



Πολυτεχνείο
Κρήτης

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας:

Κατασκευή Αθλητικών Υποδημάτων με Ταχεία Πρωτοτυποποίηση (με τη μέθοδο της Τρισδιάστατης Εκτύπωσης)

Φοιτητής:

Πετράκης Κωνσταντίνος

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής Νικόλαος Μπιλάλης (Επιβλέπων)

Καθηγητής Αριστομένης Αντωνιάδης

Καθηγητής Γεώργιος Σταυρουλάκης

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Μπιλάλη για τις πολύτιμες συμβουλές του, τον κ. Κουλουριδάκη για την καθοδήγηση και τη βοήθεια που μου προσέφερε, την οικογένειά μου και όλους όσους μου συμπαραστάθηκαν.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το σχεδιασμό της εξωτερικής σόλας ενός υποδήματος αντισφαίρισης χρησιμοποιώντας λογισμικό CAD (Creo 2.0 Parametric) και την ακόλουθη ταχεία πρωτοτυποποίηση του σχεδιασμένου μοντέλου με τη βοήθεια τρισδιάστατου εκτυπωτή (Ultimaker Original) ο οποίος χρησιμοποιεί τη μέθοδο Fused Filament Fabrication (FFF).

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής, εκτός από το σχεδιασμό και την εκτύπωση, είναι η εισαγωγή του αναγνώστη σε μια καινοτόμα διαδικασία της ταχείας πρωτοτυποποίησης υποδημάτων, που ειδικεύεται σε αθλητικά υποδήματα αντισφαίρισης.

Συγκεκριμένα, το πρώτο κεφάλαιο περιλαμβάνει μια ιστορική αναδρομή στο σχεδιασμό και την κατασκευή των αθλητικών υποδημάτων καθώς και τις νέες προσεγγίσεις της διαδικασίας, παράλληλα με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιγράφει τη δομή ενός αθλητικού παπουτσιού, αναλύοντας τα μέρη από τα οποία αποτελείται. Επίσης παρουσιάζει τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που ποικίλουν σε κάθε είδος παπουτσιού, ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε αθλήματος ή δραστηριότητας.

Το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανάλυση των ιδιοτήτων ενός υποδήματος αντισφαίρισης, καθώς περιλαμβάνει αναλυτική περιγραφή για τα μέρη από τα οποία αποτελείται και τους σκοπούς που αυτά εξυπηρετούν. Επιπροσθέτως, αναφέρονται οι παράμετροι με βάση τους οποίους κατηγοριοποιούνται τα υποδήματα αυτά και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν οι αθλητικές εταιρείες στη σύγχρονη εποχή.

Στη συνέχεια, το τέταρτο κεφάλαιο ασχολείται με την παραδοσιακή μέθοδο κατασκευής υποδημάτων συγκρίνοντας την με την καινοτόμα μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους, αναφέροντας τα πλεονεκτήματα της τελευταίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στη σχεδίαση όσο και στην πρωτοτυποποίηση μιας τρισδιάστατα εκτυπωμένης εξωτερικής σόλας υποδήματος αντισφαίρισης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής, συνοψίζοντας ολόκληρη τη διαδικασία και εξετάζοντας τα περιθώρια βελτίωσης που υπάρχουν.

Abstract

This present thesis is mainly concerned with the designing of a tennis shoe sole, using CAD software (PTC Creo Parametric 2.0), and subsequently, the prototyping of the designed model with the assistance of a three-dimensional printer device (Ultimaker Original) that uses the fused filament fabrication method (FFF).

The aim of this thesis, besides designing and printing, is to introduce the reader to a much more innovative aspect of the footwear prototyping process, specializing in tennis sports shoes.

In more detail, the first chapter of this thesis provides an introduction to sports shoes, followed by a historical account of their designing and making through the years, as well as an overview of the development of the different approaches to the process, alongside the evolution of technology.

The thesis' second chapter describes the basic structure of a sports shoe, analyzing the parts that it consists of. It also presents the special features that vary from one sport shoe to another, depending on the needs of each specific sport/activity.

The third chapter is mostly focused on the analysis of tennis shoes' characteristics in particular. More specifically, it includes an analytical description of the components of the structure and the purpose that these serve. In addition, there is particular reference to the parameters that contribute to the categorization of tennis shoes and the various footwear technologies that manufacturing companies use in the modern era.

Furthermore, the fourth chapter elaborates on the conventional manufacturing techniques, as well as the innovative prototyping procedures, all used in the making of sports shoes soles, probing advantages and drawbacks of each method and comparing them.

The fifth chapter refers to the methods used in both the actual designing and the prototyping part of the construction of an example of a 3D-printed tennis shoe sole and the technical difficulties that occurred.

The sixth and final chapter concludes the Thesis, presenting all conclusions reached and results found. More precisely, it reviews the whole procedure and it examines any potential for improvement.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	7
1.1 Αναδρομή στην ιστορία του αθλητικού υποδήματος	7
2. Δομή και μέρη αθλητικού υποδήματος	11
2.1 Η εξωτερική σόλα	11
2.1.1 Πρόσθια ζώνη	12
2.1.2 Μέση ζώνη (ισθμός)	12
2.1.3 Οπίσθια ζώνη	12
2.2 Η ενδιάμεση σόλα	13
2.3 Η εσωτερική σόλα	13
2.4 Το άνω τμήμα	13
2.4.1 Η γλώσσα	13
2.4.2 Τα κορδόνια	14
2.4.3 Το περιπτέρνιο	14
2.4.4 Η καμάρα	14
2.5 Κατηγορίες αθλητικών υποδημάτων	14
2.5.1 Αθλητικά υποδήματα τρεξίματος	15
2.5.2 Αθλητικά υποδήματα στίβου	16
2.5.3 Ποδοσφαιρικά υποδήματα	16
2.5.4 Υποδήματα καλαθοσφαίρισης	17
2.5.5 Υποδήματα για γκολφ	18
3. Αθλητικά υποδήματα αντισφαίρισης	19
3.1 Ιστορική αναδρομή υποδημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην αντισφαίριση	19
3.2 Εισαγωγή στο αθλητικό υπόδημα αντισφαίρισης	22
3.3 Δομή υποδήματος αντισφαίρισης και τεχνολογίες που Χρησιμοποιούνται	24
3.3.1 Άνω τμήμα (Upper body)	24
3.3.2 Η σόλα	27
3.3.2.1 Η εσωτερική σόλα (Insole)	27
3.3.2.2 Η ενδιάμεση σόλα (Midsole)	28
3.3.2.3 Η εξωτερική σόλα (Outsole)	30
3.3.2.4 Σημαντικότερα μέρη εξωτερικής σόλας	31

3.3.3	Χαρακτηριστικά υποδήματος ανάλογα με τον τρόπο Παιχνιδιού	35
3.3.4	Χαρακτηριστικά υποδήματος ανάλογα με την επιφάνεια Γηπέδου	36
3.3.4.1	Υποδήματα για σκληρή επιφάνεια (Hard court)	36
3.3.4.2	Υποδήματα για χωμάτινη επιφάνεια (Clay court)	37
3.3.4.3	Υποδήματα για επιφάνεια από γρασίδι (Grass court)	38
3.3.4.4	Υποδήματα για επιφάνεια μοκέτας (Carpet court)	39
3.3.4.5	Υποδήματα για όλες τις επιφάνειες (All court)	39
3.3.5	Μερικά χαρακτηριστικά ενός ποιοτικού υποδήματος	40
4.	Μέθοδος κλασσικής κατασκευής εξωτερικής σόλας αθλητικών υποδημάτων και τρισδιάστατη εκτύπωση	42
4.1	Η κλασσική κατασκευή της σόλας υποδημάτων	42
4.1.1	Διαδικασία κατασκευής της σόλας	42
4.2	Κατασκευή της σόλας με τρισδιάστατη εκτύπωση	44
4.2.1	Ορισμός τρισδιάστατης εκτύπωσης	44
4.2.2	Τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης εταιρειών αθλητικού εξοπλισμού	46
4.3	Τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης	49
4.3.1	Γενικά πλεονεκτήματα στη δημιουργία ενός πρωτότυπου με τρισδιάστατη εκτύπωση	49
4.3.2	Ειδικά πλεονεκτήματα στην απευθείας παραγωγή προϊόντων με τρισδιάστατη εκτύπωση	51
5.	Σχεδίαση και τρισδιάστατη εκτύπωση της εξωτερικής σόλας υποδήματος αντισφαίρισης	54
5.1	Σχεδίαση της εξωτερικής σόλας	55
5.2	Τρισδιάστατη εκτύπωση της εξωτερικής σόλας	73
5.2.1	Προετοιμασία της εκτύπωσης	75
5.2.2	Δοκιμαστικές εκτυπώσεις	82
5.2.3	Προβλήματα που προέκυψαν κατά τις εκτυπώσεις	83
5.2.4	Η διαδικασία της εκτύπωσης	85
6.	Συμπεράσματα	93
7.	Βιβλιογραφία	94

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος «αθλητικό παπούτσι» περιγράφει ένα είδος υποδημάτων, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να εξυπηρετεί συγκεκριμένους σκοπούς όπως η άθληση, διάφορες μορφές φυσικής άσκησης ή και απλές καθημερινές δραστηριότητες. Το αθλητικό παπούτσι γενικότερα, αποτελείται από μια εύκαμπτη σόλα, κατασκευασμένη από καουτσούκ ή και άλλα συνθετικά υλικά, και το άνω μέρος, που φτιάχνεται κυρίως από δέρμα.

1.1 Αναδρομή στην ιστορία του αθλητικού υποδήματος

Η χρήση του αθλητικού παπουτσιού σε καθημερινή βάση ξεκίνησε από τις αρχές του 20ού αιώνα. Βασικό ρόλο στην προώθησή του, είχε η βιομηχανική επανάσταση και οι νέες μέθοδοι εργασίας, (γραμμή παραγωγής – εργοστάσια), σε συνδυασμό με την χρησιμοποίηση νέων υλικών που αυτή επέφερε, κάνοντας εφικτή τη μαζική κατασκευή οικονομικών παπουτσιών. Τα πρώτα αθλητικά παπούτσια κατασκευάστηκαν από πανί και λάστιχο, τα οποία έως το 1950 ήταν από τις βασικές προτιμήσεις πολλών ανθρώπων και κυρίως εφήβων.

Η ίδρυση εταιρειών που εξειδικεύτηκαν στην κατασκευή αθλητικών παπουτσιών ξεκίνησε με πρωτοστάτη την Goodyear, γνωστή αμερικάνικη εταιρεία κατασκευής ελαστικών, η οποία παρήγαγε πάνινα παπούτσια με βάση το κατεργασμένο λάστιχο. Ύστερα από αρκετές δοκιμές, το 1892 εισήγαγε στην αγορά την **Keds**. Από τότε άρχισε ουσιαστικά η συγκρότηση εταιρειών που ασχολήθηκαν αποκλειστικά με την παραγωγή αθλητικών παπουτσιών. Τότε ο διαφημιστής Henry McKinney, προώθησε τον όρο «sneakers» που από τότε και στο εξής θα ακολουθεί την ονομασία των αθλητικών παπουτσιών.

Πιο συγκεκριμένα, το 1895 ιδρύθηκε στο Μπόλτον της Αγγλίας η εταιρεία Reebok (αρχικά ως J.W. Foster and Sons) παίρνοντας το 1958 το όνομα με το οποίο παραμένει γνωστή έως και σήμερα.

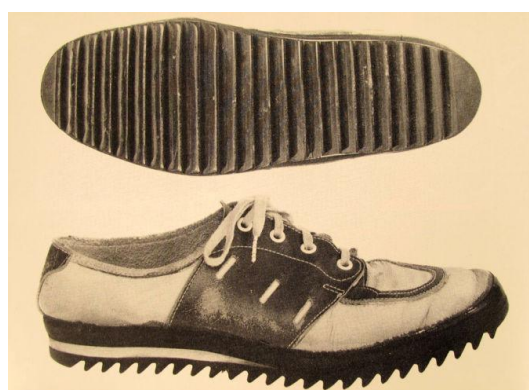
Το 1906, ο βρετανός William J. Riley, ίδρυσε την New Balance Arch Support Company, η οποία κατασκεύαζε υποστηρικτικές αψίδες και άλλα αξεσουάρ σχεδιασμένα να βελτιώσουν τη φόρμα του παπουτσιού, στη Βοστώνη της Μασαχουσέτης. Η εταιρεία συνέχισε να παράγει κυρίως υποστηρικτικές αψίδες ως το 1961, όταν και σχεδίασε το «**Trackster**», το πρώτο παπούτσι τρεξίματος παγκοσμίως με κυματοειδή σόλα το οποίο έγινε η βασική επιλογή των αθλητών του

στίβου και οδήγησε στην αυξανόμενη φήμη της New Balance για την κατασκευή καινοτόμων και εξειδικευμένων υποδημάτων.

Στη συνέχεια, το 1908, ο Marquis M. Converse ίδρυσε την εταιρεία παπουτσιών Converse, προωθώντας το 1917, τα πρώτα εξειδικευμένα παπούτσια για την καλαθοσφαίριση, τα **Converse All Star**. Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί το πιο διαδεδομένο αθλητικό παπούτσι, έχοντας καταγράψει πάνω από 750.000.000 πωλήσεις σε 144 χώρες.



Εικόνα 1.1 διαφήμιση KEDS



Εικόνα 1.2 New Balance Tracksters



Εικόνα 1.3 Τα πρώτα Converse All Star

Το 1920, ο Adi Dassler ξεκίνησε τη παραγωγή χειροποίητων αθλητικών παπουτσιών στην αποθήκη του σπιτιού του και μαζί με τον αδελφό του και άλλα 50 μέλη της οικογένειας ίδρυσε το 1924 την Adidas, η οποία κατασκεύασε το πρώτο εξειδικευμένο παπούτσι για τένις το 1931. Το 1948 βέβαια, ο αδερφός του Adi,

Rudolf Dassler, ίδρυσε την Puma Schuhfabrik, η οποία ήταν η πρώτη εταιρεία παπουτσιών που παρήγαγε ποδοσφαιρικά παπούτσια.

Η ASICS Ltd. (που πήρε το τελικό όνομά της το 1977), ξεκίνησε με το όνομα Onitsuka Co. Ltd το 1949. Ο ιδρυτής της, Kihachiro Onitsuka, άρχισε να παράγει παπούτσια για καλαθοσφαίριση στο Kobe της Ιαπωνίας. Η Onitsuka έγινε γνωστή για το σχέδιο **Mexico 66**, στο οποίο σχεδιάστηκαν για πρώτη φορά οι διακριτές κάθετες λωρίδες, που έχουν πλέον ταυτιστεί με το εμπορικό σήμα της εταιρείας.

Το 1962 ο Phil Knight και ο Bill Bowerman ίδρυσαν την Blue Ribbon Sports (BRS), η οποία είχε σαν στόχο την παραγωγή οικονομικών αθλητικών παπουτσιών με ενισχυμένη τεχνολογία. Το 1968 η BRS μετονομάστηκε σε Nike και το 1971 κατοχύρωσε το σήμα της. Το 1972 προωθεί το κλασσικό πλέον μοντέλο της **Nike Waffle Racer** το οποίο τυγχάνει να το χρησιμοποιούν οι τέσσερις από τους δέκα καλύτερους δρομείς στους ολυμπιακούς αγώνες του ίδιου έτους. Στη συνέχεια, η Nike προώθησε στην αγορά το πρώτο παπούτσι με «αερόσολα», το **Nike Tailwind (AIR)** (1979) και συνέχισε να καινοτομεί για πολλά χρόνια. Αποτέλεσε επανάσταση για την εποχή και σταθμό στην βιομηχανία κατασκευής αθλητικών υποδημάτων, διότι ο πεπιεσμένος αέρας που περιείχε σε ειδικές κυψέλες σε κάποια επιλεγμένα σημεία της σόλας συμπιεζόταν κατά την επαναφορά στο έδαφος μετά από το κάθε άλμα και απορροφούσε την ενέργεια της προσγείωσης επιβαρύνοντας στο λιγότερο δυνατό τα άκρα. Το 2003 η εταιρεία Converse (που αναφέρθηκε παραπάνω) εξαγοράστηκε από την Nike.



Εικόνα 1.4 Nike Tailwind Air 1979



Εικόνα 1.5 Asics Mexico 66

Το 1993, η εταιρεία AND1 ξεκίνησε από τους Seth Berger, Jay Coen Gilbert and Tom Austin όταν αυτοί ήταν απόφοιτοι στο Πανεπιστήμιο της Pennsylvania, και αποτέλεσε μία από τις πιο διαδομένες εταιρείες με εξειδίκευση στα παπούτσια καλαθοσφαίρισης. Στα μέσα του 1996, ο σταρ του NBA Stephan Marbury έγινε ο πρώτος εκπρόσωπος για την AND1 και έδωσε το δικό του όνομα σε μοντέλο παπουτσιού που ονομαζόταν «**Starbury**».

Οι νέες τεχνολογίες και η πρόοδος των ηλεκτρονικών υπολογιστών συνέβαλε σε μέγιστο βαθμό στην εξέλιξη των αθλητικών παπουτσιών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα **Nike Shox** που κυκλοφόρησαν το 2001, όπου το πίσω μέρος του παπουτσιού στηρίζεται σε πυλώνες οι οποίοι με το κατάλληλο υλικό τους (αφρός - συνδυασμός υγρού και αερίου) επιφέρουν θεαματικά αποτελέσματα στον χρήστη, καθώς και η εισαγωγή ηλεκτρονικού υπολογιστή στη σόλα, με σκοπό τη συλλογή χρήσιμων πληροφοριών για τον αθλητή, από την Adidas, το 1998.



