και αληθινό αντικείμενο και σκοπός της σχεδίασης είναι η όσο πιο κοντινή αποτύπωση του αληθινού αντικειμένου. Ο κωδικός προϊόντος είναι 3816 και είναι ένα τακούνι με γλώσσα, μονόσολο, στα 45mm. Επίσης η αποτύπωση κάθε βήματος θα γίνεται με φωτογραφίες και θα επισυναφτεί και το αντίστοιχο έγγραφο .prt που θα αντιστοιχεί στην ολοκληρωμένη σχεδίαση του τακουνιού.

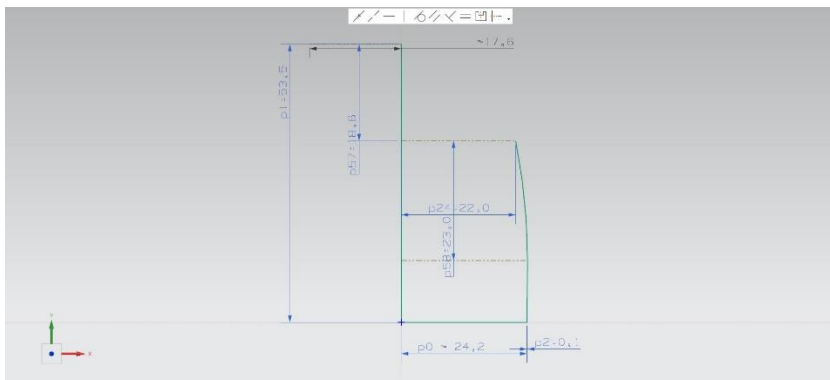
Φυσικό Αντικείμενο από μηχανή παραγωγής τακουνιών:



Προτού αναφερθούν αναλυτικότερα τα βήματα που ακολουθήθηκαν άξιο αναφοράς είναι ότι η σχεδίαση έγινε στο μισό κομμάτι και μετά ακολούθησε Mirror Body. Αναφέρεται το γεγονός αυτό για τυχόν απορίες στην σχεδίαση για τα πρώτα 15 βήματα.

Βήμα 1: Αρχικά ορίζεται Datum Plane ο άξονας X και ξεκινάει η βάση της σχεδίασης.

Βήμα 2: Αρχικά σχεδιάζεται ένα κάθετο ευθύγραμμο τμήμα, όσο το μήκος του «stampo», το οποίο αποτελεί και την αξονική του και θα αποτελεί την βάση της υπόλοιπης σχεδίασης. Στην συνέχεια σχεδιάζεται άλλο ένα ευθύγραμμο τμήμα κάθετο στο προηγούμενο με διαστάσεις όσο το μισό πλάτος του «stampo». Με βάση αυτό το ευθύγραμμο τμήμα τώρα σχεδιάζεται άλλο ένα με διαστάσεις τόσες όσες έχουν προδιαγραφεί για την ομοιόμορφη σύνδεσή τους με την αξονική.

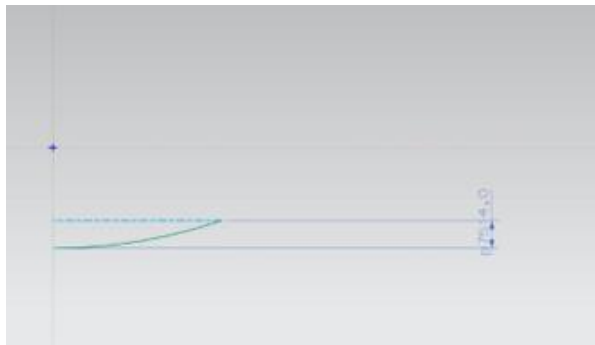


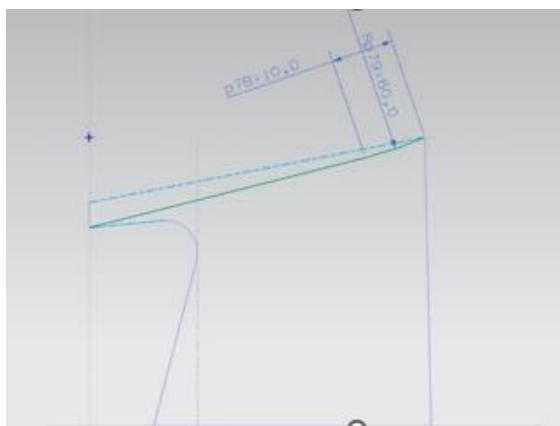
Βήμα 3: Με την εντολή Bridge Curve, ενώνεται το τελευταίο ευθύγραμμο τμήμα που σχεδιάστηκε με την αρχική αξονική.

Βήμα 4: Δημιουργία Datum Plane σε απόσταση ίση με 46mm όσο και το ύψος που θέλουμε να προκύψει από το τακούνι. Σκοπός της δημιουργίας αυτού του Datum Plane είναι ο σχεδιασμός του «stampου» του κάτω μέρους.

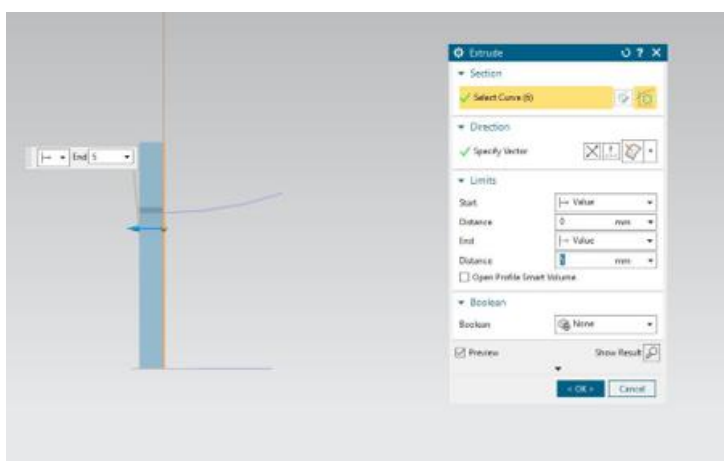
Βήμα 5: Με τον ίδιο τρόπο και την ίδια λογική που ακολουθήθηκε στο Βήμα 2, έτσι σχεδιάζεται και το κάτω «stampo».