Εικόνα 1.6 and1 Starbury



Εικόνα 1.7 Nike Shox 2001

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΜΕΡΗ ΑΘΛΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ

Τα απλά πάνινα υποδήματα με την σόλα από καουτσούκ, που αποτέλεσαν και τα πρώτα αθλητικά παπούτσια στις αρχές του περασμένου αιώνα, εξελίχθηκαν με την πάροδο του χρόνου και με τη βοήθεια της τεχνολογίας, σε περισσότερο πολύπλοκα μοντέλα, ώστε να ικανοποιούν το σύγχρονο τρόπο ζωής και τις νέες ανάγκες που εμφανίστηκαν, με τη σειρά τους, στα αθλήματα αλλά και στη φυσική άσκηση. Παρ' όλα αυτά, η βασική τους δομή παραμένει η ίδια και αποτελείται από τα παρακάτω μέρη.



Εικόνα 2.1 Τα μέρη του υποδήματος

2.1 Η εξωτερική σόλα

Είναι το μέρος του παπουτσιού που έρχεται σε απ' ευθείας επαφή με το έδαφος και αποτελεί το πιο σκληρό κομμάτι του. Το υλικό από το οποίο συνήθως φτιάχνεται είναι το ανθρακούχο λάστιχο ή κάποιο άλλο υλικό παρόμοιας φύσεως για να αποφεύγεται η ολίσθηση και η φθορά. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μορφές εξωτερικής σόλας, η καθεμία με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (εσοχές, εξοχές, διαφορετικό πάχος ενίσχυσης σε κάθε σημείο) ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζονται.

Στην εξωτερική σόλα συναντάμε τρεις λειτουργικές ζώνες: την πρόσθια, τη μέση (ισθμός) και την οπίσθια.

2.1.1 Πρόσθια Ζώνη

Η πρόσθια ζώνη έχει μεγαλύτερο πάχος από τη μέση και είναι σχεδιασμένη να προσδίδει μεγαλύτερη κινητική ενέργεια στο πρόσθιο μέρος του ποδιού, χωρίς απώλειες σε τριβές. Είναι ιδιαίτερα ενισχυμένη στα αθλητικά υποδήματα της αντισφαίρισης (τένις), της χειροσφαίρισης (Handball) και της καλαθοσφαίρισης (Basketball). Στο σημείο που αντιστοιχεί στα σησαμοειδή οστά της 1ης μεταταρσιοφαλαγγικής άρθρωσης (λίγο πιο πίσω από τη βάση του μεγάλου δακτύλου) υπάρχει ειδική διαμόρφωση στη σόλα (συνήθως κυκλική) που ονομάζεται κέντρο περιστροφής του υποδήματος.

2.1.2 Μέση ζώνη (ισθμός)

Η μέση ζώνη (ισθμός), έχει συνήθως μικρότερο πάχος από την οπίσθια και την πρόσθια. Το βασικό χαρακτηριστικό στο σχεδιασμό της είναι ότι έχει υψηλή στρεπτική ακαμψία. Αυτό σημαίνει ότι αντιστέκεται στις στροφικές δυνάμεις που τείνουν να παραμορφώσουν το υπόδημα είτε κατά τον επιμήκη, είτε κατά τον εγκάρσιο άξονά του. Βασικός στόχος στη σχεδίαση και την κατασκευή της μέσης ζώνης είναι να μεγιστοποιηθεί η ενέργεια που επιστρέφει στον αθλητή (ανάκρουση) ταυτόχρονα με την ελαχιστοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται από αυτόν. Οι μέγιστες τιμές της ενέργειας που αποθηκεύονται στα αθλητικά υποδήματα έχει υπολογισθεί ότι είναι της τάξης των 10 Joules. Από την αποθηκευμένη αυτή ενέργεια επιστρέφει στον αθλητή μόνο το 30% ενώ το υπόλοιπο χάνεται στη μέση σόλα. Σημειώνεται επίσης ότι ανάλογα με την κίνηση που επιτελείται η ενέργεια μπορεί να επιστρέφει στον αθλητή τη λάθος χρονική στιγμή, με λάθος συχνότητα και λάθος σημειακή εστίαση ή κατεύθυνση. Η βελτίωση της τεχνικής του αθλητή πάνω στη συγκεκριμένη κίνηση σε συνδυασμό με τη χρήση του εξειδικευμένου αθλητικού παπουτσιού μπορεί να μεγιστοποιήσει το ποσό της ανακλώμενης ενέργειας χωρίς να καταπονείται το κάτω άκρο.

2.1.3 Οπίσθια ζώνη

Η οπίσθια ζώνη (τακούνι), έχει συνήθως το μεγαλύτερο πάχος διότι δέχεται μεγάλες δυνάμεις. Για παράδειγμα οι δυνάμεις πρόσκρουσης που αντιμετωπίζει η πτέρνα, στην περίπτωση δρομέων ή άλλων αθλητών τρεξίματος, είναι εξαιρετικά μεγάλες. Η σχεδίαση και η κατασκευή της εξωτερικής σόλας και ειδικότερα η γεωμετρία της έξω πλευράς του οπίσθιου άκρου του υποδήματος παίζουν σημαντικό ρόλο στην ομαλή λειτουργία του πρηνισμού που είναι επακόλουθο της επαφής της πτέρνας στο έδαφος.

2.2 Η ενδιάμεση σόλα

Αποτελεί το σημαντικότερο σημείο του αθλητικού παπουτσιού, καθώς είναι το κομμάτι που συνδέει την εξωτερική σόλα με το άνω τμήμα. Κατασκευάζεται συνήθως από ελαστικό υλικό, όπως αιθυλενικό οξικό βινύλιο ή πολυουρεθάνη ή air-gel (ζελατίνη με φυσαλίδες) ή άλλα πλαστικά υλικά υψηλής τεχνολογίας. Τις περισσότερες φορές, το υλικό είναι διπλής πυκνότητας και το δυνατότερο υλικό τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά, ώστε να περιορίζει την κλίση του ποδιού προς τα μέσα (πρηνισμός). Το συγκεκριμένο κομμάτι του παπουτσιού παίζει σημαντικό ρόλο στην σταθερότητα της βάδισης και αποτελεί απορροφητικό στρώμα για τους κραδασμούς που μπορεί να υπόκειται το πόδι του χρήστη. Το σημείο που ενσωματώνει πολλά υλικά απορρόφησης (κυψέλες πεπιεσμένου αέρα, αφρώδεις ζελατίνες με φυσαλίδες κ.ά.) είναι το σημείο της πτέρνας καθώς εκεί ασκούνται και οι υψηλότερες δυνάμεις. Ανάλογα με την κατασκευή της ενδιάμεσης σόλας του υποδήματος και ιδιαίτερα της οπίσθιας ζώνης του, ανάλογη είναι και η ένταση με την οποία ενεργοποιούνται οι μύες των κάτω άκρων προκειμένου να απορροφήσουν τις προσκρούσεις.

2.3 Η εσωτερική σόλα

Είναι κατασκευασμένη από νέα ανθεκτικά, αφρώδη και ελαφρά υλικά που επιτρέπουν την καλύτερη προσαρμογή και σταθεροποίηση του ποδιού μέσα στο υπόδημα. Συνήθως στα σύγχρονα αθλητικά παπούτσια, η εσωτερική σόλα είναι πλήρως αποσπώμενη ώστε να μπορεί να αντικαθίσταται από άλλη εξατομικευμένη.

2.4 Το άνω τμήμα

Μπορεί να φτιάχνεται από δέρμα, suede, πανί ή ακόμα και από κάποιο συνθετικό υλικό που είναι ελαφρύ, ώστε να αφήνει το παπούτσι να «αναπνέει» και να μειώνει την θερμότητα στο εσωτερικό. Το άνω μέρος συνδέεται με την ενδιάμεση σόλα και προστατεύει το άνω τμήμα του ποδιού. Το στόμιο του υποδήματος που περιβάλλει την περιοχή των αστραγάλων είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να παρέχει επαρκή σταθερότητα στην ποδοκνημική άρθρωση και να αποφεύγονται τα διαστρέμματα. Το άνω τμήμα, αποτελείται από τα παρακάτω επί μέρους τμήματα.

2.4.1 Η γλώσσα

Έχει κάποια φόδρα, που προστατεύει την κορυφή του ποδιού από την πίεση των κορδονιών.

2.4.2 Τα κορδόνια

Τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει σημαντικά και η σχεδίαση των κορδονιών που από τετραγωνισμένα επιμήκη έχουν γίνει στρογγυλά-κυλινδρικά, ενώ οι υποδοχές τους δεν είναι πλέον εμφανείς. Η σχεδίαση αυτή επιτρέπει την καλύτερη σταθεροποίηση του υποδήματος στο κάτω άκρο, χωρίς να υπάρχουν σημεία ιδιαίτερης πίεσης στην άνω επιφάνεια του ποδιού, όπως συνέβαινε με τα παλαιότερα κορδόνια που παρεμπόδιζαν την κυκλοφορία του αίματος της περιοχής.

2.4.3 Το περιπτέρνιο

Είναι ο χώρος του υποδήματος που υποδέχεται την πτέρνα και μέρος του αστραγάλου. Το συγκεκριμένο κομμάτι μπορεί κανείς να το παρουσιάσει σαν μια σκληρή θήκη που είναι κολλημένη στο οπίσθιο άνω μέρος. Είναι το πιο άκαμπτο κομμάτι του άνω τμήματος και η σχεδιάσή του παίζει σημαντικότερο ρόλο στην αρχική συγκράτηση σε υπτιασμό του άκρου ποδός κατά την πρόσκρουση. Στο σημείο του Αχίλλειου τένοντα, για να αποφευχθεί η τριβή του με το παπούτσι, συχνά υπάρχει επικάλυψη με μαξιλαράκι.

2.4.4 Η καμάρα (αψίδα).

Τοποθετείται στη μέση της εσωτερικής σόλας και αποτελείται από σκληρό υλικό. Σκοπός της είναι να σταθεροποιήσει ακόμα περισσότερο το πόδι κατά την διάρκεια της βάδισης και να αποφεύγεται ο υπερπρηνισμός (πρηνισμός πέραν του επιτρεπτού ορίου).

2.5 Κατηγορίες αθλητικών υποδημάτων

Τα αθλητικά υποδήματα, στις μέρες μας, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν και συνεπώς τα ειδικά χαρακτηριστικά τους. Η βασική δομή, που περιγράφηκε παραπάνω, τηρείται σε μεγάλο βαθμό στις περισσότερες από αυτές τις κατηγορίες, και τα αθλητικά παπούτσια αποτελούνται σχεδόν από όλα τα παραπάνω μέρη, ανεξάρτητα με τη χρήση τους. Τα ειδικά χαρακτηριστικά, με βάση τα οποία κατηγοριοποιούνται τα υποδήματα, εξαρτώνται από τους παράγοντες που καθορίζουν και την ίδια την αθλητική δραστηριότητα ή την φυσική άσκηση για την οποία έχουν κατασκευαστεί. Τις περισσότερες εμφανείς διαφορές στα χαρακτηριστικά αυτά τις συναντάμε ιδιαίτερα στην εξωτερική σόλα των υποδημάτων (και λιγότερο στο άνω τμήμα τους) καθώς το έδαφος ή η επιφάνεια όπου πραγματοποιείται η δραστηριότητα αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για την επιλογή των χαρακτηριστικών που θα συνοδεύσουν την κατασκευή τους. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι οι τρόποι και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε κάθε άθλημα, και πιο συγκεκριμένα οι δυνάμεις στις οποίες υποβάλλεται το ανθρώπινο σώμα σε διάφορα σημεία, κατά τη διάρκεια της

κάθε άσκησης. Για παράδειγμα η αεροβική απαιτεί ελαφρά υποδήματα που προσφέρουν όμως μεγάλη απορρόφηση κραδασμών, ενώ για τα ομαδικά αθλήματα που πραγματοποιούνται σε περιορισμένο χώρο και απαιτούνται συχνές και απότομες εναλλαγές της κατεύθυνσης, προτιμώνται υποδήματα που προσφέρουν πλάγια σταθερότητα στην ποδοκνημική άρθρωση. Επίσης λαμβάνονται υπόψη και παράμετροι όπως η φθορά και οι συνθήκες στο περιβάλλον που πραγματοποιείται το άθλημα.

Ακολουθούν μερικά παραδείγματα αθλητικών υποδημάτων που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες διαδεδομένες αθλητικές δραστηριότητες.

2.5.1 Αθλητικά Υποδήματα Τρεξίματος (Running Shoes)

Με τον όρο «παπούτσια τρεξίματος» ή αλλιώς «Running Shoes» αναφερόμαστε στα πιο συνηθισμένα είδη αθλητικών παπουτσιών. Η βασικός σκοπός που εξυπηρετούν είναι το τρέξιμο, συνδυάζοντας όμως ένα μείγμα πολλών χαρακτηριστικών είναι ικανά να χρησιμοποιηθούν για τις περισσότερες αθλητικές δραστηριότητες. Ή εξωτερική σόλα συνήθως είναι φτιαγμένη από κατεργασμένο λάστιχο περιέχοντας τεχνικές απορρόφησης κραδασμών (κυψέλες πεπιεσμένου αέρα, ζελατίνες κ.τ.λ.) και συνιστάται να είναι αρκετά εύκαμπτη. Το εσωτερικό τους είναι αρκετά μαλακό, ώστε το πόδι να μην επιβαρύνεται μετά από πολύωρη άσκηση και ο αστράγαλος προστατεύεται περιμετρικά. Η περιοχή της φτέρνας καλύπτεται από πρόσθετη ενίσχυση, καθώς πρόκειται για το σημείο που δέχεται τις περισσότερες δυνάμεις κατά τη δραστηριότητα του τρεξίματος και το συνολικό τους βάρος, στα πιο ποιοτικά μοντέλα, προτιμάται να είναι ελαφρύ. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ανοιχτούς χώρους (γρασίδι, άμμος, ανώμαλος δρόμος, άσφαλτος) αλλά και σε κλειστούς (μοκέτα, παρκέ κ.τ.λ.) για πλήθος αθλητικών και καθημερινών δραστηριοτήτων, γεγονός που τα καθιστά αθλητικά υποδήματα μαζικής παραγωγής.



Εικόνα 2.2 Asics Running Shoes

2.5.2 Αθλητικά Υποδήματα Στίβου (Spikes)

Οι αθλητές του στίβου χρησιμοποιούν παπούτσια τα οποία έχουν πολύ λεπτό πάχος και είναι ιδιαίτερα χαμηλά στην περιοχή του αστραγάλου ώστε να του παρέχουν περισσότερη ελευθερία στις κινήσεις. Η προστασία από τους κραδασμούς, όταν η φτέρνα χτυπάει στο έδαφος, αλλά και η σταθερότητα προέρχονται από την ενδιάμεση σόλα και την καμάρα, και έχουν ως αποτέλεσμα την αίσθηση λιγότερης κόπωσης στα γόνατα, στη μέση και στην πλάτη. Το βασικό χαρακτηριστικό τους είναι τα λεγόμενα «καρφιά» (track spikes) τα οποία είναι μυτερές προεξοχές συνήθως κατασκευασμένες από μέταλλο, κεραμικό ή πλαστικό που βιδώνονται στο μπροστινό κάτω μέρος των παπουτσιών (το οποίο είναι ανασηκωμένο) για να αυξήσουν την πρόσφυση στην επιφάνεια του στίβου (ταρτάν) και να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα ολίσθησης.



Εικόνα 2.3 Adidas Spike Shoes

2.5.3 Ποδοσφαιρικά Υποδήματα

Τα ποδοσφαιρικά παπούτσια έχουν πολλές ομοιότητες με τα παπούτσια που χρησιμοποιούνται στο στίβο, ειδικά στο άνω τμήμα τους. Είναι πολύ σημαντικό να μην καλύπτεται ο αστράγαλος που έχει τεράστιο ρόλο στον τρόπο παιχνιδιού. Στη σύγχρονη εποχή, βασικός στόχος στην κατασκευή τους, είναι η ελαχιστοποίηση των πολλαπλών επιφανειών στο άνω τμήμα (που φτιάχνεται συνήθως από δέρμα και πλέον με προσμίξεις από διάφορα πολυεστερικά υλικά και gels) ώστε να είναι όσο περισσότερο λείο γίνεται και η επαφή του ποδιού με την μπάλα να είναι άμεση. Στο κάτω μέρος της εξωτερικής σόλας βιδώνονται (ή σε κάποια μοντέλα είναι μέρος της κατασκευής) ειδικές «τάπες» ή καρφιά, δηλαδή προεξοχές που παρέχουν επιπλέον έλξη σε μια μαλακή ή ολισθηρή επιφάνεια, όπως το γρασίδι. Τα καρφιά συνήθως κατασκευάζονται από τρία υλικά - πλαστικό, ελαστικό ή μέταλλο. Υπάρχουν τρεις

τύποι καρφιών: τα κωνικά καρφιά, τα οποία παρέχουν μεγαλύτερη σταθερότητα, τα λογχοειδή καρφιά, τα οποία μπορούν να δώσουν περισσότερη πρόσφυση και την ταχύτητα, και τα καρφιά σκληρού εδάφους για πιο σταθερές επιφάνειες. Οι σόλες των παπουτσιών ποδοσφαίρου προσφέρουν μέτρια ευελιξία και απορρόφηση των κραδασμών.



Εικόνα 2.4 Adidas Soccer Boots

2.5.4 Υποδήματα καλαθοσφαίρισης

Τα παπούτσια καλαθοσφαίρισης, χαρακτηρίζονται από τον μεγάλο όγκο τους (συγκριτικά με τα είδη που προαναφέρθηκαν). Βασικά χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής: Η ενισχυμένη σόλα, εξωτερικά από σκληρό κατεργασμένο λάστιχο, για να μην υπάρχει ολίσθηση στο παρκέ και εσωτερικά με κυψέλες πεπιεσμένου αέρα, gel, ή αφρώδεις περιοχές που ενισχύουν το άλμα του αθλητή και ακολούθως περιορίζουν την καταπόνηση και τους κραδασμούς κατά την προσγείωση. Η περιοχή γύρω από τον αστράγαλο έχει μεγάλο πάχος και καλύπτει το πόδι μέχρι και την αρχή της περιοχής της ποδοκνημικής, παρέχοντας προστασία από τα διαστρέμματα.



Εικόνα 2.5 Nike Basketball Shoes

2.5.5 Υποδήματα για Γκολφ

Οι σόλες των υποδημάτων γκολφ έχουν ελάχιστη απορρόφηση των κραδασμών και ελάχιστη ευελιξία σε σύγκριση με του μπάσκετ ή τα παραδοσιακά παπούτσια γυμναστήριου. Είναι διαθέσιμα με μεταλλικές ακίδες, μαλακές ακίδες ή χωρίς ακίδες στη σόλα. Οι μεταλλικές ακίδες είναι συνήθως αφαιρούμενες και βελτιώνουν τη σταθερότητα και την πρόσφυση σε βρεγμένο ή ανώμαλο έδαφος. Αυτός ο τύπος της αιχμηρής σόλας συχνά απαγορεύεται, καθώς μπορεί να καταστρέψει το χόρτο στα γήπεδα γκολφ. Οι μαλακές αιχμές μπορούν επίσης να αποσπαστούν από τις σόλες και προσφέρουν μέτρια πρόσφυση. Τα παπούτσια γκολφ χωρίς αιχμές έχουν μόνιμα ενσωματωμένα λαστιχένια δοντάκια στις σόλες. Προσφέρουν λίγο περισσότερη πρόσφυση από τα παπούτσια του δρόμου.



Εικόνα 2.6 Χαρακτηριστικά Παπούτσια Golf

ΑΘΛΗΤΙΚΑ ΥΠΟΔΗΜΑΤΑ ΑΝΤΙΣΦΑΙΡΙΣΗΣ (TENNIS FOOTWEAR)

Η αντισφαίριση (τένις), είναι ένα άθλημα στο οποίο απαιτείται η συνεχής κίνηση του μεγαλύτερου μέρους του ανθρώπινου σώματος, ειδικότερα όμως των ποδιών. Για αυτόν το λόγο, τα αθλητικά παπούτσια που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια αυτής της δραστηριότητας, έχουν τεράστιο ρόλο στην αποδοτικότητα του αθλητή, καθώς και στην προστασία του από τυχόν τραυματισμούς και ατυχήματα. Σε γενικές γραμμές, είναι κατασκευασμένα ώστε να κρατούν σταθερό τα πόδια κατά την διάρκεια των γρήγορων μετακινήσεων, να κατανέμουν ομοιόμορφα το βάρος του σώματος, σε ολόκληρη την περιοχή και να επιτρέπουν ταυτόχρονα την ευελιξία του πέλματος. Τα «τενιστικά» παπούτσια, όπως είναι επίσης διαδεδομένα, είναι τις περισσότερες φορές χαμηλά, εμποδίζοντας την πλευρική κίνηση (δεξιά ή αριστερά), δεδομένου ότι το πόδια δέχονται μεγάλες πιέσεις από τα πλάγια. Το εμπρόσθιο τμήμα τους, είναι συνήθως ανασηκωμένο και σκληρό για να προστατεύει τα δάκτυλα. Τέλος, διαχωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο επιφάνειας δαπέδου που έχει το γήπεδο όπου θα χρησιμοποιηθούν.

3.1 Ιστορική Αναδρομή υποδημάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην αντισφαίριση

Από τις αρχές του περασμένου αιώνα, μέχρι και τη δεκαετία του 1960, τα παπούτσια που χρησιμοποιούνταν στο τένις, είχαν πάρα πολλές ομοιότητες με τα κλασσικά αθλητικά υποδήματα εκείνης της εποχής, τα Keds, που αναφέρθηκαν και παραπάνω. Επρόκειτο για παπούτσια κατασκευασμένα από πανί, στα οποία υπήρχε μία λεπτή σόλα από κατεργασμένο λάστιχο, χωρίς όμως να συνοδεύεται από κάποια ιδιαίτερη ενίσχυση.



Εικόνα 3.1 Παλαιά Υποδήματα Τένις

Με την πάροδο των χρόνων, οι ανάγκες του αθλήματος άρχισαν να πληθαίνουν ραγδαία καθώς ο τρόπος παιχνιδιού γινόταν ολοένα και γρηγορότερος, με συνέπεια να αυξάνονται και οι απαιτήσεις σχετικά με τον τρόπο κίνησης του αθλητή. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις νέες μεθόδους κατασκευής υποδημάτων που άρχισαν να χρησιμοποιούνται εκείνη την εποχή, και την εισαγωγή νέων υλικών στη βιομηχανία, είχαν ως αποτέλεσμα την παραγωγή πιο εξελιγμένων υποδημάτων, προς διευκόλυνση των αθλούμενων.

Πολλές διαδεδομένες εταιρείες αθλητικών παπουτσιών, ξεκίνησαν από την δεκαετία του 1970 να φτιάχνουν παπούτσια προσαρμοσμένα στους καλύτερους τενίστες της εποχής, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα Stan Smith της Adidas, που κατασκευάστηκαν το 1971 και πήραν το όνομα τους από τον Αμερικανό πρωταθλητή. Τα Stan Smith, που θεωρούνται τα πρώτα παπούτσια που σχεδιάστηκαν αποκλειστικά για το άθλημα, κατέληξαν να γίνουν ένα από τα πιο γνωστά και εμπορικά παπούτσια στην σύγχρονη ιστορία, καταγράφοντας εκατομμύρια πωλήσεις, ενώ χρησιμοποιούνται έως και σήμερα, ακόμα και για καθημερινές δραστηριότητες.



Εικόνα 3.2 Adidas Stan Smith's

Μετά τον Stan Smith, αρκετοί διάσημοι τενίστες άρχισαν να αποκτούν το «δικό τους» αθλητικό παπούτσι, το οποίο έφερε το όνομα και την υπογραφή τους. Τα ονόματα των Arthur Ashe, Jimmy Connors, John McEnroe, Ivan Lendl, Bjorn Borg και πολλών ακόμα, χρησιμοποιήθηκαν από γνωστές εταιρείες, καθώς ως πρότυπα πολλών αθλητών αποτελούσαν την ιδανική διαφήμιση. Ωφελήθηκαν αρκετά όμως και οι ίδιοι οι αθλητές, αφού τα σύγχρονα, για την εποχή, αθλητικά παπούτσια διευκόλυναν και αναβάθμισαν σε μεγάλο βαθμό τον τρόπο παιχνιδιού τους, ανεβάζοντας τον πήχη της σχεδίασης και κατασκευής «τενιστικών» παπουτσιών.



Εικόνα 3.3 Diadora Bjorn Borg 1981



Εικόνα 3.4 Adidas Ivan Lendl 1984



Εικόνα 3.5 Adidas Stefan Edberg 1986

Τα χρόνια μεταξύ του τέλους της δεκαετίας του 1980 και της αρχής της δεκαετίας του 1990, αποτέλεσαν σταθμό στην ιστορία των αθλητικών παπουτσιών για τένις, καθώς ξεκίνησε η μετάβαση από το απλουστευμένο μοντέλο, στην μορφή που έχει ένα χαρακτηριστικό παπούτσι για τένις στις μέρες μας. Πιο συγκεκριμένα, το πάχος του παπουτσιού αυξήθηκε κατά πολύ με την εισαγωγή μαλακών τοιχωμάτων στο εσωτερικό του και ανέβηκε το ύψος στην περιοχή του αστραγάλου για επιπρόσθετη προστασία και αποφυγή τραυματισμών. Η γλώσσα του παπουτσιού άρχισε να γίνεται πιο μεγάλη και ενισχυμένη για να ελαχιστοποιεί την επαφή του ποδιού με το σημείο που δένονται τα κορδόνια. Επίσης ξεκίνησε η εισαγωγή νέων υλικών,

πέρα από το κλασσικό δέρμα, όπως πλαστικών, gel κ.τ.λ.. Οι πλευρικές ενισχύσεις κατασκευάζονταν ολοένα και πιο σκληρές για την ελαχιστοποίηση της φθοράς, την αύξηση της ανθεκτικότητας και την σταθεροποίηση του ποδιού κατά το πάτημα. Ακόμα, οι σημαντικότερες μεταβολές σχετίζονταν με την εσωτερική και εξωτερική σόλα του υποδήματος, στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν νέα κατεργασμένα υλικά και εισάχθηκαν καινοτόμες τεχνολογίες όπως οι κυψέλες πεπιεσμένου αέρα, αφρώδεις φυσαλίδες κ.τ.λ. που θα αναλυθούν περαιτέρω στα επόμενα κεφάλαια. **Σε αυτό το σημείο, είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί το γεγονός ότι ένας σύγχρονος αθλητής του τένις, θα το έβρισκε πάρα πολύ δύσκολο έως και ακατόρθωτο να αποδώσει χρησιμοποιώντας «τενιστικά» παπούτσια των προηγούμενων δεκαετιών.**



Εικόνα 3.6 Wilson Pro Staff 1990



Εικόνα 3.7 Nike Andre Agassi Shoes 1991

3.2 Εισαγωγή στο αθλητικό υπόδημα αντισφαίρισης

Η αντισφαίριση (τένις) είναι ένα άθλημα που απαιτεί γρήγορες, έντονες και απότομες κινήσεις προς πάσα κατεύθυνση. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν υψηλές δυνάμεις που τείνουν να προκαλέσουν ολίσθηση στο πόδι, προς τα πίσω και προς τα εμπρός, καθώς και από τη μία πλευρά στην άλλη, μέσα στο εσωτερικό του παπουτσιού, αν η προσαρμογή δεν είναι κατάλληλη. Τα αθλητικά παπούτσια που χρησιμοποιούνται στην αντισφαίριση, έχουν πολλές ομοιότητες στην εξωτερική

εμφάνιση αλλά και στη βασική δομή, με τα σύγχρονα αθλητικά παπούτσια γενικής χρήσης (running shoes), με την κύρια διαφορά να βρίσκεται στην, ως επί το πλείστον, επίπεδη σόλα που διαθέτουν. Η κίνηση, όμως, του σώματος κατά τη διάρκεια του παιχνιδιού, δημιουργεί συνεχώς νέες ανάγκες στην κατασκευή τους, αναγκάζοντας τις εταιρείες να επικεντρωθούν στα ειδικά χαρακτηριστικά που συνοδεύουν ένα «τενιστικό παπούτσι» και να αναπτύξουν καινούριες τεχνολογίες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του παπουτσιού και συνεπώς και του ίδιου του αθλήματος.

Σήμερα, τα παπούτσια του τένις αποτελούν ένα τεχνικό στοιχείο του αθλητικού εξοπλισμού, εργονομικά και βιομηχανικά σχεδιασμένα για να χρησιμοποιούνται σε συγκεκριμένες επιφάνειες. Οι παίκτες μπορούν να επιλέξουν τα παπούτσια τους ως προς για την άνεση, το κράτημα, την απορρόφηση των κραδασμών και τη σταθερότητα, με τον ίδιο τρόπο που επιλέγουν τη ρακέτα τους ανάλογα με τα στοιχεία του παιχνιδιού τους.

Ένα ζευγάρι ποιοτικών παπουτσιών του τένις θα πρέπει να προσφέρει ένα συνδυασμό απόδοσης και προστασίας στον παίκτη. Για παράδειγμα, θα πρέπει να ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο του πόνου των άκρων και την εμφάνιση από φουσκάλες, τον πόνο της φτέρνας και τον εγκλωβισμό των ποδιών, προβλήματα που επηρεάζουν αναπόφευκτα την απόδοση του παίκτη.

Οι παράγοντες που μπορούν να διευκολύνουν και να ενισχύσουν την απόδοση του αθλητή περιλαμβάνουν το χαμηλό κέντρο βάρους, την απορρόφηση των κραδασμών, την ευελιξία, τη σταθερότητα και την πρόσφυση (αντίσταση ολίσθησης). Αυτά όλα αποτελούν βιομηχανικούς παράγοντες που αυξάνουν την αποδοτικότητα του αθλητή, με την προϋπόθεση να συνδυαστούν τα ατομικά του χαρακτηριστικά με την καθεμία επιφάνεια. Έχουν διεξήχθη πολλές επιστημονικές μελέτες σχετικά με την αλληλεπίδραση παπουτσιού – εδάφους που τροφοδότησαν το σχεδιασμό των παπουτσιών αντισφαίρισης. Δοκιμές από επαγγελματίες αθλητές και επακόλουθη ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της φάσης ανάπτυξης του προϊόντος, έπαιξαν επίσης σημαντικό ρόλο στην αποδεδειγμένη καινοτομία όσον αφορά στα υλικά αλλά και στην τεχνολογία κατασκευής.

Ένας επιπλέον βασικός συντελεστής, είναι το συνολικό βάρος, καθώς είναι πλέον κοινώς αποδεκτό ότι τα ελαφρύτερα υποδήματα διευκολύνουν το τρέξιμο. Τα τελευταία χρόνια, υπήρξαν σημαντικά βήματα στη μείωση του βάρους των αθλητικών υποδημάτων του τένις, και τα μοντέλα με χαμηλό κέντρο βάρους αποτελούν τα πιο διαδεδομένα. Επιπλέον, η ευελιξία και η σταθερότητα που προσφέρουν τα παπούτσια του τένις, βοηθούν στην αποτελεσματική και ομαλή μεταφορά βάρους, το οποίο είναι το κλειδί για την ταχεία καθώς και ασφαλή αλλαγή κατεύθυνσης, ένα βασικό μέρος του παιχνιδιού.

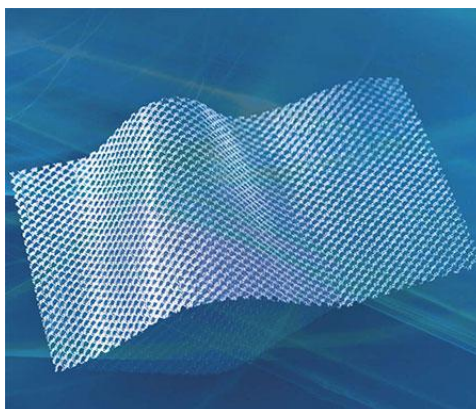
Ένα παπούτσι που συμβάλλει στη πλήρη συνειδητοποίηση της θέσης και της κίνησης του σώματος σε συνδυασμό με την αίσθηση του χώρου (γηπέδου) κάνει

τους αθλητές να αισθάνονται πόσο σκληρά μπορούν οι ίδιοι να ωθήσουν τον εαυτό τους, χωρίς τον κίνδυνο ενός τραυματισμού.

3.3 Δομή υποδήματος αντισφαίρισης και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται

3.3.1 Άνω Τμήμα (Upper Body)

Το **άνω τμήμα** του παπουτσιού είναι και το πιο μαλακό μέρος του, το οποίο κατασκευάζεται από συνδυασμούς δέρματος και συνθετικών υλικών. Βασικός στόχος είναι να παρέχεται σταθερότητα του ποδιού εντός του υποδήματος, εξασφαλίζοντας την απαραίτητη ελευθερία κινήσεων, άνεση, προστασία και ανθεκτικότητα. Πιο συγκεκριμένα, η επικάλυψη του άνω τμήματος φτιάχνεται από υλικά όπως, τεχνητό δέρμα «καστόρι» (artificial suede) και ύφανση από νάιλον με πλάκες από πλαστικό για στηρίγματα (nylon weave with plastic boards). Τελευταία χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο το συνθετικό πλέγμα (polyform mesh - συνδυασμός συνθετικών υλικών με βάση το πολυπροπυλένιο, συνδεδεμένα σε ύφανση συγκεκριμένης μαθηματικής γεωμετρίας) που παρέχει υψηλή ανθεκτικότητα, είναι ελαφρύ, ιδανικό για όλες τις καιρικές συνθήκες και καθαρίζεται πολύ εύκολα.



Εικόνα 3.8 Polyform Mesh - Συνθετικό Πλέγμα Συγκεκριμένης Γεωμετρίας



Εικόνα 3.9 Άνω Τμήμα - Asics Gel Solution Speed 3

Επίσης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη διάφορων **σχισμών ή μικρών οπών** κατά μήκος του άνω τμήματος που έχουν στόχο να επιτρέπουν στον αέρα να εισχωρεί στο παπούτσι κατά τη διάρκεια της άσκησης, ώστε το πόδι να «αναπνέει» και να εμποδίζεται η άνοδος της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του παπουτσιού. Η τεχνολογία **D-SKIN** της Diadora είναι μία μέθοδος εξαερισμού, κατά την οποία ένα ειδικό πλέγμα που επικαλύπτει το άνω τμήμα του υποδήματος, λειτουργεί σαν είσοδος και έξοδος του αέρα.



Εικόνα 3.10 Οπές - Asics Gel Solution Speed 3

Σε αντίθεση με το υπόλοιπο (εμπρόσθιο) τμήμα, που κατασκευάζεται με σκοπό να προσφέρει την απαραίτητη ελαστικότητα σε συνδυασμό με προστασία και σταθερότητα, το πίσω μέρος του άνω τμήματος, που καλύπτει την πτέρνα και μέρος του αστραγάλου, **το περιπτέρνιο**, είναι το πιο άκαμπτο κομμάτι του. Η σχεδίαση του είναι ύψιστης σημασίας καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στην συγκράτηση του ποδιού κατά την πρόσκρουση στο έδαφος. Στο εσωτερικό του περιπτέρνιου υπάρχει προσθήκη σκληρού, άκαμπτου υλικού (συνήθως πλαστικό) το οποίο λειτουργεί σαν θήκη της πτέρνας, ενώ η επικάλυψη του περιπτέρνιου γίνεται από τα υλικά που αναφέρθηκαν παραπάνω. Στο σημείο του Αχίλλειου τένοντα, υπάρχει ειδική μαλακή επικάλυψη από την εσωτερική πλευρά του υποδήματος, προς αποφυγή της τριβής του ποδιού με το σκληρότερο υλικό. Το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο υλικό για μαξιλάρι, είναι το EVA (Ethylene vinyl acetate) καθώς ενώ είναι πολύ ελαφρύ εξακολουθεί να παρέχει τη μέγιστη σταθερότητα. Βέβαια, το μαξιλάρι αυτό δεν πρέπει να είναι παχύ, επειδή το γεγονός αυτό μειώνει την συγκράτηση που απαιτεί το πόδι. Μία διαφορετική προσέγγιση στην κατασκευή του περιπτέρνιου έχει κάνει η Adidas με το **GeoFIT Frame** το οποίο είναι μία εκτεταμένη ράβδος στρέψης που κινείται εξωτερικά γύρω από τη φτέρνα παρέχοντας σταθερότητα, εξαλείφοντας την ανάγκη ύπαρξης σκληρού υλικού στο εσωτερικό.