Βήμα 6,7 και 8: Στα βήματα αυτά όπως φαίνεται και στις παρακάτω φωτογραφίες επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός της «γλώσσας» του τακουνιού. Η αφιέρωση τριών ολόκληρων βημάτων για τον σχεδιασμό της, γίνεται καθώς θεωρείται “free form surface”, δηλαδή ελεύθερη επιφάνεια χωρίς χαρακτηριστικές διαστάσεις και αυτό οδηγεί και στην τρισδιάστατη σχεδίασή του. Επίσης όπως φαίνεται και στις παρακάτω φωτογραφίες έχει αρχίσει και η σχεδίαση του σκαψίματος του πάνω μέρους.

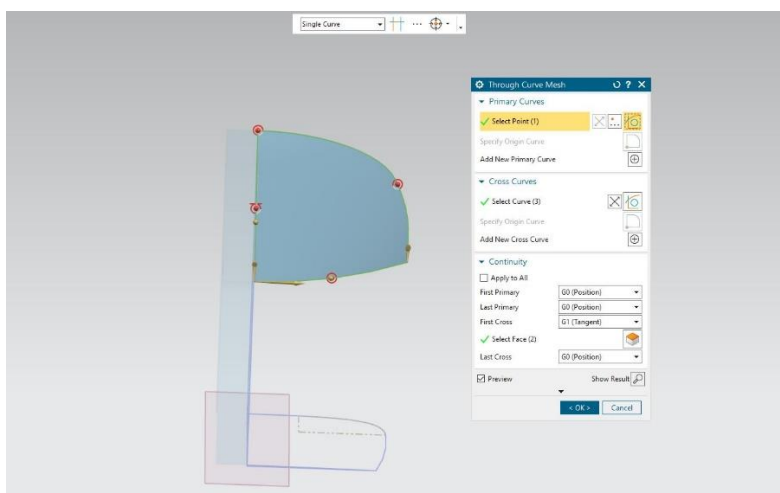




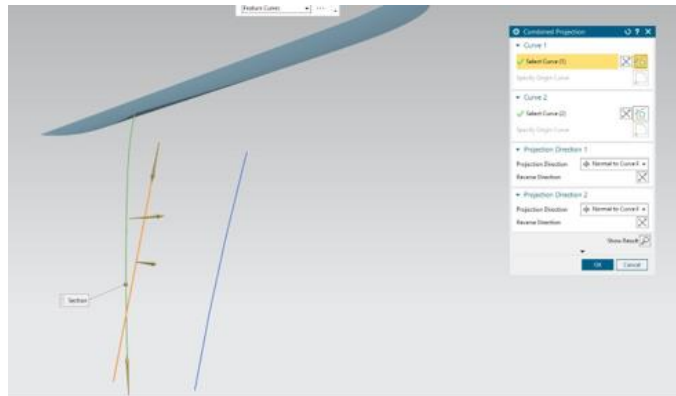
Βήμα 9: Κατόπιν του τελικού σχεδιασμού της πλάγιας όψης γίνεται Extrude κατά 5mm, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Σκοπός του Extrude είναι ότι θα ακολουθήσει η εντολή Through Curve Mesh.



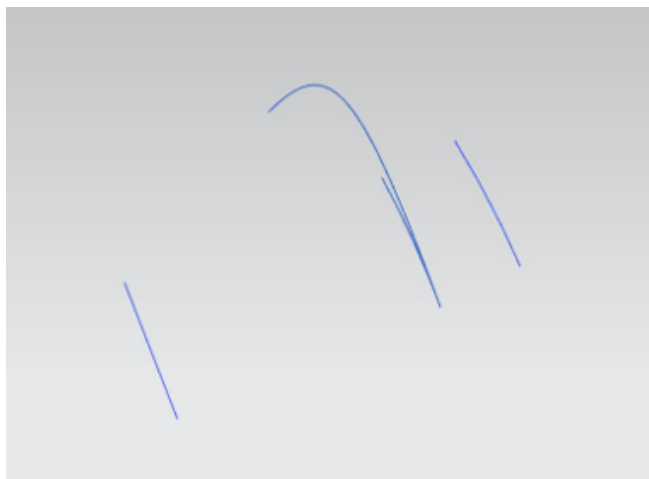
Βήμα 10: Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πραγματοποιείται η εντολή Through Curve Mesh με σκοπό την αποτύπωση του σκαψίματος στο άνω μέρος του τακουνιού.



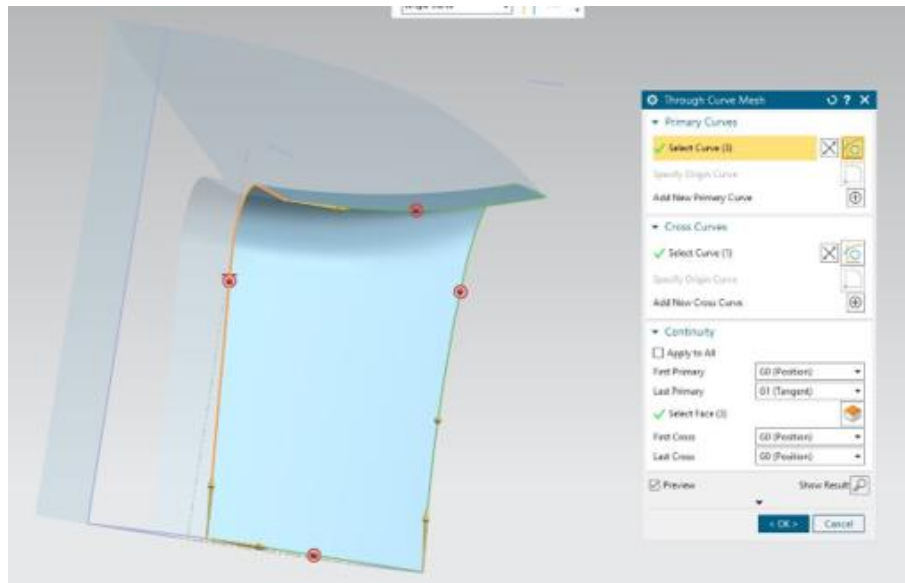
Βήμα 11: Όπως πραγματοποιήθηκε και στα βήματα 4 και 5 πραγματοποιείται η εντολή Combined Projection. Επιλέγεται αυτή η εντολή καθώς η επιφάνειες σχεδιάζονται είναι Free Form Surfaces, επομένως δεν είναι δυνατόν να σχεδιαστούν με ευθύγραμμα τμήματα και καμπύλες.



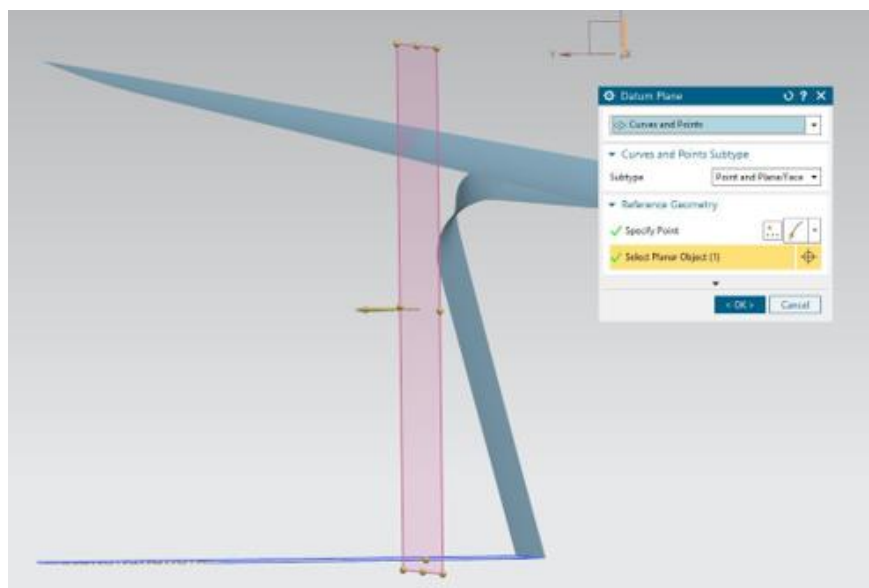
Βήμα 12: Δημιουργείται ένα καινούργιο Sketch και σε συνδυασμό με Combined Projection δημιουργείται ένα ευθύγραμμο τμήμα που αποτυπώνει το πλάγιο μέρος της γλώσσας του τακουνιού.



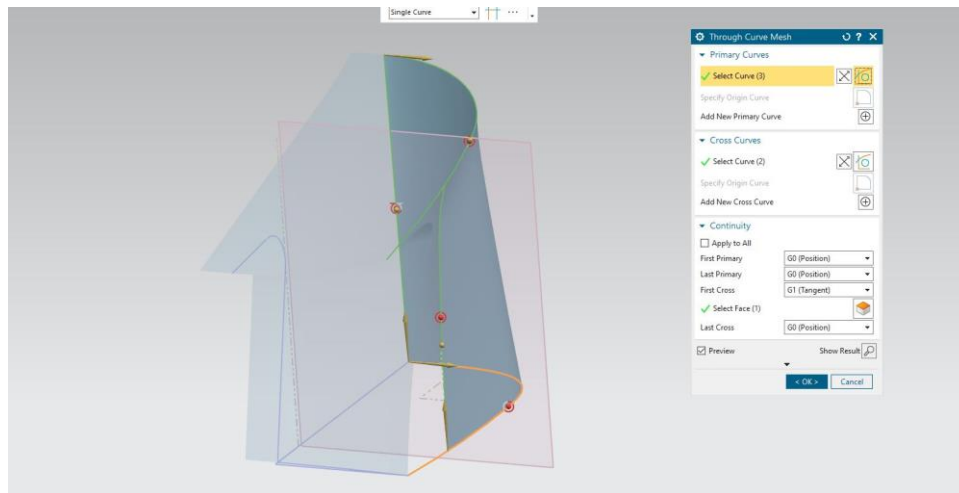
Βήμα 13: Πραγματοποιείται ξανά Through Curve Mesh και σχηματίζεται η μπροστινή όψη του τακουνιού.



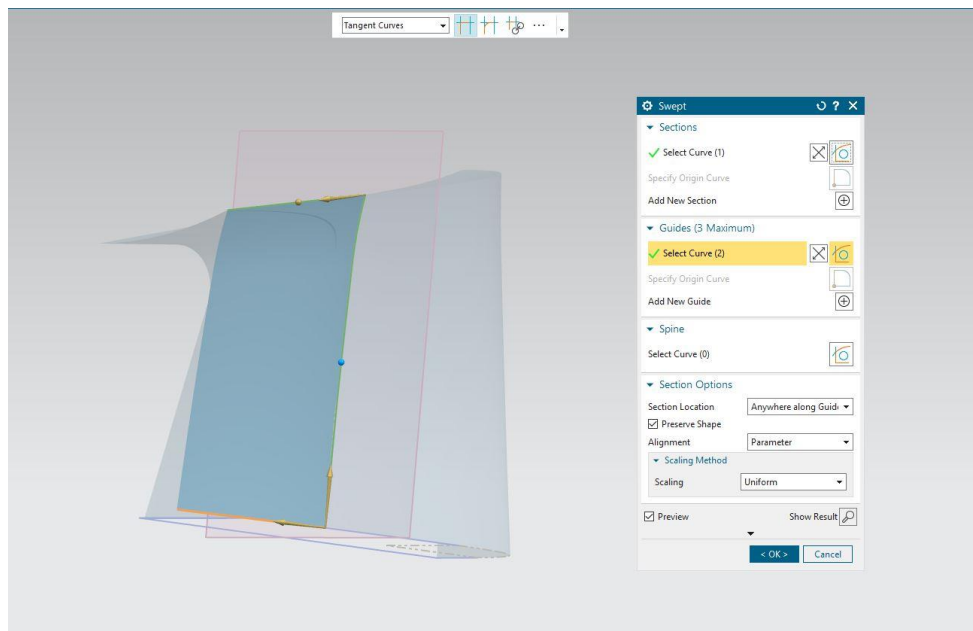
Βήμα 14: Λόγω του γενικού σχήματος του συγκεκριμένου τακουνιού και λόγω της παρουσίας πολλών ελεύθερων επιφανειών, πρέπει να δημιουργηθεί ένα καινούργιο Datum Plane με σκοπό να πραγματοποιηθούν ξεχωριστά Through Curve Mesh.



Βήμα 15: Ένας επιπλέον λόγος που χωρίζονται οι εντολές των Through Curve Mesh είναι γι να είναι πιο ομαλή η επιφάνεια. Επομένως, πραγματοποιείται πάλι Through Curve Mesh για την πίσω όψη του τακουνιού.