Εικόνα 3.11 Περιπτέρνιο - Asics Gel Solution Speed 3



Εικόνα 3.12 Adidas geoFitFRAME

Τα κορδόνια που χρησιμοποιούνται στα παπούτσια για τένις είναι κυρίως κυλινδρικά ενώ οι υποδοχές τους από την εσωτερική πλευρά είναι πλέον πολύ μαλακές για να μην τραυματίζουν το δέρμα του ποδιού. Δίνεται επίσης έμφαση στα ακριβή σημεία που τοποθετούνται οι υποδοχές αυτές καθώς το σωστό δέσιμο των κορδονιών συμβάλλει κατά πολύ στην σταθεροποίηση του κάτω άκρου. Υπάρχει η κλασσική μέθοδος όπου τα κορδόνια περνούν μέσα από οπές στο άνω τμήμα του παπουτσιού, αλλά και η μέθοδος με τις θηλειές που βρίσκονται τοποθετημένες κατά μήκος της διεύθυνσης των κορδονιών και διευκολύνουν την περιστροφή τους κατά το δέσιμο. Πολλά μοντέρνα, καλής ποιότητας παπούτσια του τένις, έχουν έναν αξιοσημείωτο τρόπο σύνδεσης των κορδονιών στο πάνω μέρος με την σόλα. Αυτό το κομμάτι φτιάχνεται συνήθως από πλαστικό (gizmo) και καλύπτει το πόδι από το άνω τμήμα μέχρι κάτω, στην περιοχή της καμάρας.



Εικόνα 3.13 Οι 3 διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης των κορδονιών

Η «**γλώσσα**» του παπουτσιού είναι το κομμάτι που βρίσκεται κάτω από το σημείο που δένονται τα κορδόνια και απλώνεται κατά μήκος των υποδοχών τους. Κατασκευάζεται πλέον με μεγαλύτερο πάχος και συνοδεύεται από μια αφρώδη φόδρα που περιορίζει την πίεση των κορδονιών στο άνω μέρος του ποδιού, σε αντίθεση με τα παλαιότερα «τενιστικά» παπούτσια στα οποία ήταν αρκετά λεπτή χωρίς επιπρόσθετη ενίσχυση.



Εικόνα 3.14 Γλώσσα - Asics Gel Solution Speed 3

3.3.2 Η σόλα

Η σόλα είναι το κομμάτι που υπάρχει κάτω από το άνω τμήμα του υποδήματος και βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος κατά το πάτημα του ποδιού. Ο τρόπος με τον οποίο έχει κατασκευαστεί, καθορίζει, ως επί το πλείστον, τα κύρια χαρακτηριστικά του «τενιστικού» παπουτσιού, επομένως ο ρόλος της είναι πολύ σημαντικός στον τρόπο παιχνιδιού του συγκεκριμένου αθλήματος. Επιπλέον, τα διαφορετικά είδη σολών που συναντάμε στα αθλητικά παπούτσια για τένις, συμβάλλουν στον διαχωρισμό αυτών των παπουτσιών σε υποκατηγορίες, ανάλογα με την επιφάνεια του γηπέδου για την οποία προορίζονται, τον τρόπο παιχνιδιού του κάθε αθλητή ή ακόμα και τις ιδιομορφίες του κάθε ποδιού, παράγοντες που θα περιγραφούν αναλυτικά στη συνέχεια του κεφαλαίου.

Η σόλα σε γενικές γραμμές αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα, την εσωτερική σόλα, την εξωτερική σόλα και την ενδιάμεση σόλα, το καθένα από τα οποία έχει κατασκευαστεί με ειδικά χαρακτηριστικά ώστε να διευκολύνει τον αθλητή. Υπάρχει μια ποικιλία υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των διαφόρων τμημάτων της, από τα οποία μερικά είναι ευέλικτα και καλύπτουν διάφορα μέρη, ενώ άλλα είναι κατάλληλα για μόνο ένα συγκεκριμένο μέρος της σόλας.

3.3.2.1 Η εσωτερική σόλα (insole)

Η εσωτερική σόλα στα παπούτσια του τένις είναι φτιαγμένη από αφρώδη και ελαφρά υλικά ώστε να επιτυγχάνεται η ιδανική προσαρμογή και η σταθεροποίηση του ποδιού στο εσωτερικό. Συνήθως στα σύγχρονα αθλητικά παπούτσια, η εσωτερική σόλα είναι πλήρως αποσπώμενη, ώστε να μπορεί να αντικαθίσταται είτε από άλλη εξατομικευμένη, είτε από μία νέα, σε περίπτωση φθοράς. Είναι πολύ σημαντικό το πόδι να νοιώθει άνετα στο εσωτερικό του παπουτσιού, από την πρώτη κιόλας χρήση, ώστε να μην αποσπάται ο αθλητής από τυχόν ενοχλήσεις. Επίσης οι περισσότερες εταιρείες ψεκάζουν με ειδικό υλικό την εσωτερική σόλα ώστε να αποφευχθεί η εμφάνιση μυκήτων και να μειωθεί η άσχημη μυρωδιά. Στην

εσωτερική επιφάνεια είναι αναγκαία και η παρουσία απορροφητικών υλικών που ελέγχουν την υγρασία μέσα στο παπούτσι, καθώς σε εκείνο το σημείο δεν υπάρχει τρόπος να αερίζεται. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η τεχνολογία **Climacool** της Adidas όπου τοποθετούνται ζώνες εξαερισμού σε σημεία της εσωτερικής σόλας που συσσωρεύεται θερμότητα, βοηθώντας στην διοχέτευση δροσερού αέρα και στην εξάτμιση του ιδρώτα. Μία εσωτερική σόλα που συνδυάζει τις παραπάνω τεχνολογίες είναι η ανατομική αποσπώμενη **Diadora ErgoFIT**, που έχει και αντιβακτηριδιακή δράση. Είναι φτιαγμένο με ένα ελαστικό υλικό που έχει τη δυνατότητα μοντελοποίησης, για να εξασφαλιστεί η βέλτιστη απορρόφηση των κραδασμών και άνεση. Στην περιοχή του μεταταρσίου υπάρχει προσθήκη ειδικού απορροφητικού αφρού από EVA, ενώ στη φτέρνα υπάρχει ελαστομερές που προστατεύει ιδανικά από τους κραδασμούς.



Εικόνα 3.15 Αποσπώμενη Εσωτερική Σόλα - Diadora ErgoFIT

3.3.2.2 Η ενδιάμεση σόλα (midsole)

Η ενδιάμεση σόλα είναι το κομμάτι που συνδέει την εξωτερική σόλα με το άνω τμήμα και βρίσκεται ακριβώς κάτω από την εσωτερική σόλα. Κατασκευάζεται συνήθως από ελαστικό υλικό, όπως αιθυλενικό οξικό βινύλιο ή πολυουρεθάνη, μια πιο ανθεκτική μορφή κατεργασμένου λάστιχου. Η πολυουρεθάνη αποτελεί ιδανικό υλικό για αυτή τη χρήση, επειδή, πέρα από την άνεση και τη στήριξη που παρέχει, προστατεύει τις αρθρώσεις, απορροφώντας τους κραδασμούς τη στιγμή που το παπούτσι χτυπά το έδαφος, σε κάθε διασκελισμό. Τις περισσότερες φορές, το υλικό είναι διπλής πυκνότητας και το δυνατότερο σε αντοχή υλικό τοποθετείται στην εσωτερική πλευρά, ώστε να περιορίζει την κλίση του ποδιού προς τα μέσα (πρηνισμός). Η ενδιάμεση σόλα έχει βασικό ρόλο στην απόδοση του υποδήματος καθώς μέσα σε αυτήν αναπτύσσονται οι νέες τεχνολογίες και τα συστήματα απορρόφησης που έχουν εισαχθεί τα τελευταία χρόνια στο σχεδιασμό και την παραγωγή του. Πιο συγκεκριμένα, αυτά συγκεντρώνονται στο πίσω μέρος, δηλαδή στο σημείο της πτέρνας, εφόσον εκεί ασκούνται και οι υψηλότερες δυνάμεις κατά την επαφή του υποδήματος με το έδαφος. Μερικά παραδείγματα εξελιγμένων τεχνολογιών του εσωτερικού της ενδιάμεσης σόλας είναι τα παρακάτω:

Η τεχνολογία **Air** της Nike είναι ίσως το η πιο γνωστή τεχνολογία της εταιρείας, παγκοσμίως. Είναι η πρώτη τεχνολογία της Nike και αποτελεί πρότυπο ανάμεσα στις τεχνολογίες απορρόφησης κραδασμών ακόμα και σήμερα, 20 χρόνια μετά την

εμφάνιση της. Η βασική ιδέα της είναι η ύπαρξη έγκλειστου αέρα, ο οποίος έχει σκοπό να αμβλύνει τις δυνάμεις που δέχεται το πόδι από το έδαφος. Με βάση αυτήν την τεχνολογία την οποία η Nike εξέλιξε, δημιουργήθηκαν βελτιωμένες εκδόσεις όπως η **Nike Air Max** (μεγαλύτερη ποσότητα αέρα που λαμβάνει όλες τις δυνάμεις αντί του ποδιού) και η **Nike Zoom Air** (ένα πιο λεπτό στρώμα αέρα που έχει σκοπό, εκτός από την προστασία από τους κραδασμούς, να φέρει το πόδι πιο κοντά στο έδαφος για να υπάρχει καλύτερη αίσθηση της επιφάνειας και του χώρου). Μία νεότερη και διαφορετική τεχνολογία αυτής της εταιρείας είναι η **Nike Lunarlon**, ένα σύστημα που διαθέτει έναν μαλακό αλλά υποστηρικτικό πυρήνα αφρού, περιβαλλόμενο από έναν φορέα, που έχει ως στόχο τη μείωση του βάρους, την ανώτερης ποιότητας απορρόφηση των κραδασμών, τη βέλτιστη δράση «ελατηρίου», και τη μείωση της επώδυνης πίεσης στο πόδι.



Εικόνα 3.16 τεχνολογίες της ενδιάμεσης σόλας από την Nike

Ακόμα μία ενδιαφέρουσα τεχνολογία είναι η **Kompressor** της Babolat (εταιρεία εξειδικευμένη σε εξοπλισμό αντισφαίρισης) που εφαρμόζεται στο πίσω μέρος του υποδήματος (τακούνι). Είναι φτιαγμένο από το υλικό EVA (Ethylene vinyl acetate) και έχει στο εσωτερικό σωλήνες που περιέχουν TPR. Μέσω αυτών των σωλήνων, οι δυνάμεις της πρόσκρουσης κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το σύστημα και στο τέλος των επιπτώσεων, οι σωλήνες ανακτούν το αρχικό τους σχήμα και αποκαθιστούν την ενέργεια, για να επιτευχθεί μια δυναμική ανταπόκριση.



Εικόνα 3.17 Babolat Kompressor Shoes Technology

Αξίζει ακόμα να αναφερθεί η χρήση ειδικού gel στην λειτουργία απορρόφησης κραδασμών καθώς επιτρέπει την κίνηση σε πολλαπλά επίπεδα, προστατεύοντας παράλληλα από τις δυνάμεις κρούσης. Ένα διαδεδομένο παράδειγμα αυτής της μορφής είναι το **GEL Cushioning System** της Asics, που βρίσκει εφαρμογή στα ποιοτικά παπούτσια αντισφαίρισης που παράγει η εταιρεία. Παρόμοιο σύστημα είναι και το **Reactive Gel** της Wilson που παρέχει υπέρτατη σταθερότητα και βέλτιστη απορρόφηση των κραδασμών με μέγιστη απόδοση ενέργειας, υποστηρίζοντας τις κινήσεις του αθλητή.



Εικόνα 3.18 Asics Gel Cushioning System

Αξίζει επίσης να αναφερθεί και η τεχνολογία **CXG Comfort Grid** της Head, που αποτελείται από πολυαιθυλένιο, πολυπροπυλένιο, νάιλον και ίνες Saran, τα οποία σχηματίζουν μια αλληλένδετη δομή σπείρας, η οποία στη συνέχεια ενθυλακώνεται μέσα σε μία ελαστική μορφή πολυουρεθάνης. Όταν το πόδι έρχεται σε επαφή με το έδαφος, οι έγκλειστες ίνες της σπείρας συμπιέζονται, απορροφώντας τον κραδασμό και στη συνέχεια κατά την ανάκαμψή τους παράγουν δύναμη άνωσης.

Τέλος, στην τεχνολογία **Yonex ToughBrid** τα μόρια διατάσσονται σε μια πιο σταθερή ευθυγράμμιση, η οποία παρέχει μεγαλύτερη ελαστικότητα και ικανότητα διατήρησης του σχήματος. Ως αποτέλεσμα, το παπούτσι συνεχίζει να παρέχει ένα υψηλό επίπεδο απόδοσης απορρόφησης κραδασμών για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ακόμα και κάτω από συνθήκες πίεσης και γρήγορης κίνησης των ποδιών.

3.3.2.3 Η εξωτερική σόλα (outsole)

Εξωτερική σόλα ονομάζεται το σκληρό κομμάτι που βρίσκεται κάτω από την ενδιάμεση σόλα του υποδήματος. Εκεί συγκεντρώνονται πολλά χαρακτηριστικά και βρίσκουν εφαρμογή ειδικές τεχνολογίες που επηρεάζουν την συνολική απόδοση του υποδήματος, καθώς είναι το μέρος που έρχεται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Το πάχος και η μορφή της εξωτερικής σόλας μπορούν να διαφέρουν από παπούτσι

σε παπούτσι αλλά ακόμα και σε διαφορετικά σημεία κατά μήκος του ίδιου του υποδήματος, ανάλογα με τις ανάγκες που εξυπηρετούν. Στα αθλητικά παπούτσια για τένις, η πρόσθια ζώνη είναι ιδιαίτερα ενισχυμένη και έχει μεγαλύτερο πάχος από τη μέση ζώνη (ισθμός) που είναι πολύ πιο λεπτή και αρκετά άκαμπτη. Η οπίσθια ζώνη είναι αυτή με το μεγαλύτερο πάχος, καθώς στο τακούνι συγκεντρώνεται η πλειοψηφία των δυνάμεων που δέχεται το πόδι από το έδαφος. Το συνηθέστερο υλικό κατασκευής τους είναι το κατεργασμένο λάστιχο, το οποίο σκοπεύει στην αποφυγή της ολίσθησης και της φθοράς. Βέβαια, τα υλικά που χρησιμοποιούνται εξελίσσονται συνεχώς βελτιώνοντας ολοένα και περισσότερο την ποιότητα της εξωτερικής σόλας. Η εταιρεία Diadora, εισήγαγε μία νέα ανθεκτική μορφή κατεργασμένου καουτσούκ που παρουσιάζει υψηλότερη αντοχή στη φθορά από το κανονικό ελαστικό, βελτιώνοντας την πρόσφυση και αυξάνοντας την αντοχή του παπουτσιού. Η τεχνολογία αυτή ονομάζεται **Duratech** και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για επαγγελματίες παίκτες που δεν επιθυμούν τη φθορά της εξωτερικής σόλας που προκαλεί μείωση της απόδοσης των χαρακτηριστικών της.



Εικόνα 3.19 Εξωτερική Σόλα - Diadora Duratech

3.3.2.4 Σημαντικότερα μέρη εξωτερικής σόλας

- Στα αθλητικά παπούτσια για τένις, η εξωτερική σόλα είναι μπροστά ελαφρώς ανασηκωμένη καλύπτοντας το πρόσθιο μέρος του άνω τμήματος μέχρι περίπου το ύψος των δακτύλων (**upper toe**). Οι παίκτες αναγκάζονται να σύρουν τα δάκτυλα σε ορισμένες κινήσεις τους, οπότε αυτό προϋποθέτει την επικάλυψη του σημείου με το υλικό της σόλας για να αποφευχθεί η ολίσθηση. Επίσης συμβάλλει στην προστασία από τη φθορά στην οποία υπόκειται το παπούτσι συχνά, σε εκείνο το σημείο.



Εικόνα 3.20 Upper Toe - Asics Gel Solution Speed 3

- Η κεντρική καμάρα (**arch**) ή αψίδα της εξωτερικής σόλας βρίσκεται ανάμεσα στο εμπρόσθιο τμήμα και το τακούνι και κατασκευάζεται από σκληρό, άκαμπτο πλαστικό. Ο ρόλος της είναι υψηλής σημασίας καθώς συμβάλει στην υποστήριξη του συνολικού ανθρώπινου βάρους, κρατώντας το παπούτσι σταθερό και αποτρέποντας την ανεπιθύμητη στρέβλωσή του. Επίσης βοηθάει στην ένωση της σόλας με το άνω τμήμα του παπουτσιού. Ένα παράδειγμα ποιοτικά κατασκευασμένης αψίδας είναι η **Adidas Torsion**, μία ελαφριά υποστηρικτική αψίδα που επιτρέπει στο μπροστά και πίσω μέρος του παπουτσιού να κινούνται ανεξάρτητα, για την καλύτερη προσαρμογή του αθλητή στην επιφάνεια. Το συγκεκριμένο σύστημα εξελίσσεται συνεχώς, συμβάλλοντας στη βελτίωση των πλευρικών κινήσεων, αλλά και των κινήσεων που πραγματοποιούνται προς τα εμπρός.