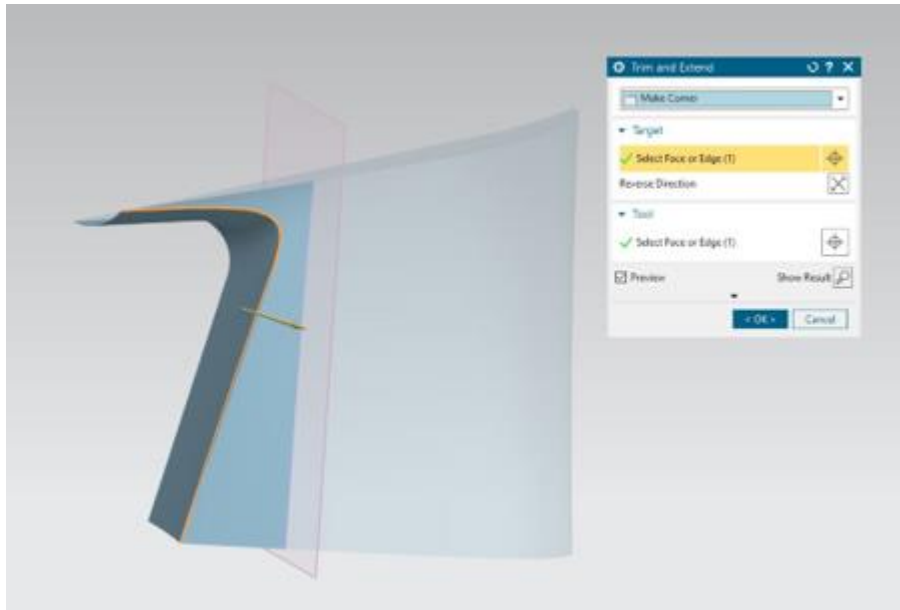


Βήμα 16: Χρησιμοποιείται η εντολή Sweep με σκοπό την δημιουργία ενός συμπαγούς σώματος ή ενός φύλλου σαρώνοντας ένα ή περισσότερα τμήματα κατά μήκος μίας, δύο ή ακόμα και τριών χορδών οδηγών.

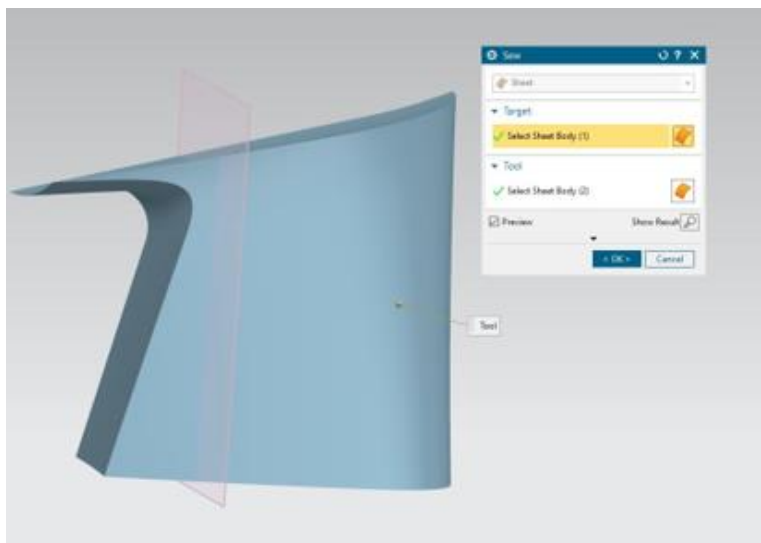


Βήμα 17: Χρησιμοποιώντας στο Βήμα 19 την εντολή Trim and Extend, προσφέρεται η δυνατότητα να επεκτείνονται και να κόβονται μία ή περισσότερες επιφάνειες χρησιμοποιώντας ένα σύνολο αντικειμένων που αποτελούνται από άκρες ή επιφάνειες.

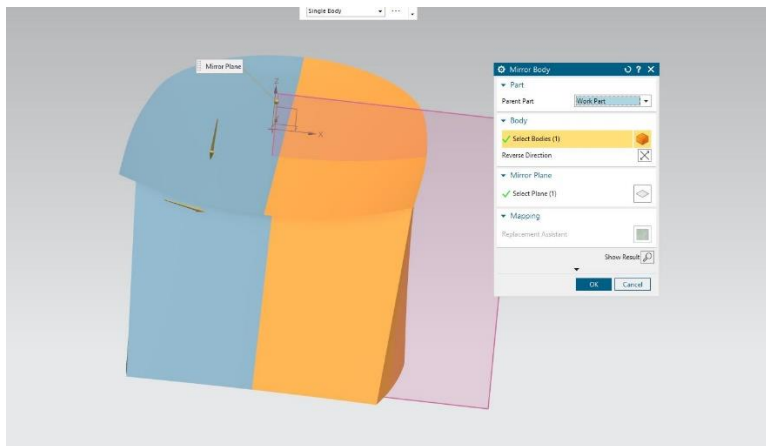




Βήμα 18: Με την εντολή Sew, που ο καθολικός ορισμός της είναι «ράψιμο», ράβονται τα τρία μέρη, στα οποία εκτελέστηκαν τρία αντίστοιχα Through Curve Mesh.



Βήμα 19: Πραγματοποιείται εκ νέου Mirror Body



Βήμα 20: Χρησιμοποιείται η εντολή Bounded Plane στο κάτω μέρος του τακουνιού με σκοπό την δημιουργία ενός «επίπεδου φύλλου σώματος», το οποίο περικλείεται από ένα σύνολο επίπεδων καμπυλών συνδεδεμένων στο τέλος. Οι καμπύλες όπως φαίνονται και στην παρακάτω φωτογραφία είναι ομοεπίπεδες και σχηματίζουν κλειστό σχήμα.



## 5.2 Εκτύπωση τελικού αντικειμένου

Κατόπιν της σχεδίασης και του ορισμού των κατάλληλων προδιαγραφών της πρέπει να αποφασισθεί από τον χρήστη και σχεδιαστή ο τρόπος εκτύπωσης, ο τόπος εκτύπωσης, ο χρόνος εκτύπωσης αλλά και το κόστος εκτύπωσης. Για την εκτύπωση ενός πρωτοτύπου γυναικείου τακουνιού αυτή την στιγμή χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι, FDM και SLA, που θα αναπτυχθούν περαιτέρω παρακάτω. Επιλέγεται ο τρόπος εκτύπωσης SLA, καθώς το τελικό αποτέλεσμα που θέλει να πάρει κάποιος είναι μία τέλεια επιφάνεια σε θέμα λείανσης, μία ακρίβεια στην εκτύπωση και γενικά ένα ορθό αποτέλεσμα με βάση τις προδιαγραφές που έχουνε δοθεί από την σχεδίαση στο λογισμικό. Το πρωτότυπο που σχεδιάζεται προορίζεται για την δημιουργία του αντίστοιχου καλουπιού, γι' αυτό και ο τρόπος εκτύπωσης FDM δεν αρκεί, λόγω της μη ικανοποιητικής επιφάνειας εκτύπωσης (διακριτά layers), παρόλο που γενικά ως μέθοδος προτιμάται για εκτυπώσεις μεγάλων αντικειμένων. Το παραπάνω σχεδιασμένο τακούνι εκτυπώθηκε στον εκτυπωτή Formlabs Form 3+ με χρόνο

εκτύπωσης 5 ώρες και κόστος εκτύπωσης 9 ευρώ. Η ακρίβεια που προέκυψε με βάσει τις προδιαγραφές που του είχανε δοθεί από την σχεδίαση αποτυπώθηκαν με ακρίβεια στο τελικό αντικείμενο εκτύπωσης και το κυριότερο χαρακτηριστικό για να θεωρηθεί ένα πρωτότυπο γυναικείου τακουνιού ορθό, η λείανση της επιφάνειας, ήτανε άριστη.



## Κεφάλαιο 6: Μέθοδοι εκτύπωσης FDM και SLA

### 6.1 Σύγκριση Μεθόδων FDM και SLA

Κάθε τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει τα δικά της δυνατά σημεία, αδυναμίες, απαιτήσεις και είναι κατάλληλη ή μη για διαφορετικές εφαρμογές και επιχειρήσεις. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά και εκτιμήσεις. Τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα απορρέουν από ένα μέσο όρο απόψεων και βαθμολογιών των δύο μεθόδων από ειδικούς του χώρου.

Κριτήρια	Fused Deposition Modeling (FDM)	Stereolithography (SLA)
Resolution	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ★
Accuracy	★ ★ ★ ★ ☆	★ ★ ★ ★ ★
Surface Finish	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ★
Throughput	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ☆
Complex Designs	★ ★ ★ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ☆
Easy of Use	★ ★ ★ ★ ★	★ ★ ★ ★ ★

Αναφέροντας περιληπτικά, το κύριο χαρακτηριστικό που παρατηρείται στην μέθοδο εκτύπωσης FDM είναι τα χαμηλού κόστους υλικά αλλά και καταναλωτικά μηχανήματα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει για απλά και μικρά εξαρτήματα είναι γρήγορο και εύκολο. Από την άλλη πλευρά η μέθοδος εκτύπωσης SLA προσδίδει στο εκτυπωμένο αντικείμενο υψηλή ποιότητα και ακρίβεια, ομαλό φινίρισμα των επιφανειών, που θεωρείται βαρόμετρο στον σχεδιασμό γυναικείων πρωτότυπων τακουινιών. Περιλαμβάνει ευρεία γκάμα λειτουργικών εφαρμογών καθώς και ταχύτητα εκτύπωσης. Όσον αφορά τα αρνητικά χαρακτηριστικά της εκτύπωσης FDM δεν μπορεί να μην αναφερθούν. Αρχικά η χαμηλή ακρίβεια συγκριτικά με την SLA και ο περιορισμός στην σχεδίαση εξαρτημάτων. Επιπλέον εάν κάποιος επιθυμεί να σχεδιάσει ένα αντικείμενο ή ένα εξάρτημα ο τρόπος εκτύπωσης FDM δεν είναι κατάλληλος καθώς οι λεπτομέρειες δεν είναι εύκολο να αποτυπωθούν. Το κύριο αρνητικό χαρακτηριστικό της εκτύπωσης SLA είναι η ευαισθησία των εκτυπωμένων αντικειμένων στην μακροχρόνια έκθεση σε οποιαδήποτε ακτινοβολία. Η ευαισθησία συνεπάγεται και αλλαγή των σχεδιαστικών προδιαγραφών.

Όσον αφορά τις εφαρμογές των δύο τεχνικών εκτυπώσεις παρατηρείται και εκεί ουσιώδεις διαφορές. Αρχικά, όποιος εκτυπώνει με την μέθοδο FDM διαθέτει μία χαμηλού κόστους γρήγορη κατασκευή πρωτοτύπων ( rapid prototyping ) και μπορεί να σχεδιάσει βασικά μοντέλα, δηλαδή οι δυνατότητες του είναι σχετικά περιορισμένες. Με την μέθοδο SLA η κατασκευή πρωτοτύπων θεωρείται άκρως λειτουργική, τα μοτίβα, τα καλούπια, ακόμα και συγκεκριμένες οδοντιατρικές

εφαρμογές, όπου απαιτούνται λεπτομέρειες θεωρούνται λειτουργικά. Το κριτήριο της τιμής όσον αφορά την μέθοδο FDM υπερσχύει. Για ένα συνολικό σετ υπολογιστή και εκτυπωτή μπορεί κάποιος να αρκестεί και να πραγματοποιεί τα βασικά μοντέλα σχεδίασης με ένα ποσό που δεν ξεπερνά τα 3.000 ευρώ. Διαφορετικά, εάν κάποιος επιθυμεί κάτι πιο εξειδικευμένο με αυτόν τον τρόπο εκτυπώσεις μπορεί το σετ κατασκευής να υπερβεί και τα 15.000 ευρώ. Για την δημιουργία ενός σετ υπολογιστή και επιτραπέζιου εκτυπωτή οι τιμές ξεκινάνε πολύ υψηλότερα και μπορεί να φτάσουν και τα 80.000 ευρώ.

Τέλος, οι τομές εκτυπώσεις είναι παρόμοιες όπως και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Συνήθως, αν όχι πάντα το υλικό που χρησιμοποιείται στον χώρο της γυναικείας υποδηματοποιίας είναι το ABS και τα παράγωγά του. Σε μία μακροχρόνια σύγκριση των δύο μεθόδων σε συνδυασμό με τα χρήματα που επενδύονται αλλά και την χρησιμότητα που χρειάζεται ο καθένας τις περισσότερες φορές προτιμώνται εκτυπωτές που στηρίζονται στην μέθοδο SLA.