Εικόνα 3.21 Καμάρα - Asics Gel Solution Speed 3

- Εκτός από το εμπρόσθιο τμήμα που καλύπτεται από την εξωτερική σόλα, στα παπούτσια για τένις συναντάμε επίσης ποικιλία **πλευρικών επικαλύψεων** που βρίσκονται κυρίως από την μεριά της εξωτερικής πλευράς. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι πλευρικές κινήσεις είναι αναγκαίες στο συγκεκριμένο άθλημα και το πρόσθετο υλικό στην εξωτερική πλευρά συμβάλλει στην υποστήριξη και στην προστασία από τη φθορά. Η Adidas ανέπτυξε μία τεχνολογία με ειδικά στηρίγματα, που ονομάζεται **Adidas Claw**, που βοηθά τον αθλητή να παραμένει σε όρθια θέση όταν αλλάζει κατευθύνσεις με μεγάλη ταχύτητα, εξασφαλίζοντας σταθερότητα χωρίς την μείωση της ευκινησίας του.



Εικόνα 3.22 Η τεχνολογία Adidas Claw στο μοντέλο Barricade

- Το **πίσω μέρος** της εξωτερικής σόλας έχει σαφώς μεγαλύτερο πάχος από το μέσο και το πρόσθιο. Στην περιοχή του τακουνιού, το υλικό που χρησιμοποιείται είναι ειδικό κατεργασμένο λάστιχο ή πλαστικό για να απορροφούνται οι κραδασμοί που δέχεται η περιοχή. Αυτό φαίνεται και από τα διαφορετικά χρώματα στην επιφάνεια της εξωτερικής σόλας, που υποδηλώνουν διαφορετική υφή ή πυκνότητα κατεργασμένου λάστιχου.
- Στην πρόσθια ζώνη, λίγο πιο πίσω από τη βάση του μεγάλου δακτύλου υπάρχει ειδική διαμόρφωση στη σόλα (συνήθως κυκλική) που ονομάζεται **κέντρο περιστροφής του υποδήματος**. Αποτελεί χαρακτηριστικό των περισσότερων παπουτσιών αντισφαίρισης και συμβάλλει στη διατήρηση της ισορροπίας.



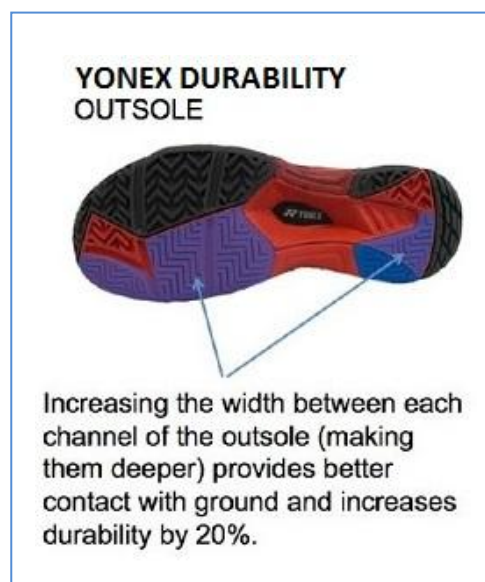
Εικόνα 3.23 Εξωτερική Σόλα Υποδήματος της HEAD

- Στα περισσότερα παπούτσια τένις, είναι απαραίτητη η ύπαρξη εσοχών στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της εξωτερικής σόλας. Οι εσοχές αυτές προσφέρουν καλή συγκράτηση αυξάνοντας την τριβή με το έδαφος (στις σκληρές επιφάνειες) και ελευθερώνουν το χώμα που αποθηκεύεται ανάμεσα τους (στις χωμάτινες επιφάνειες). Συνήθως είναι παραταγμένες σε μοτίβα Herringbone ή ZigZag και είναι γνωστές και ως **flexgrooves**. Στην τεχνολογία **Durability** της Yonex, αυξάνεται το πλάτος μεταξύ των εσοχών, γίνονται βαθύτερες και με αυτόν τον τρόπο παρέχουν καλύτερη επαφή με το έδαφος και 20% πιο αυξημένη αντοχή.





Εικόνα 3.24 Flexgrooves - Asics Gel Solution Speed 3 Clay


Εικόνα 3.25 Τεχνολογία Durability της Yonex





Πίνακας 1 Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από αθλητικές εταιρείες στα υποδήματα αντισφαίρισης που παράγουν.


			
Lunarlite	Flywire	Air	Air Max
Air Zoom Revive	Zoom Air	Lunarlon	Nike XDR
Drag-On 2X			


			
a ³ Energy Management System	a ³ Structure	ClimaCool	climaProof
geoFit	geoFit Frame	HUG System	adiPRENE
adiPRENE+	Pro-Moderator	Torsion System	Quickstrike
Traxion	adiWEAR	Formotion System	adiTuff
Claws	TPU 3-Stripes		


			
M Series	NFS	QT	T Series
Precision Tube			

			
Exact Shoe Energizer	Michelin Performance	Vibrakill	Foot Belt
Michelin OCS	Ortholite Comfort Foam	Cell Shield	Kompressor System

			
N-Ergy 2.0	Abzorb SBS	Abzorb	S Curve
Stability Web	NLOCK	Lockdown Liner	Rollbar
Acteva	NDurance	Lightning Dry Lining	


			
7.0 System	Aosta Rubber	Asosta II	DragGuard
Durawrap	Guideglide	MiSoul	Shock Spring
Stay-Tied Laces			


			
GEL Cushioning System	I.G.S.	Flexion Fit	P.H.F. (Personal Heel Fit)


			
Vi-Pod	Energy Bridge	Lateral Control	CXG Comfort Grid
Radial Contact	Cooling System	Hybrasion	

			
DuraTech	ErgoFit	Axeler	CCB
Uni Tongue	Woman Last	D-Skin	

			
Ever Track	Webcage	Nightcat Reflective Mesh	

			
EasyTone	ZigTech	SmoothFit	RunTone
Kinetic Fit System	DMX Foam Cushioning	Play Dry Lining	DMX Ride Cushioning
Pump Technology			

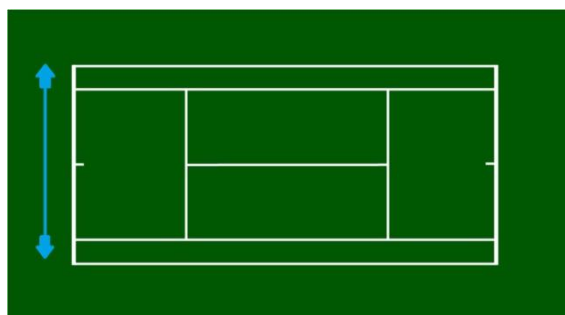
			
Power Cushion	Tough Guard III	Super Ergoshape	ToughBrid
Power Graphite Lite	Syncro Fit Insole	Durability	Stability
Breathability			

			
Reactive Gel	DST Foam	Stable Wrap	Duratex
Duralast Supreme	Innerloc	Ortholite	nanoWik

3.3.3 Χαρακτηριστικά υποδήματος ανάλογα με τον τρόπο παιχνιδιού

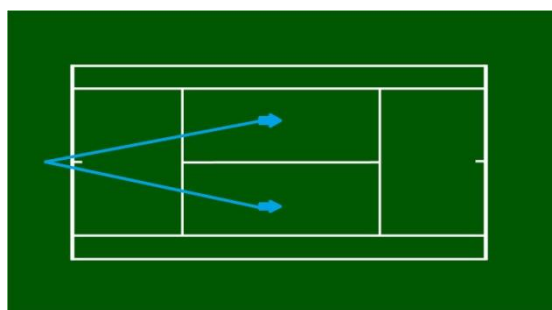
Ο τρόπος παιχνιδιού του κάθε αθλητή, υπαγορεύει ποιο συγκεκριμένο είδος αθλητικού παπουτσιού τένις είναι το καταλληλότερο για τις ανάγκες του.

Για τους παίκτες της βασικής γραμμής (baseliners), οι οποίοι κινούνται κυρίως κατά μήκος της πίσω γραμμής του γηπέδου, απαιτείται ένα ζευγάρι παπουτσιών με επιπρόσθετη πλευρική στήριξη. Ο παίκτης κινείται συνεχώς από πλευρά σε πλευρά και χρειάζεται υποστήριξη στις πλάγιες κινήσεις και σταθερότητα στον αστράγαλο, καθώς και ένα υψηλής ποιότητας σύστημα απορρόφησης των κραδασμών.



Εικόνα 3.26 Κίνηση κατά μήκος της Βασικής Γραμμής

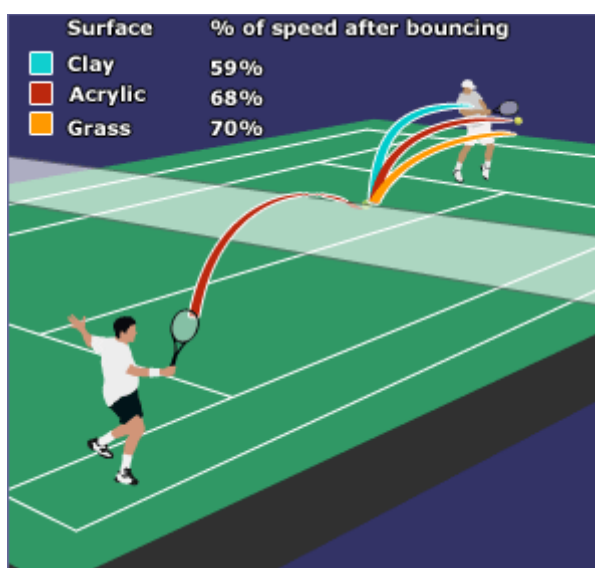
Αντίθετα, για τους παίκτες «serve and volley», οι οποίοι σερβίρουν και αμέσως κινούνται προς το δίκτυο, σύροντας τα δάκτυλα, για να χτυπήσουν την μπάλα από την υποδοχή του αντιπάλου πριν αυτή σκάσει στο έδαφος, θα πρέπει να επενδύσουν σε ένα παπούτσι με ένα σκληρό εμπρόσθιο κάλυμμα που δίνει επιπλέον προστασία στην άκρη του ποδιού και στα δάκτυλα. Αυτή η μέθοδος παιχνιδιού είναι ιδιαίτερα επίπονη και για τη σόλα του παπουτσιού, άρα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτική.



Εικόνα 3.27 Κίνηση προς το δίκτυο

3.3.4 Χαρακτηριστικά υποδήματος ανάλογα με την επιφάνεια γηπέδου

Το τένις είναι ένα άθλημα το οποίο μπορεί να λάβει μέρος σε διαφορετικές επιφάνειες γηπέδου, καθεμία από τις οποίες έχει ξεχωριστά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την αναπήδηση της μπάλας και τον τρόπο παιχνιδιού, συνεπώς και τον τύπο παπουτσιού που θα χρησιμοποιηθεί. Γι' αυτό το λόγο, τα αθλητικά παπούτσια για τένις χωρίζονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με την επιφάνεια για την οποία προορίζονται, με τις ιδιαιτερότητες του κάθε τύπου να βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στην εξωτερική σόλα του υποδήματος αλλά και στο άνω τμήμα. Οι πιο διαδεδομένες επιφάνειες που θα αναλυθούν περαιτέρω, είναι τα σκληρά γήπεδα, τα χωμάτινα γήπεδα και τα γήπεδα από γρασίδι.



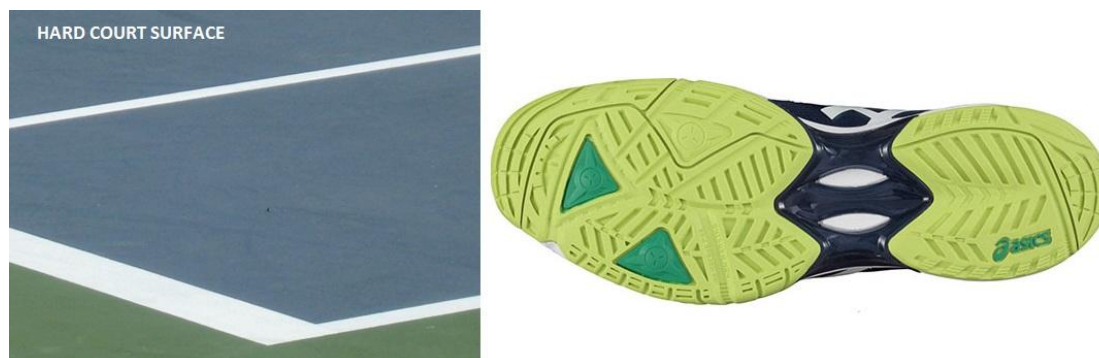
Εικόνα 3.28 Διαφορετική Αναπήδηση της μπάλας σε κάθε επιφάνεια

3.3.4.1 Υποδήματα για σκληρή επιφάνεια (Hard Court)

Τα σκληρά γήπεδα, είναι κατασκευασμένα από ομοιόμορφο άκαμπτο υλικό, που συχνά καλύπτεται με ένα ακρυλικό επιφανειακό στρώμα, προσφέροντας υψηλή αναπήδηση της μπάλας. Η ποσότητα της άμμου προστίθεται στο χρώμα μπορεί να επηρεάσει σημαντικά το ρυθμό με τον οποίο η μπάλα επιβραδύνεται ακριβώς μετά την αναπήδηση. Γενικά, η σκληρή επιφάνεια είναι κάτι ανάμεσα στο χώμα και στο γρασίδι, όσον αφορά το ύψος της αναπήδησης και την ταχύτητα της μπάλας. Αποτελεί μια πολύ απαιτητική επιφάνεια για τα πόδια και τα χαρακτηριστικά που συνοδεύουν τα παπούτσια που χρησιμοποιούνται είναι τα εξής:

- Η εξωτερική σόλα κατασκευάζεται από πολύ σκληρό υλικό (κατεργασμένο λάστιχο) ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει στις υψηλές απαιτήσεις της επιφάνειας.
- Ποιοτικό σύστημα απορρόφησης κραδασμών καθώς και τεχνολογία «ελατηρίου», επειδή οι δυνάμεις που δέχεται το σώμα από το έδαφος είναι οι μεγαλύτερες, συγκριτικά με κάθε άλλη επιφάνεια.

- Το άνω τμήμα θα πρέπει να αποτελείται από σκληρό υλικό (συνήθως δέρμα ή βινύλιο) ώστε να παρέχει την απαραίτητη συγκράτηση στο πόδι κατά τη διάρκεια όλων των κινήσεων.
- Εξαιρετική ανθεκτικότητα σε σόλα και άνω τμήμα, εξίσου, καθώς είναι η επιφάνεια που δημιουργεί τις μεγαλύτερες φθορές στο υπόδημα, με αποτέλεσμα την απώλεια της πρόσφυσης στην εξωτερική σόλα και την αυξημένη ολίσθηση.

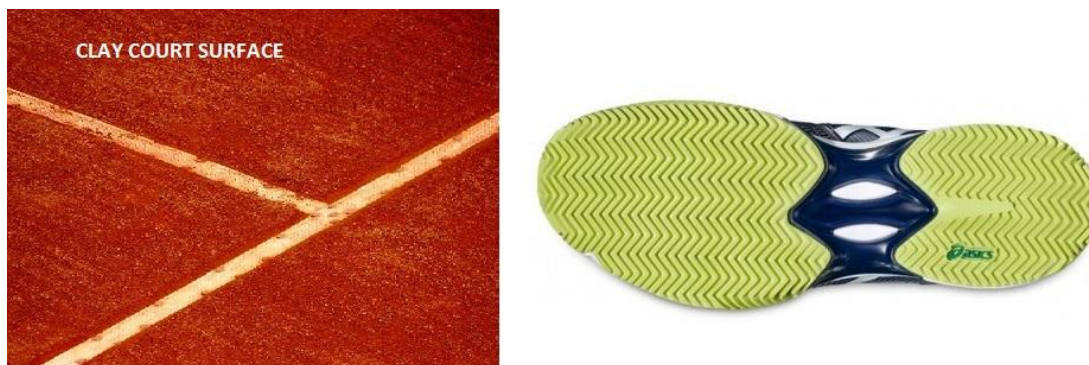


Εικόνα 3.29 Εξωτερική Σόλα για Σκληρή Επιφάνεια

3.3.4.2 Υποδήματα για χωμάτινη επιφάνεια (Clay Court)

Τα χωμάτινα γήπεδα είναι κατασκευασμένα από θρυμματισμένο σχιστόλιθο, πέτρα ή τούβλο. Προσφέρουν την υψηλότερη αναπήδηση της μπάλας, η οποία επίσης επιβραδύνεται κατά πολύ, με αποτέλεσμα την ανάγκη για αυξημένο αριθμό βημάτων πριν το χτύπημα. Βασικό χαρακτηριστικό είναι το ότι οι παίκτες τείνουν να προβαίνουν σε ελεγχόμενη ολίσθηση πριν το χτύπημά τους. Σε γενικές γραμμές τα παπούτσια που χρησιμοποιούνται στο χώμα πρέπει να προσφέρουν πολύ καλή σταθερότητα και πλευρική υποστήριξη. Πιο συγκεκριμένα:

- Η εξωτερική σόλα παρέχει συγκράτηση καθώς αυτή η επιφάνεια υστερεί ως προς την έλξη ποδιού – εδάφους. Αυτό επιτυγχάνεται με μια ειδικά σχεδιασμένη γεωμετρία που περιλαμβάνει εσοχές (grooves) οι οποίες βοηθούν στην συγκράτηση κατά το πάτημα και στη συνέχεια ελευθερώνουν το χώμα από την εξωτερική σόλα, χωρίς να αφήνουν σημάδια στο γήπεδο.
- Υψηλή ανθεκτικότητα στα πλάγια της εξωτερικής σόλας για να μη φθείρεται κατά την ελεγχόμενη ολίσθηση.
- Μαλακό αλλά υποστηρικτικό άνω τμήμα που παρέχει άνεση καθώς και συγκράτηση κατά τον ιδιαίτερο βηματισμό που απαιτείται.
- Ομοιόμορφα σχεδιασμένο κάτω μέρος της εξωτερικής σόλας, για να μην προκαλεί φθορά στο γήπεδο, συνήθως με εσοχές γεωμετρίας Herringbone.
- Μειωμένο συνολικό βάρος μπορεί εύκολα να επιτευχθεί, καθώς η χωμάτινη επιφάνεια δεν φθείρει σε μεγάλο βαθμό το παπούτσι, κι έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελαφρύτερα υλικά.



Εικόνα 3.30 Εξωτερική σόλα για Χωμάτινη Επιφάνεια

3.3.4.3 Υποδήματα για επιφάνεια από γρασίδι (Grass Court)

Το γρασίδι αποτελεί την πιο γρήγορη επιφάνεια γηπέδου τένις και μειώνει σε τεράστιο βαθμό το ύψος της αναπήδησης της μπάλας. Τα γήπεδα αυτά αποτελούνται από γρασίδι που καλλιεργείται σε πολύ σκληρό πατημένο χώμα, το οποίο προσθέτει επιπλέον μεταβλητές. Οι αναπηδήσεις επίσης εξαρτώνται από το πόσο υγιές είναι το γρασίδι, πόσο πρόσφατα έχει κοπεί, αλλά και από τη φθορά που έχει υποστεί. Ωστόσο, είναι η πιο συμβατή με το ανθρώπινο σώμα, επιφάνεια, λόγω της απαλότητας της. Τα παπούτσια που χρησιμοποιούνται σε αυτή την επιφάνεια έχουν πολύ συγκεκριμένες ιδιαιτερότητες στην εξωτερική σόλα:

- Το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται παρέχει εξαιρετική συγκράτηση, εφόσον το γρασίδι είναι πιθανότατα να είναι ολισθηρό είτε λόγω υγρασίας, είτε λόγω φθοράς από την πάροδο του χρόνου σε συνδυασμό με κακή συντήρηση.
- Η εξωτερική σόλα θα πρέπει να είναι εντελώς επίπεδη για να μην προκαλεί φθορά στην επιφάνεια.
- Μικροσκοπικές εξοχές (καρφάκια) από το ίδιο υλικό της σόλας, υπάρχουν κατά μήκος ολόκληρης της επιφάνειας της, για να αποτρέπουν επίσης την ολίσθηση.
- Εύκαμπτο άνω τμήμα που να μην περιορίζει το πόδι όταν ο αθλητής τρέχει προς τη μπάλα, φτιαγμένο από μαλακό υλικό εφόσον, όπως και στη χωμάτινη επιφάνεια, οι φθορές που προκαλούνται από το έδαφος είναι μηδαμινές.

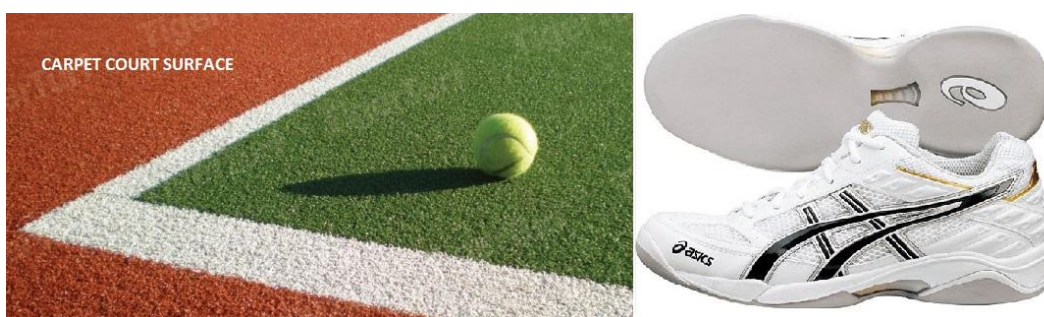


Εικόνα 3.31 Υποδήματα για επιφάνεια από Γρασίδι

3.3.4.4 Υποδήματα για επιφάνεια μοκέτας (Carpet Court)

Στο τένις, με τον όρο «μοκέτα», εννοούμε την κάθε αφαιρούμενη επικάλυψη γηπέδου. Συνήθως χρησιμοποιείται σε κλειστές εγκαταστάσεις και έρχεται σε μορφή ρολών από καουτσούκ. Σε κάποια ανοιχτά γήπεδα συναντάμε και μια μορφή τεχνητού χλοοτάπητα. Θεωρείται μία αρκετά γρήγορη επιφάνεια που προσφέρει χαμηλή αναπήδηση της μπάλας. Τα παπούτσια που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις επιφάνειες χαρακτηρίζονται από:

- Πολύ μαλακές σόλες που δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετική επιφάνεια.
- Η επιφάνεια της εξωτερικής σόλας είναι εντελώς επίπεδη, χωρίς κανένα ίχνος εσοχής ή ειδικής γεωμετρίας, ώστε να μην δημιουργείται ανεπιθύμητη πρόσφυση που οδηγεί σε τραυματισμούς.



Εικόνα 3.32 Υποδήματα για επιφάνεια από μοκέτα

3.3.4.5 Υποδήματα για όλες τις επιφάνειες (All Court)

Οι επαγγελματίες αθλητές, φυσικά, χρησιμοποιούν το κατάλληλο ζευγάρι αθλητικών παπουτσιών για την εκάστοτε επιφάνεια. Κάτι τέτοιο θα ήταν όμως ασύμφορο οικονομικά για όλους τους ερασιτέχνες παίκτες παγκοσμίως για τους οποίους δεν υπάρχει και η επιτακτική ανάγκη να επιλέξουν με αυτά τα κριτήρια. Για αυτό το λόγο οι εταιρείες παράγουν παπούτσια που συνοδεύονται από έναν συνδυασμό μερικών από των παραπάνω χαρακτηριστικών της κάθε επιφάνειας, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά σε κάθε τύπο από αυτές. Η πλειοψηφία τους έχει γεωμετρία Herringbone στο κάτω μέρος της εξωτερικής σόλας, που προσφέρει πολύ καλή συγκράτηση, ανεξάρτητα την επιφάνεια. Είναι γνωστά ως «All-Court» και αποτελούν την κατηγορία με τις περισσότερες πωλήσεις.



Εικόνα 3.33 Adidas Energy Boost 2016 – Υπόδημα Τένις για όλες τις επιφάνειες



Εικόνα 3.34 Wilson Rush Pro - All Court

3.3.5 Μερικά Χαρακτηριστικά ενός ποιοτικού υποδήματος

- Το μήκος του παπουτσιού πρέπει να δίνει αρκετό χώρο, για να μπορούν τα δάχτυλα να κινηθούν. Έτσι πρέπει να υπάρχει απόσταση 1 εκατοστού μεταξύ της άκρης του μακρύτερου δάκτυλου και της άκρης του παπουτσιού.
- Όσο καλό κι αν είναι το μοντέλο που έχει επιλεγεί, αν η εφαρμογή του δεν είναι καλή ή δεν είναι άνετο στο πόδι, τότε ο αθλητής δεν πρέπει να το χρησιμοποιήσει. Σκοπός είναι να βρει τον τύπο παπουτσιού που του ταιριάζει και όχι απλά ένα καλό μοντέλο.

- Το παπούτσι πρέπει να εφαρμόζει σωστά, να μην στενεύει αλλά ούτε και να γλιστρά η φτέρνα, για να αποφεύγονται διαστρέμματα ή άλλων τύπων τραυματισμοί. Επίσης, ο χρήστης δεν πρέπει να αισθάνεται τις ραφές στο εσωτερικό του παπουτσιού.
- Η «γλώσσα» του περιπτέρνιου (κέλυφος πτέρνας) πρέπει να είναι μαλακή έτσι έτσι ώστε να μη «κτυπάει» το πόδι κατά τη διάρκεια του τρεξίματος.
- Οι δύο πλευρές του ποδιού δεν πρέπει να προεξέχουν από την σόλα, ενώ το πόδι πρέπει να παραμένει σταθερό. Το φαρδύτερο σημείο του ποδιού πρέπει να βρίσκεται στο φαρδύτερο σημείο του παπουτσιού.
- Το παπούτσι, όπως έχει ήδη ειπωθεί, πρέπει να είναι ευλύγιστο και να επιτρέπει στο πόδι να «αναπνέει». Δεν χρειάζεται να είναι βαρύ για να προστατεύει το πόδι. Από την άλλη πλευρά βέβαια το ελαφρύ και μαλακό παπούτσι υπάρχει περίπτωση να μην κρατήσει με την πίεση της προπόνησης. Σημαντικό επίσης είναι να γνωρίζει κανείς ότι τα πολύ λεπτά στη σόλα παπούτσια μπορεί να χειροτερεύσουν προβλήματα του αχίλλειου τένοντα, της πελματιαίας απονεύρωσης (πατούσας) και της κνήμης.
- Η σόλα του παπουτσιού χρειάζεται να είναι ευλύγιστη εκεί που το πόδι λυγίζει. Επίσης πρέπει να μην είναι λεία, για να μην γλιστράει, και να εισχωρεί στρογγυλεμένη στο πάνω μέρος του παπουτσιού.
- Το τακούνι πρέπει να είναι ελαφρώς ανασηκωμένο, για να ανακουφίζονται οι αχίλλειοι τένοντες. Ακόμα, είναι σημαντικό το παπούτσι να διαθέτει αερόσολα ή άλλο σύστημα απορρόφησης κραδασμών ώστε να μην ταλαιπωρούνται τα γόνατα και η μέση.
- Οι εσωτερικές σόλες του αθλητικού παπουτσιού πρέπει να είναι αποσπώμενες ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν τα πέλματα, που παρήχθησαν μετά από κινητική ανάλυση βάδισης (πελματογράφημα).



Εικόνα 3.35 Διαφορετικοί Τύποι Ποδιών όσον αφορά την καμάρ

ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΛΑΣΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΣΟΛΑΣ ΑΘΛΗΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΗΜΑΤΩΝ & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

4.1 Η κλασική κατασκευή της σόλας υποδημάτων

Η εξωτερική σόλα στο αθλητικό παπούτσι είναι το μέρος του υποδήματος που έρχεται σε άμεση επαφή με το έδαφος κρατώντας το σώμα σταθερό. Επομένως είναι το πιο περίπλοκο και πιο σημαντικό μέρος στην παραγωγή του υποδήματος.

Γενικά, η κλασική διαδικασία κατασκευής ελαστικών σολών στηρίζεται στην εφεύρεση του Charles Goodyear, ο οποίος το 1844 έκανε μια σημαντική ανακάλυψη μετά από χρόνια πειραματισμού. Χρησιμοποίησε μια διαδικασία που ονομάζεται «βουλκανισμός» κατά την οποία θερμαίνεται φυσικό καουτσούκ, προκειμένου να αναμιχθεί με θείο. Με το σωστό συνδυασμό της ανάμειξης, της θερμότητας και των παραγόντων σκλήρυνσης, το κολλώδες φυσικό καουτσούκ, μετατρέπεται στο είδος του ελαστικού που χρησιμοποιείται σε σόλες παπουτσιών σήμερα. Έως και σήμερα, συνεχίζεται να χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος βουλκανισμού για να δημιουργηθεί το υλικό για την κατασκευή της σόλας παπουτσιού.

Η ανάμειξη του καουτσούκ και οι διαδικασίες καλουπώματος, συμπίεσης κ.τ.λ. είναι «βρώμικες» εργασίες με πολλά κινούμενα μέρη και οι χώροι συμπίεσης έχουν ιδιαίτερη υψηλή θερμοκρασία. Αυτός είναι ο λόγος που η διαδικασία αυτή συχνά ανατίθεται σε εξωτερικούς συνεργάτες, που ειδικεύονται στο είδος αυτό. Τα ειδικευμένα αυτά εργοστάσια στη δημιουργία ελαστικής σόλας, μπορούν να κάνουν εργασίες υψηλής έντασης και να παράγουν ένα απίστευτο αριθμό σολών κάθε μέρα με αποτελεσματικότητα και ακρίβεια.

4.1.1 Διαδικασία κατασκευής της σόλας

A. Κατασκευή μήτρας (καλουπιού)

Καταρχήν κατασκευάζεται ένα πρωτότυπο σχέδιο της σόλας που πρόκειται να παραχθεί το οποίο τοποθετείται μέσα σε ένα μεταλλικό πλαίσιο. Μέσα στο πλαίσιο αυτό, εκχύνεται και συμπιέζεται το κατάλληλο υλικό που θα δημιουργήσει την μήτρα. Συνήθως, το υλικό αυτό είναι ρευστή πλαστική σιλικόνη αναμεμειγμένη με σκληρυντικά υλικά τα οποία αφού αναμειχτούν, τοποθετούνται σε μηχανή κενού για να γίνει απαέρωση και αφαίρεση όλων των φυσαλίδων. Επίσης, ρευστό αλουμίνιο ή άλλος συνδυασμός ρευστών μετάλλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατασκευή μεταλλικής μήτρας. Όταν το υλικό που έχει τοποθετηθεί μέσα στο

πλαίσιο κρυώσει, αφαιρείται το πρωτότυπο μέσα από το στερεοποιημένο υλικό και δημιουργείται η μήτρα.



Εικόνα 4.1 Μήτρα από σιλικόνη



Εικόνα 4.2 Μεταλλική Μήτρα

B. Κατασκευή της σόλας

Για την δημιουργία της σόλας, το επιλεγμένο ελαστικό υλικό για την κατασκευή της, σε ρευστή μορφή, τοποθετείται (ρέει) μέσα στην μήτρα. Η μήτρα κλείνει και θερμαίνεται για ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Αφού στερεοποιηθεί η σόλα στην μορφή που έχει δημιουργηθεί αφαιρείται από την μήτρα και συχνά τοποθετείται σε φούρνο για να αφυδατωθεί. Τέλος, αφαιρούνται τα περισσευούμενα κομμάτια ελαστικού γύρω από την σόλα, ώστε να πάρει την τελική σχηματισμένη μορφή της. Γενικά, η κλασική μέθοδος κατασκευής μίας σόλας είναι ιδιαίτερα επίπονη και χρονοβόρα.

Φυσικά η κατασκευή σόλας για αθλητικά παπούτσια έχει ξεφύγει από την κλασική μέθοδο. Η σχεδίαση της εξωτερική σόλας για αθλητικά παπούτσια έρχεται σε πολλά διαφορετικά στυλ και διαμορφώσεις ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται. Οι σόλες των αθλητικών παπουτσιών κατασκευάζονται από πολλά διαφορετικά υλικά: καουτσούκ, πλαστικό, αφρό, δέρμα ή ύφασμα που το κάθε ένα έχει τις δικές του ξεχωριστές απαιτήσεις σε εξοπλισμό και τεχνολογία κατασκευής.



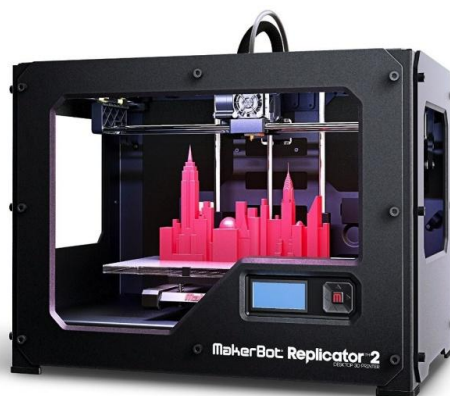
Εικόνα 4.3 Η σόλα όταν αφαιρείται από τη μήτρα

4.2 Κατασκευή της σόλας με τρισδιάστατη εκτύπωση

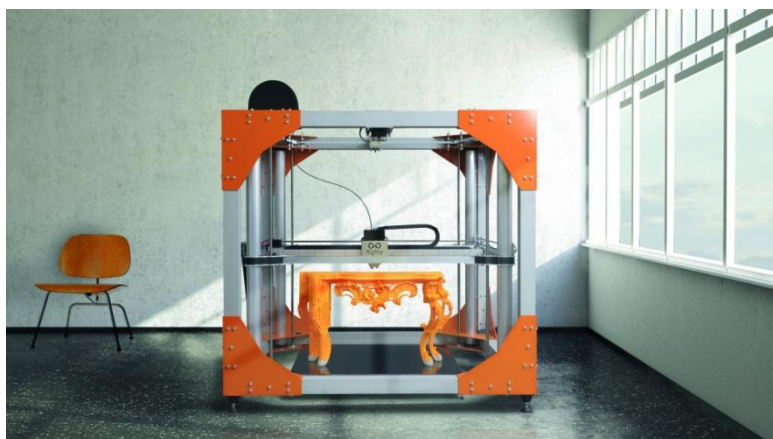
4.2.1 Ορισμός τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί μια διαδικασία ταχείας πρωτοτυποποίησης. Οι 3D εκτυπωτές κατασκευάζουν τα αντικείμενα καταθέτοντας υλικό, συνήθως πλαστικό ή μέταλλο με την τεχνική των στρωμάτων (layer by layer), μέχρι το πρωτότυπο προϊόν ολοκληρωθεί. Οι απαραίτητες πληροφορίες για αυτά τα στρώματα υπολογίζονται από την σχεδίαση του αντικειμένου σε ένα σύστημα CAD, μέσω ενός αλγορίθμου.

Το μέγεθος ενός 3D εκτυπωτή μπορεί να κυμαίνεται από αυτό ενός φούρνου μικροκυμάτων μέχρι το μέγεθος ενός ολόκληρου κτίριο. Ένας εκτυπωτής που μπορεί να εκτυπώσει ένα σπίτι με την κατάθεση τσιμέντου, στρώμα - στρώμα χρησιμοποιώντας έναν εκτυπωτή που έχει το μέγεθος ενός ρυμουλκούμενου ελκυστήρα, είναι ήδη σε εξέλιξη. Οι τιμές για 3D εκτυπωτές κυμαίνονται από \$ 1.000 έως πάνω από \$ 100.000 για τις βιομηχανικές εκδόσεις.