Οι μέθοδοι εκτύπωσης FDM και SLA εκτός από ότι θεωρούνται οι πρωταρχικές μέθοδοι είναι και οι πιο γνωστές. Κατόπιν σύγκρισης των δύο τεχνολογιών – μεθόδων, το συμπέρασμα που απορρέει είναι ότι και οι δύο τρόποι εκτύπωσης FDM και SLA έχουν παρόμοια, αλλά και συχνά συμπληρωματικά χαρακτηριστικά. Παρόλα αυτά, έχει παρατηρηθεί ότι οι δύο τύποι εκτυπώσεων δεν θεωρούνται πάντα ανταγωνιστικές καθώς πολλές επιχειρήσεις χρησιμοποιούν τις μηχανές FDM ως SLA αλλά και το αντίθετο. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί θετικό και για τις δύο μεθόδους καθώς οδηγεί σε χαμηλού κόστους γρήγορης δημιουργίας πρωτοτύπων σε συνδυασμό με υψηλής ποιότητας, λειτουργικά εξαρτήματα για ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών. Τόσο η εκτύπωση FDM όσο και η τρισδιάστατη εκτύπωση SLA χρησιμοποιούνται συνήθως στην κατασκευή για τη δημιουργία εξαρτημάτων και άλλων εργαλείων. Ο τρόπος εκτύπωσης FDM είναι καλύτερος για μεγάλα και απλά εξαρτήματα, ενώ η εκτύπωση SLA η εκτύπωση SLA θεωρείται μία καλύτερη λύση για πολύπλοκα εξαρτήματα, εργαλεία υψηλής ακρίβειας και καλούπια.

## 6.2 Εφαρμογές στα πρωτότυπα γυναικείων τακουνιών

Παρόλο που στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάστηκε το τελικό αντικείμενο σχεδίασης με εκτύπωση SLA, για την τελική αποτύπωση γυναικείων πρωτότυπων τακουνιών χρησιμοποιούνται και οι δύο μέθοδοι. Για να καταλήξει κάποιος στο τελικό συμπέρασμα, ποια μέθοδος θεωρείται καλύτερη πρακτικά και όχι θεωρητικά θα πρέπει να δοκιμαστούν και οι δύο μέθοδοι. Με την ίδια διαδικασία σχεδίασης και σχεδόν τις ίδιες εντολές σχεδιάστηκαν ακόμα δύο τακούνια. Το ένα με την μέθοδο εκτύπωσης FDM και τον εκτυπωτή Zortrax M300+ και το άλλο τακούνι με την μέθοδο εκτύπωσης SLA και τον εκτυπωτή Formlabs Form 3+. Για να πραγματοποιηθούν οι εκτυπώσεις μετατράπηκαν πρώτα τα αρχικά σχέδια σχεδίασης σε αρχεία STL όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω και μεταφέρθηκαν σε ένα αντίστοιχο εργαστήριο εκτυπώσεων. Το κόστος του εκτυπωτή αυτού κυμαίνεται ανάμεσα στα ποσά των 4.000 – 4.500 ευρώ. Θεωρείται από τους καλύτερους στην κατηγορία των FDM εκτυπωτών, όσον αφορά την ανάλυση, την ακρίβεια αλλά και το

κόστος εκτύπωσης. Το technical datasheet του εκτυπωτή Zortrax M300+ φαίνεται παρακάτω.

## zortrax SUPPORT CENTER

The following table summarizes all technical specifications and operational characteristics of the Zortrax M300 Plus.

Build Volume	300 x 300 x 300 mm [11.8 x 11.8 x 11.8 in]
Nozzle Diameter	0.4 mm [0.016 in] – standard / 0.3 mm [0.012 in] / 0.6 mm [0.024 in]
Extruder	Single (compatible with demanding materials, e.g. TPU or nylon)
Extruder Cooling System	Radial fan cooling the extruder block; two fans cooling the print
Hotend	Single (v3)
Platform	Heated; perforated and glass plates are applicable
Material Endstop	Mechanical
Connectivity	Wi-Fi, Ethernet, USB
Operating System	Android
Processor	Quad Core
Touchscreen	4" IPS 800 x 480
Camera	Yes
Technology	LPD (Layer Plastic Deposition) – depositing melted material layer by layer onto the build platform
Layer resolution	90 – 390 microns (for 0.4 mm / 0.016 in nozzle)
Minimal wall thickness	450 microns (for 0.4 mm / 0.016 in nozzle)
Platform levelling	Automatic measurement of platform points' height
Available Filaments	Full offer is available at: <a href="#">filaments</a>
External filaments	Applicable
Support	Mechanically removed – printed with the same material as the model
Filament container	Spool
Filament diameter	1.75 mm (0.069 in)
Maximum Printing Temperature (Extruder)	290° C [554° F]
Maximum Platform Temperature	105° C [221° F]
Ambient Operating Temperature	20 – 30° C [68 – 86° F]
Storage Temperature	0 – 35° C [32 – 95° F]

## zortrax SUPPORT CENTER

AC Input	110 V ~ 5.9 A 50/60 Hz 240 V ~ 2.5 A 50/60 Hz
Maximum Power Consumption	360 W
Software Bundle	Z-SUITE
Supported File Types	.stl, .obj, .dxf, .3mf, .ply
Supported Operating Systems	Mac OS Mojave* / Windows 7 and newer versions

\*Since the release of macOS Big Sur, we've been developing Z-SUITE's best possible operation on this system and all its future updates. The available version is fully functional, however minor bugs may occur.

Ο τρόπος εκτύπωσης SLA πραγματοποιήθηκε όπως αναφέρθηκε και παραπάνω με τον εκτυπωτή Formlabs Form 3+. Η τιμή του εκτυπωτή κυμαίνεται από το ποσό των 4.640 έως το ποσό των 6.695 ευρώ. Αναφορικά με τις τιμές που έγιναν σύγκριση στο υποκεφάλαιο 6.1, παρατηρείται ότι παρόλο που εκτυπωτές SLA θεωρούνται πιο ακριβή η διαφορά στην τιμή του εκτυπωτή είναι αρκετά μικρή. Η ποιότητα της επιφάνειας με αυτόν τον τρόπο εκτύπωσης για την λεπτομέρεια που χρειάζονται τα πρωτότυπα των τακουνιών θεωρείται ιδανική και μη συγκρίσιμη με την προηγούμενη. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί, ότι κατόπιν του σχεδιασμού των πρωτοτύπων σκοπός είναι η δημιουργία του αντίστοιχου καλουπιού. Γι' αυτό τον λόγο οι επιφάνειες των εκτυπωμένων τακουνιών πρέπει να είναι λείες με άριστη ακρίβεια. Το technical datasheet του εκτυπωτή παρουσιάζεται στη συνέχεια.