Εικόνα 4.4 3D εκτυπωτής μικρού μεγέθους



Εικόνα 4.5 3D εκτυπωτής μεσαίου μεγέθους



Εικόνα 4.6 3D εκτυπωτής γιγαντιαίου μεγέθους

Όσον αφορά την χρήση 3D εκτυπωτή για κατασκευή παπουτσιών, η διαδικασία αυτή είναι δελεαστική για τους καταναλωτές καθώς τα παπούτσια είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα μοναδικά για κάθε τύπο ποδιού, καθώς το αριστερό πόδι κάποιου μπορεί να είναι ελαφρώς ευρύτερο ή μικρότερο από το δεξιό του. Εξαιτίας αυτού, η εύρεση παπουτσιών που ταιριάζουν απόλυτα και τα δύο πόδια είναι σπάνια. Επιπλέον, επειδή στο ισχύον σύστημα το μέγεθος του παπουτσιού περιορίζεται σε ημιακέραια νούμερα (6, 6.5, 7, 7.5, κ.τ.λ.), το σύστημα αυτό λαμβάνει υπόψη μόνο το μήκος και όχι το πλάτος ή το πάχος του ποδιού. Η εύρεση παπουτσιών για ασυνήθιστους τύπους ποδιών είναι δύσκολη και η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει λύσεις στα προβλήματα αυτά.

Με την κατασκευή παπουτσιών με 3D εκτύπωση, αντί ο καταναλωτής να προσπαθεί να βρει αυτό που του ταιριάζει δοκιμάζοντας διάφορα προκατασκευασμένα παπούτσια σε τυποποιημένα μεγέθη, έχοντας φωτογραφίες των ποδιών του οι οποίες έχουν ληφθεί από διάφορες οπτικές γωνίες, ένας υπολογιστής μπορεί να δημιουργήσει ένα ακριβές 3D μοντέλο των ποδιών του. Οι πληροφορίες αυτές στη συνέχεια συνδυάζονται με λεπτομέρειες σχετικές με τον πελάτη όπως το ύψος, το βάρος και τις δραστηριότητες που ασκεί. Μετά την εισαγωγή όλων των δεδομένων, ο πελάτης λαμβάνει ένα εξατομικευμένο ζευγάρι παπούτσια προσαρμοσμένο ακριβώς γι' αυτόν.

Η τεχνολογία αυτή επίσης εφαρμόζεται για θεραπευτικούς σκοπούς. Για παράδειγμα, η εταιρία «SOLS Systems» που ειδικεύεται σε ορθοπεδικά συστήματα, χρησιμοποιεί 3D εκτύπωση για να φτιάξει ορθοπεδικά παπούτσια για την ανακούφιση του πόνου των ποδιών του ασθενή και την βελτίωση της άνεσης του. Επειδή τα παπούτσια αυτά είναι κατά παραγγελία, οι ασθενείς εμπλέκονται με το προϊόν σε μεγάλο βαθμό, ενώ ο ορθοπεδικός απολαμβάνει την άμεση συνεργασία με τον κατασκευαστή.

Επιπλέον, γνωστές αθλητικές εταιρείες (Nike, Adidas, New Balance, Under Armour) έχουν πλέον εισαγάγει την τεχνολογία της κατασκευής της σόλας του αθλητικού παπουτσιού με 3D εκτύπωση ώστε να προσφέρουν στους αθλητές ένα παπούτσι που διαθέτει ειδικευμένα χαρακτηριστικά. Τα παπούτσια προσαρμόζονται στο πόδι κάθε αθλητή, καθώς και στο στυλ παιχνιδιού του, βοηθώντας τον να μεγιστοποιήσει την απόδοση του. Για τον αθλητισμό, το παπούτσι 3D εκτύπωσης, είναι σίγουρα μία μεγάλη καινοτομία.

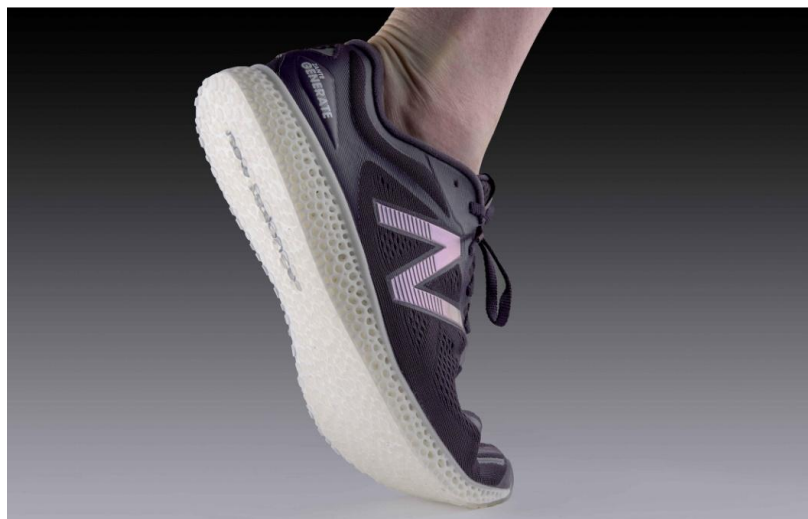
4.2.2 Τεχνολογίες Τρισδιάστατης Εκτύπωσης Εταιρειών Αθλητικού Εξοπλισμού

Η αθλητική εταιρεία New Balance, ήταν η πρώτη που υλοποίησε τα σχέδια της για κατασκευή παπουτσιού με τρισδιάστατη εκτύπωση κατασκευάζοντας ένα παπούτσι τρεξίματος (running shoe) με τρισδιάστατα εκτυπωμένη ενδιάμεση σόλα. Συγκεκριμένα, τον Απρίλιο του 2016, έθεσε σε διαθεσιμότητα 44 ζευγάρια παπούτσια των οποίων η τιμή είναι \$ 400, καθώς το κόστος λειτουργεί ως ανασταλτικός παράγοντας όσο η διαδικασία είναι σε εξελίξιμη μορφή. Το μοντέλο ονομάζεται **New Balance Zante Generate** και στην κατασκευή του χρησιμοποιείται η μέθοδος επιλεκτικής πυροσυσσωμάτωσης λέιζερ (selective laser sintering). Στη μέθοδο αυτή, μια μηχανή απλώνει ένα λεπτό στρώμα σκόνης στο πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας και ένα λέιζερ περνά πάνω από την επιφάνεια, λιώνοντας την περιοχή που αποτελεί το πρώτο τελικό τμήμα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται ξανά και ξανά, καθώς το μέρος είναι συνολικά λιωμένο από κάτω προς τα πάνω. Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία, το τελικό προϊόν είναι σκαμμένο έξω από την περίσσεια σκόνης. Η τρισδιάστατα εκτυπωμένη ενδιάμεση σόλα αποτελείται σε όλο το μήκος της από ένα πλέγμα γεμάτο φυσαλίδες ή κελιά. Αυτά

τα κενά διαστήματα συμπιέζονται κατά την επαφή με το έδαφος και μειώνουν τις δυνάμεις που δέχεται το πόδι. Κάτω από την ενδιάμεση σόλα υπάρχει ένα στρώμα που καλύπτει το παπούτσι φτιαγμένο από καουτσούκ (εξωτερική σόλα) για πρόσφυση και ανθεκτικότητα.



Εικόνα 4.7 Η ενδιάμεση σόλα του NB Zante Generate, όπως βγαίνει από τον 3D printer



Εικόνα 4.8 New Balance Zante Generate

Βέβαια, εκτός από την New Balance, και άλλες αθλητικές εταιρείες πειραματίζονται με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Συγκεκριμένα η Under Armour, κατασκεύασε το μοντέλο **Architect**, ένα αθλητικό παπούτσι με 3D εκτυπωμένο το πίσω μέρος της εξωτερική σόλας, χρησιμοποιώντας και πάλι την τεχνολογία του πλέγματος από κελιά. Ένα τέτοιο είδος εξωτερικής σόλας δε θα μπορούσε σε καμία περίπτωση να κατασκευαστεί με την κλασική μέθοδο κατασκευής με τη χρήση μήτρας. Επίσης, η Adidas παρουσίασε το 2016 τα παπούτσια **Futurecraft** των οποίων η ενδιάμεση σόλα εκτυπώνεται τρισδιάστατα με τη μέθοδο της επιλεκτικής πυροσυσσωμάτωσης λέιζερ, χρησιμοποιώντας ως υλικό ανακυκλωμένο πλαστικό. Τέλος, η Nike, χρησιμοποιώντας τον 3D εκτυπωτή Hewlett Packard Jet Fusion,

αναπτύσσει τη δική της τεχνολογία για τρισδιάστατα εκτυπωμένη σόλα παπουτσιών για στίβο (με ενσωματωμένα καρφιά) με σκοπό να κυκλοφορήσει το μοντέλο **Nike Zoom Superfly Flyknit** και να χρησιμοποιηθεί από επαγγελματίες αθλητές στους ολυμπιακούς αγώνες του 2016.



Εικόνα 4.9 Under Armour Architect



Εικόνα 4.10 Adidas Futurecraft



Εικόνα 4.11 Nike Zoom Superfly Flyknit

Ενώ η πλειοψηφία των υποδημάτων που πωλούνται σήμερα εξακολουθούν να γίνονται με τον παραδοσιακό τρόπο, είναι βέβαιο ότι τα 3D τυπωμένα παπούτσια θα γίνουν ένα πιο σύνηθες φαινόμενο στο μέλλον, μαζί με πολλά άλλα 3D εκτυπωμένα προϊόντα καθημερινής χρήσης. Η 3D εκτύπωση εξελίσσεται με γοργό ρυθμό σε παγκόσμιο επίπεδο και προσφέρει κάτι που μέχρι πρόσφατα ήταν αδύνατο: Κατά παραγγελία προϊόν, οποτεδήποτε, οπουδήποτε, από οποιονδήποτε κατασκευαστή.

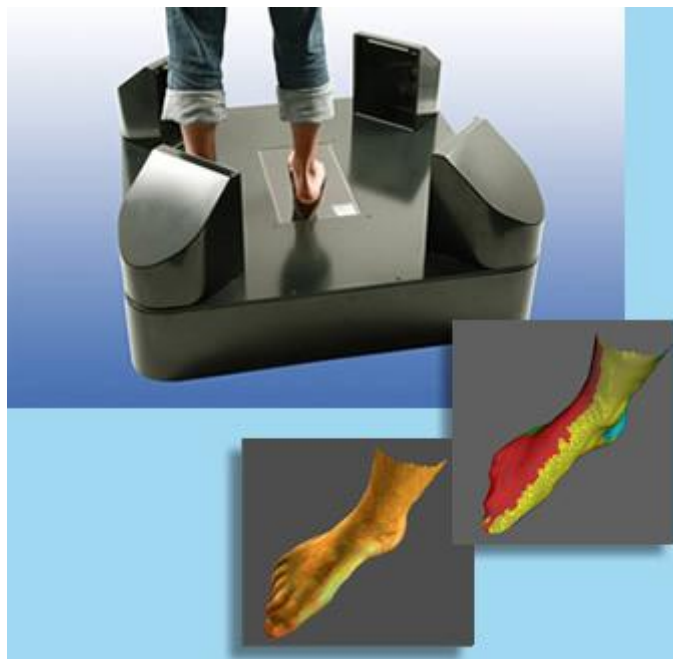
4.3 Τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης

4.3.1 Γενικά πλεονεκτήματα στη δημιουργία ενός πρωτότυπου με τρισδιάστατη εκτύπωση:

- **Εξοικονόμηση χρόνου** (από την ώρα που η ιδέα ενός προϊόντος έχει συλληφθεί μέχρι να είναι διαθέσιμο προς πώληση): Η 3D εκτύπωση δίνει την δυνατότητα για την ανάπτυξη ιδεών πιο γρήγορα από ποτέ. Η δυνατότητα της 3D εκτύπωσης μιας ιδέας την ίδια ημέρα που έχει σχεδιαστεί συντομεύει μια διαδικασία ανάπτυξης, η οποία θα μπορούσε να ήταν μήνες, σε μερικές ημέρες, βοηθώντας τις εταιρείες να είναι ένα βήμα μπροστά στον ανταγωνισμό.
- **Εξοικονόμηση χρημάτων**: Τα εξαρτήματα δημιουργίας μητρών από το πρωτότυπο και έκχυσης, για την δημιουργία προϊόντων είναι δαπανηρές επενδύσεις. Η διαδικασία εκτύπωσης 3D επιτρέπει τη δημιουργία των τμημάτων ή/και εργαλείων μέσω πρόσθετης παραγωγής σε τιμές πολύ χαμηλότερες από ότι η παραδοσιακή μηχανική κατεργασία.

- **Μείωση του κίνδυνου αποτυχίας:** Το να μπορεί να ελεγχθεί ένα σχέδιο πριν από την έκχυση σε ένα ακριβό εργαλείο μορφοποίησης, είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Η εκτύπωση ενός έτοιμου για παραγωγή πρωτότυπου δημιουργεί εμπιστοσύνη πριν από την πραγματοποίηση της διαδικασίας παραγωγής, η οποία είναι αρκετά δαπανηρή. Είναι πολύ φθηνότερο να γίνει 3D εκτύπωση ενός δοκιμαστικού πρωτότυπου και στη συνέχεια να επανασχεδιαστεί ή να τροποποιηθεί μια υπάρχουσα μήτρα.
- **Σαφής επικοινωνία:** Περιγράφοντας το προϊόν που πρόκειται να παραδοθεί, συχνά παρερμηνεύεται, δεδομένου ότι αφήνει την κατασκευή στη φαντασία. Η εννοιολογική εικόνα του προϊόντος είναι καλύτερη από την περιγραφή, αλλά η ύπαρξη ενός χειροπιαστού προϊόντος, κάνει πιο σαφή την επικοινωνία.
- **Άποψη:** Με ένα πρωτότυπο, μπορεί να δοκιμαστεί η αγορά, με την παρουσίασή του σε μια εμπορική έκθεση, δείχνοντας το σε πιθανούς αγοραστές ή επενδυτές, ή αντλώντας κεφάλαια από την προ-πώληση του. Το να είναι γνωστή η ανταπόκριση των αγοραστών στο προϊόν πριν πάει πραγματικά στην παραγωγή είναι ένας πολύτιμος τρόπος ελέγχου για το αν το προϊόν έχει δυναμική στην αγορά.
- **Απόκτηση της αίσθησης:** Ένα πράγμα που δεν μπορεί κάποιος να πάρει από μια εικόνα ή ένα εικονικό πρωτότυπο στην οθόνη του υπολογιστή είναι η αίσθηση που έχει όταν το κρατάει στο χέρι του. Για να εξασφαλιστεί εάν η εργονομία και η εφαρμογή ενός προϊόντος είναι ακριβώς σωστές, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και να δοκιμαστεί.
- **Προσωποποίηση:** Με τον κλασικό τρόπο μαζικής παραγωγής, όλα τα μέρη έρχονται από τη γραμμή συναρμολόγησης ή βγαίνουν από την μήτρα τα ίδια. Με την 3D εκτύπωση, μπορεί κανείς να προσωποποιήσει, να προσαρμόσει και να αλλάξει ένα μέρος για να ταιριάζει μοναδικά στις ανάγκες του. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις ιατρικές, οδοντιατρικές και αθλητικές βιομηχανίες.
- **Δημιουργία φαντασίας:** Στη σύγχρονη άνθηση της ψηφιακής τέχνης και του σχεδιασμού, οι δυνατότητες είναι απεριόριστες. Κάποιος μπορεί τώρα να κατασκευάσει σε 3D εκτύπωση σχεδόν οτιδήποτε φανταστεί, μετά την πρακτική σχεδίαση του. Σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, μια ιδέα, όνειρο ή εφεύρεση μπορεί να γίνει από μια απλή σκέψη ένα κατασκευασμένο αντικείμενο που κάποιος μπορεί να το αγγίξει και να το κρατήσει.
- **Σχεδίαση χωρίς περιορισμούς:** Οι περιορισμοί στην κλασική κατεργασία ενός προτύπου περιόριζαν το σχεδιασμό του προϊόντος για πολλά χρόνια. Γεωμετρία που ιστορικά ήταν δύσκολο ή αδύνατο να κατασκευαστεί, όπως οπές που αλλάζουν κατεύθυνση, απραγματοποίητες εξοχές ή τετράγωνες εσωτερικές κοιλότητες, είναι τώρα δυνατόν να κατασκευαστούν.

- **Γρήγορη διαπίστωση αποτυχίας:** Το να είναι εφικτή η γρήγορη δοκιμή ιδεών και η διαπίστωση ότι δεν λειτουργούν, επιταχύνει την ανακάλυψη που οδηγεί σε μια ιδανική λύση. Η 3D εκτύπωση επιτρέπει στον προγραμματιστή του προϊόντος να κάνει ανακαλύψεις σε πρώιμα στάδια, που είναι σχετικά φθηνά, οι οποίες οδηγούν σε καλύτερα προϊόντα και λιγότερο δαπανηρά αδιέξοδα.



Εικόνα 4.12 3D Scanner Ποδιών

4.3.2 Ειδικά πλεονεκτήματα στην απευθείας παραγωγή προϊόντων με τρισδιάστατη εκτύπωση:

- **Εξατομίκευση:** Η κατασκευή ενός προϊόντος, όπως μία σόλα παπουτσιού, με 3D εκτύπωση, δίνει την δυνατότητα του σχεδιασμού μοναδικών προϊόντων, με αισθητικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν επιλεγεί ώστε να ταιριάζουν απόλυτα στον πελάτη.
- **Μείωση του κόστους:** Πετυχαίνει εξοικονόμηση κόστους έως και 70%, διότι δεν χρησιμοποιούνται μήτρες. Εξοικονομεί μια σειρά από αρκετά βήματα, αρκετό χρόνο και λιγότερο ανθρώπινο δυναμικό καθώς μεταβαίνει από το σχεδιασμό στην παραγωγή πολύ σύντομα και για μικρό αριθμό παραγγελιών. Επιπλέον χρησιμοποιεί φθηνότερες και μερικές φορές πιο αξιόπιστες πρώτες ύλες.
- **Γρήγορη παραγωγή:** Με τους βιομηχανικούς 3D εκτυπωτές να είναι σε θέση να κατασκευάσουν τα περισσότερα αντικείμενα μέσα σε λίγες ώρες, οι κλασικές μέθοδοι παραγωγής, που χρειάζονται έως και αρκετές ημέρες ή ακόμη και εβδομάδες (από το πρωτότυπο μέχρι το τελικό προϊόν), με τον καιρό θα θεωρούνται απαρχαιωμένες. Δεν χρειάζεται να υπάρχουν αποθήκες γεμάτες με

προϊόντα εφόσον αυτά μπορούν να παραχθούν γρήγορα, ανάλογα με την ζήτηση. Ακόμα κι αν αυτό το μοντέλο δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει με τους μεγάλους κατασκευαστές λόγω της εξάρτησής τους από τους πωλητές λιανικής που αγοράζουν συνήθως σε μεγάλες ποσότητες, μπορεί να αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματικό για μια ηλεκτρονική επιχείρηση.