## 2.2 Technical Specifications

	Form 3 Printer	Resin Cartridge	Form 3 Resin Tank	Form 3 Build Platform
Shipping Dimensions	57×51×69 cm (22.5×20×27 in)	24×20×8 cm (9.5×8×3 in)	35×30×8 cm (14×11.8×3.3 in)	18×17×8 cm (7×6.75×3 in)
Shipping Weight	22.7 kg (50 lb)	1.5 kg (3.3 lb)	1.4 kg (3.1 lb)	0.67 kg (1.5 lb)
Product Weight	17.5 kg (38.6 lb)	1.35-1.6 kg (3-3.5 lb)	0.8 kg (1.8 lb)	0.65 kg (1.4 lb)
3D Printing Technology	Low Force Stereolithography (LFS)			
Minimum Dimensions for Convenient Access	Width: 40 cm (15.5 in) Depth: 53 cm (21 in) Height: 78 cm (30.5 in)			
Weight	17.2 kg (37.9 lb)			
Operating Temperature	Auto-heats to 35 °C (95 °F)			
Temperature Control	Air heated print chamber			
Power Requirements	100–240 V ~ 2.5 A 50/60 Hz 220 W			
Laser Specifications	1 Light Processing Unit EN 60825-1:2014 certified Class 1 Laser Product 405 nm violet laser 250 mW laser			
Laser Spot Size (FWHM)	85 microns (0.0033 in)			
Radiation Information	The Form 3 is a Class 1 Laser product. Accessible radiation is within Class 1 limits.			
Connectivity	Wi-Fi, Ethernet, and USB			
Ethernet Connectivity	RJ-45 Ethernet (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T) LAN Port Connect with an Ethernet cable (not included); minimum Cat5, or Cat5e or Cat6 for 1000BASE-T.			
Wi-Fi Connectivity	Protocol: IEEE 802.11 b/g/n Frequency: 2.4 GHz, 5 GHz Supported security: WPA/WPA2			
Sound Emission	Does not exceed 70 dB(A).			
Printer Control	Interactive touchscreen			
Resin Fill System	Automated			
Build Volume	145×145×185 mm 5.7×5.7×7.3 in			
Supports	Auto-Generated Removable			

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα των εκτυπώσεων παρουσιάζονται παρακάτω με λεπτομερείς φωτογραφίες για να φανούν όλες οι επιφάνειες. Το πρώτο τακούνι είναι εκτυπωμένο με τρόπο εκτύπωσης FDM και τον εκτυπωτή Zortrax M300+ με χρόνο εκτύπωσης 6 ώρες, κόστος εκτύπωσης 10 ευρώ και ακρίβεια στην αποτύπωση σχεδίου – τελικού αντικειμένου, ενώ στην επιφάνεια εκτύπωσης η λείανση δεν είναι όσο πρέπει και τα layers εκτύπωσης είναι εμφανέστατα, γεγονός που αποτελεί τροχοπέδη στην τελική δημιουργία του αντικειμένου, λόγω έλλειψης ακρίβειας αποτύπωσης στο αντίστοιχο καλούπι.

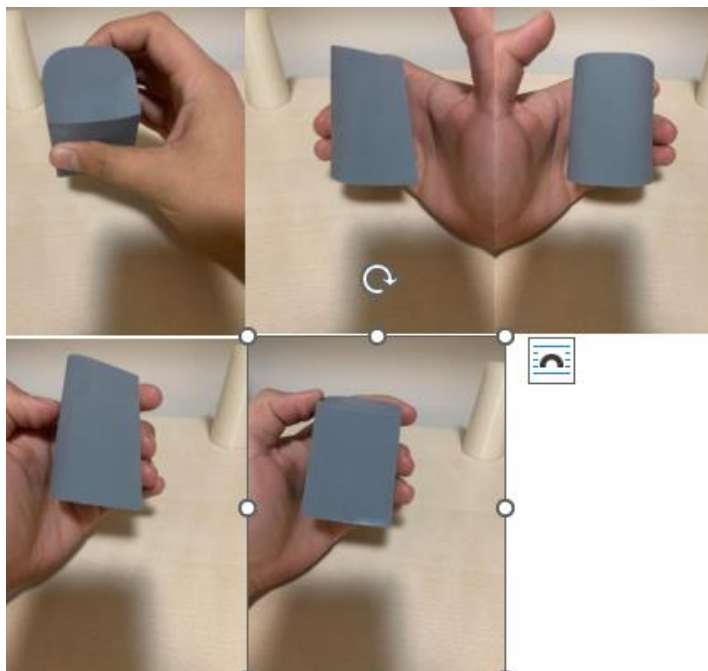
Το δεύτερο τακούνι είναι εκτυπωμένο με τρόπο εκτύπωσης SLA και τον εκτυπωτή Formlabs Form 3+ με χρόνο εκτύπωσης 5 ώρες και κόστος 8 ευρώ. Η ακρίβεια είναι άριστη και η επιφάνεια είναι όσο λεία θα έπρεπε να είναι για την αντίστοιχη αποτύπωση του τακουνιού ως τελικό αντικείμενο.

Η διαφορά που παρατηρείται στο κόστος είναι επειδή το μέγεθος των τακουνιών που εκτυπώθηκαν δεν είναι το ίδιο. Εάν, είχε εκτυπωθεί το ίδιο τακούνι και με τους δυο τρόπους εκτύπωσης ο τρόπος εκτύπωσης SLA θα ήτανε πιο ακριβώς, πιο χρονοβόρος αλλά και πιο ικανός στο να πλησιάσει στην ιδανική εκτύπωση για τις προδιαγραφές που πρέπει να πληροί ένα πρωτότυπο γυναικείο τακούνι.

Εικόνα 1. Εκτύπωση FDM:



Εικόνα 2: Εκτύπωση SLA:





## Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα

Από την παρούσα διπλωματική εργασία, ένα βασικό συμπέρασμα που απορρέει είναι η σημαντικότητα των συστημάτων λογισμικού στην υποστήριξη ολόκληρης της ροής εργασιών (workflow) της AM, από το σχεδιασμό μέχρι και την εκτύπωση του αντικειμένου. Ξεκινώντας τη διαδικασία από το λογισμικό σχεδίασης Siemens NX, είναι εφικτή η προετοιμασία ενός εξαρτήματος για 3D εκτύπωση και η διευθέτηση ορισμένων θεμάτων σχεδιασμού για προσθετική κατασκευή (DFAM). Επιπλέον εργαλεία ή λύσεις που προσφέρονται από το Siemens NX, που αφορούν τον έλεγχο εγκυρότητας σχεδιασμού για AM καθώς και για το πόσο ένα κομμάτι είναι κατάλληλο για εκτύπωση σε μία μηχανή AM ή όχι, θα μπορούσαν να αναφερθούν περαιτέρω, αλλά κάτι τέτοιο δεν έγινε λόγω της περιορισμένης πρόσβασης στη κατάλληλη έκδοση του προγράμματος. Ένα επιπλέον συμπέρασμα που προέκυψε είναι η αδυναμία των αρχείων OBJ, AMF και 3MF σε σύγκριση τα πρότυπα αρχεία STL όσον αφορά την αδυναμία των αρχείων στην περιγραφή της σύνθεσης του υλικού των 3D αντικειμένων κατά την ογκομετρική έννοια.

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας και μέσω της σχεδίασης, εκτύπωσης αλλά και παρουσίασης των παραπάνω αντικειμένων, αναδεικνύονται οι τρόποι με τους οποίους μπορούν να αξιοποιηθούν οι μοναδικές δυνατότητες της AM. Τα πρωτότυπα γυναικεία τακούνια και η δημιουργία τους θεωρείται από την αρχή παρούσας του χώρου της γυναικείας υποδηματοποιίας βασικό συστατικό στην τελική δημιουργία ενός τελικού αντικειμένου, γυναικείου παπουτσιού. Κάποιοι παρατηρητές θα έκανε το σχόλιο ότι, η χειρωνακτική σχεδίαση θεωρείται αντιστρόφως ανάλογη με την τρισδιάστατη σχεδίαση. Η χειρωνακτική σχεδίαση αυτών των πρωτοτύπων θεωρείται πια μία τέχνη που εκλείπει χρόνο με το χρόνο, καθώς η εξέλιξη της τεχνολογίας και των σχεδιαστικών που αφορούν τούτη την τέχνη συνεχώς αναπτύσσεται. Υπάρχουν λεπτομέρειες που δεν μπορούν να σχεδιαστούν στο χέρι αλλά και λεπτομέρειες που με μεγάλη δυσκολία σχεδιάζονται στον υπολογιστή. Το γεγονός αυτό με τα χρόνια θα αλλάξει καθώς έχουνε πια δημιουργηθεί προγράμματα Plugins που προορίζονται μόνο για τον σχεδιασμό τακουνιών. Αυτή την στιγμή, η τρισδιάστατη σχεδίαση και κατόπιν εκτύπωση ενός πρωτοτύπου υπερισχύει σε σύγκριση με την χειρωνακτική διαδικασία, όσον αφορά τον χρόνο σχεδίασης, το κόστος σχεδίασης, το υλικό που δημιουργείται το τελικό πρωτότυπο ακόμα και η επιθυμητή λείανση του.

Το τελικό συμπέρασμα που απορρέει είναι η έκλειψη της χειρωνακτικής τέχνης σχεδίασης πρωτοτύπων γυναικείων τακουνιών. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας και τις μοναδικές δυνατότητες της AM, μπορούν να οδηγήσουν το σχεδιαστικό κομμάτι των πρωτοτύπων γυναικείων τακουνιών σε υψηλό επίπεδο σε συνδυασμό με την απλότητα που μπορούν να προσφέρουν με την εξέλιξή τους.

## Βιβλιογραφία:

- 3D Manufacturing Format*. (n.d.). Ανακτήθηκε από: [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_Manufacturing\\_Format](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_Manufacturing_Format) [Ημερομηνία πρόσβασης: 14/9/2022]
- 3MF Format for 3D Printing: What it is, How to Use it*. (2018). Ανακτήθηκε από: <https://www.digitalengineering247.com/article/3mf-format-for-3d-printing-what-it-is-how-to-use-it> [Ημερομηνία πρόσβασης: 2/8/2022]
- Additive manufacturing file format*. (n.d.). Ανακτήθηκε από: [https://en.wikipedia.org/wiki/Additive\\_manufacturing\\_file\\_format](https://en.wikipedia.org/wiki/Additive_manufacturing_file_format) [Ημερομηνία πρόσβασης: 22/7/2022]
- Design for additive manufacturing*. (n.d.). Ανακτήθηκε από: [https://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_for\\_additive\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Design_for_additive_manufacturing) [Ημερομηνία πρόσβασης: 5/5/2022]
- Lee, K. (2009). *Βασικές αρχές συστημάτων CAD/CAM/CAE* (Κ. Καρανικολός, & Μ. Μικέδης, μετ.). Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος
- Μπιλάλης, Ν., & Μαραβελάκης, Ε. (2014). *Συστήματα CAD/CAM & Τρισδιάστατη Μοντελοποίηση*. Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική
- Multi-material 3D printing*. Ανακτήθηκε από: [https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-material\\_3D\\_printing](https://en.wikipedia.org/wiki/Multi-material_3D_printing) [Ημερομηνία πρόσβασης: 8/6/2022]
- Qin, Y., Qi, Q., Scott, P. J. & Jiang, X. (2019). Status, comparison, and future of the representations of additive manufacturing data. *Computer-Aided Design*, 111, 44-64. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2019.02.004>
- STL (file format)*. (n.d.). Ανακτήθηκε από: [https://en.wikipedia.org/wiki/STL\\_\(file\\_format\)](https://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format)) [Ημερομηνία πρόσβασης: 20/12/2020]
- Tao, W. & Leu, M. C. (2016). *Design of lattice structure for additive manufacturing. 2016 International Symposium on Flexible Automation (ISFA), 1-3 Αυγούστου 2016* (σελ. 325-332), Cleveland, OH, USA. <https://doi.org/10.1109/ISFA.2016.7790182>
- Yang, S., Tang, Y. & Zhao, Y. F. (2015). A new part consolidation method to embrace the design freedom of additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, 20, 444-449. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.06.024>