- **Λιγότερα απόβλητα:** Η κατασκευή μεταλλικών και πλαστικών αντικειμένων ειδικότερα, είναι συνήθως μια σπάταλη διαδικασία με πεπλατυσμένα μέρη και πολύ πλεονάζων υλικό. Για ορισμένους κατασκευαστές αεροσκαφών, μέχρι το 90% του υλικού που απομακρύνεται δεν είναι πλέον χρήσιμο. Κατασκευάζοντας ένα παρόμοιο αντικείμενο τη χρήση 3D εκτύπωσης όχι μόνο χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια, αλλά επίσης μειώνει τα απόβλητα στο ελάχιστο. Και μερικές φορές, το τελικό 3D εκτυπωμένο προϊόν μπορεί να είναι έως και 60% ελαφρύτερο σε σχέση με αυτό της κλασικής μεθόδου, αλλά παραμένει το ίδιο ανθεκτικό. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί σημαντική μείωση του κόστους και επίσης λιγότερα απόβλητα σημαίνει επίσης μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον.
- **Καλύτερη ποιότητα:** Η κλασική μέθοδος παραγωγής δεν εξασφαλίζει την ομοιογένεια του υλικού σε όλο το σώμα του προϊόντος, σε αντίθεση με την μέθοδο της 3D εκτύπωσης η οποία λόγω του ότι χτίζει το αντικείμενο layer by layer, πετυχαίνει την τελειότητα μέσα από ένα πλήρη έλεγχο για το που κάθε στρώμα τοποθετείται και πως συνδυάζεται με τα υπόλοιπα. Αποφεύγοντας τα περισσότερα ελαττώματα της παραδοσιακής μαζικής κατασκευής δεν δημιουργούνται μόνο καλύτερα προϊόντα, αλλά επεκτείνεται και η διάρκεια ζωής τους, δεδομένου ότι θα καταστραφούν λιγότερο συχνά. Αυτό δεν είναι απαραίτητα ένα όφελος για τους κατασκευαστές που χρειάζονται ο κύκλος ζωής ενός προϊόντος να είναι επικερδής, αλλά είναι σίγουρα ένα σημαντικό όφελος για τον τελικό καταναλωτή.
- **Βιωσιμότητα:** Τα λιγότερα απόβλητα σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής δεν είναι μόνο ένα χαρακτηριστικό εξοικονόμησης κόστους της 3D εκτύπωσης, και μια πιθανή φιλική προς το περιβάλλον ιδιότητα. Προσθέτοντας σε αυτό το χαρακτηριστικό της πολλαπλής χρήσης ενός 3D εκτυπωτή (μπορεί να χτίσει διάφορα αντικείμενα, χωρίς την ανάγκη χρήσης εξειδικευμένων μηχανημάτων για κάθε μέρος) και το ψηφιακό σύστημα τους (όλα τα μοντέλα 3D διαβιβάζονται ηλεκτρονικά, οπότε θεωρητικά μπορούν να εκτυπώσουν όπου αυτό είναι απαραίτητο, ελαχιστοποιώντας ως εκ τούτου, το κόστος μεταφοράς) με αποτέλεσμα μία βιώσιμη διαδικασία παραγωγής.
- **Νέα σχήματα και κατασκευές:** Οι παραδοσιακές μέθοδοι παρασκευής βασίζονται σε καλούπια (μήτρες) και τεχνολογίες κοπής για την παραγωγή ενός πεπερασμένου αριθμού σχημάτων και κατασκευών, με πιο σύνθετες εκείνες που χρειάζεται να δημιουργηθούν από διάφορα μέρη και στην συνέχεια να συναρμολογηθούν μαζί. Όμως η 3D εκτύπωση το αλλάζει αυτό εντελώς. Το ακροφύσιο του εκτυπωτή 3D

μπορεί να χτίσει έναν άπειρο αριθμό πολύπλοκων σχημάτων, που περιορίζονται μόνο από την ανθρώπινη φαντασία. Η μέθοδος αυτή τους δίνει περισσότερη ανθεκτικότητα και υψηλότερη δομική ακεραιότητα. Από ιατρικά εμφυτεύματα που μοιάζουν με οστά σε αεροδυναμικά εξαρτήματα για το χώρο της βιομηχανίας και από το μοναδικά σχήματα επίπλων σε 3D τυπωμένα κοσμήματα, οι δυνατότητες είναι ατελείωτες.

- **Νέοι συνδυασμοί υλικών:** Η ανάμειξη διαφόρων πρώτων υλών δεν είναι πάντα δυνατή με τις μεθόδους μαζικής παραγωγής λόγω του ενίοτε υψηλού κόστους και των φυσικών και χημικών τους ιδιοτήτων που καθιστούν δύσκολο τον συνδυασμό τους με τις παραδοσιακές μεθόδους. Η 3D εκτύπωση έχει αφαιρέσει πολλούς από αυτούς τους περιορισμούς, όχι μόνο λόγω της αρχικής της εξάρτησης από το πλαστικό (που είναι μία από τις λίγες πρώτες ύλες που λιώνουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες) αλλά και λόγω συνεχών καινοτομιών, που δεν έχει επιτύχει ακόμα η παραδοσιακή μέθοδος. Ως αποτέλεσμα, πολλές εταιρείες προσφέρουν πλέον δεκάδες διαφορετικά υλικά με διαφορετικά φινιρίσματα, δίνοντας την εμφάνιση και την αίσθηση του μετάλλου, κεραμικού ή γυαλιού με στερεότητα και αντοχή στη θερμοκρασία.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΣΟΛΑΣ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ ΑΝΤΙΣΦΑΙΡΙΣΗΣ

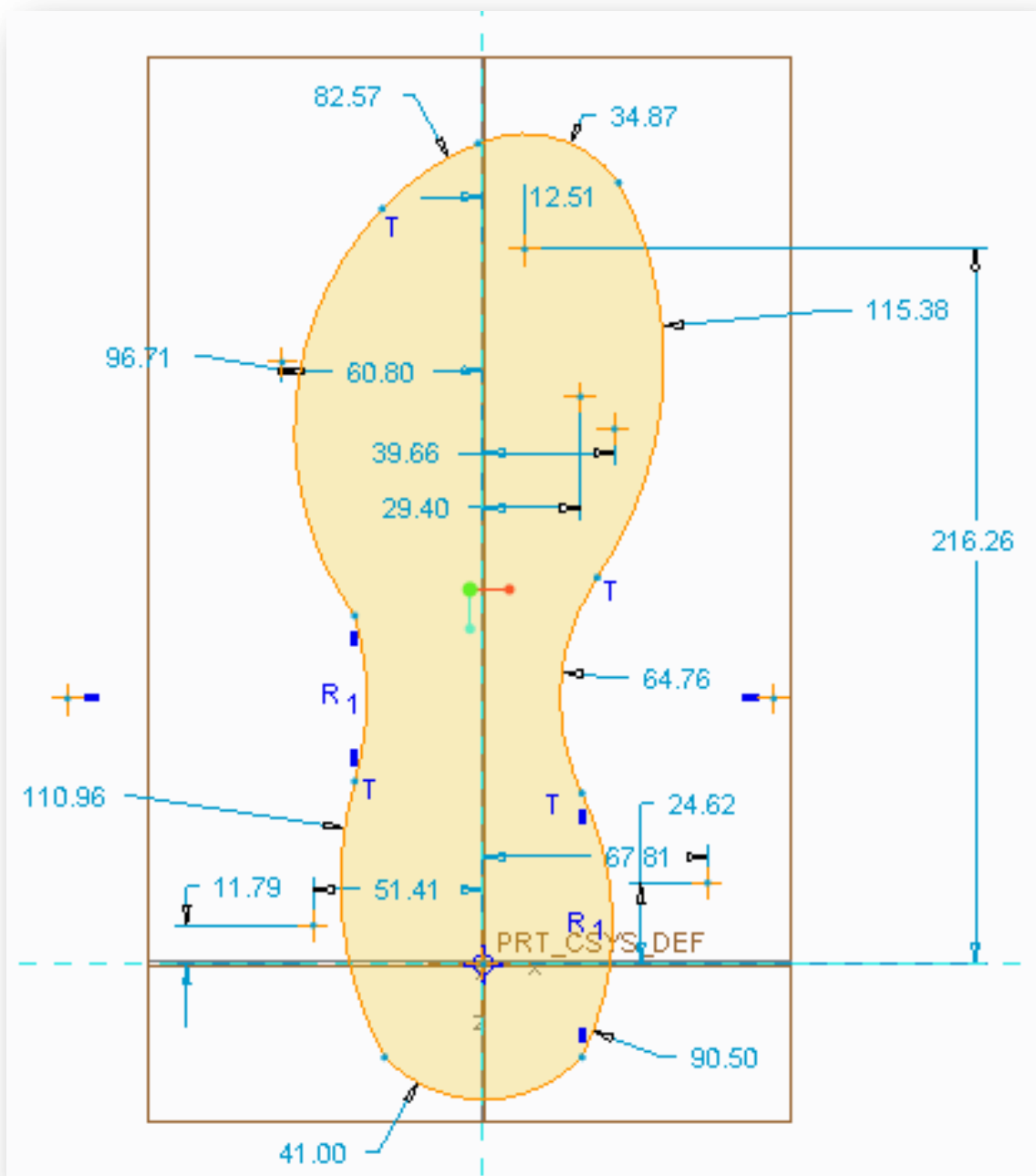
Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας, αποφάσισα να σχεδιάσω μία εξωτερική σόλα αθλητικού παπουτσιού αντισφαίρισης, με μία ποικιλία απαραίτητων χαρακτηριστικών που απαιτεί ο τρόπος παιχνιδιού του αθλήματος, την οποία, στη συνέχεια, εκτύπωσα με τη βοήθεια τρισδιάστατου εκτυπωτή που βρίσκεται στο εργαστήριο CAD. Η ιδέα προέκυψε από την πολυετή ενασχόληση μου με το συγκεκριμένο άθλημα, πρώτα ως αθλητής και πλέον ως προπονητής. Το υπόδημα που θα φέρει τη σόλα κατατάσσεται στην κατηγορία **all court** (για κάθε επιφάνεια), λόγω του συνδυασμού των χαρακτηριστικών που φέρει. Το μοντέλο που θα παρουσιαστεί προορίζεται για το **δεξιό** πόδι.



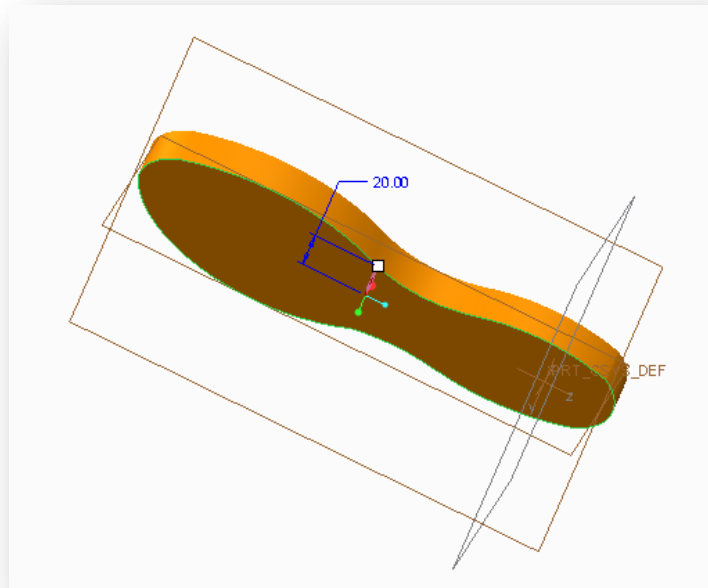
5.1 Σχεδίαση της εξωτερικής σόλας

Το αντικείμενο σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα **Creo 2.0 Parametric**, ένα διαδομένο λογισμικό μοντελοποίησης που βασίζεται σε CAD/CAM/CAE μεθόδους.

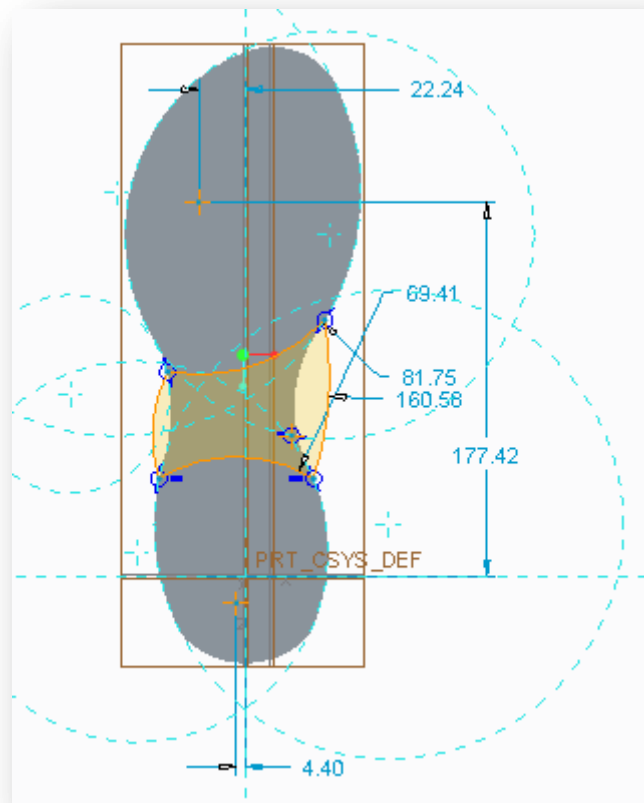
Αρχικά, με την εντολή **SKETCH**, σχεδιάστηκε το περίγραμμα της εξωτερικής σόλας στο επίπεδο.



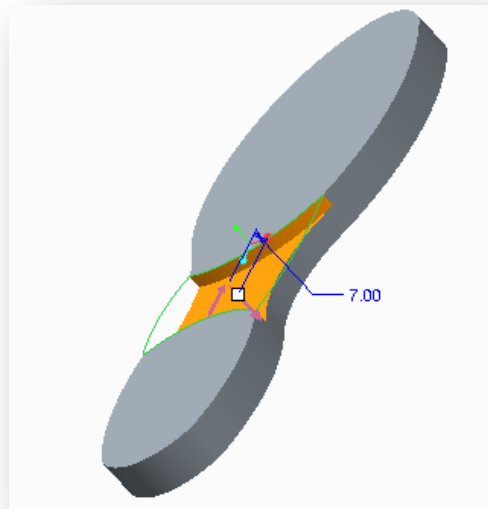
Στη συνέχεια δόθηκε το επιθυμητό πάχος σε αυτό το περίγραμμα, μέσω της εντολής **EXTRUDE**, με την επιλογή προσθήκης υλικού:



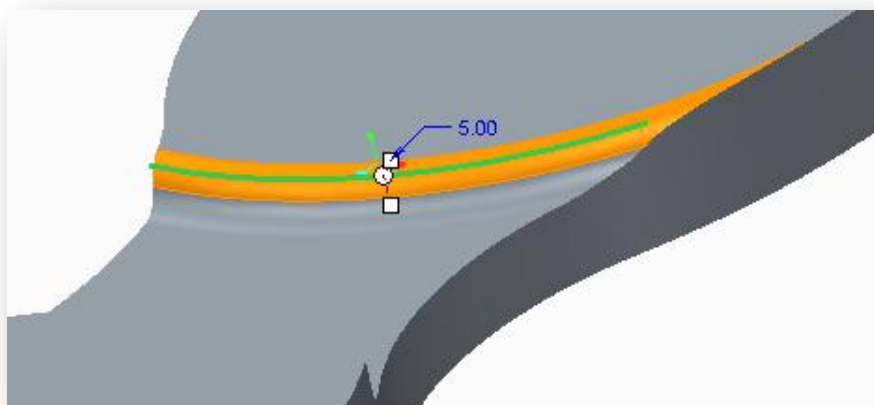
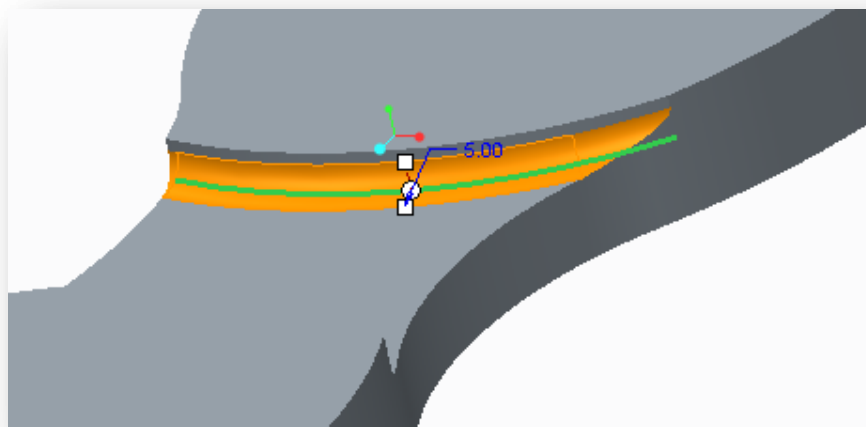
Στην κάτω επιφάνεια του τρισδιάστατου μοντέλου που δημιουργήθηκε, σχεδιάστηκε παρομοίως η περιοχή που αποτελεί τη μέση ζώνη (ισθμό) του υποδήματος:



Με τη χρησιμοποίηση της εντολής **EXTRUDE**, δημιουργήθηκε η μέση ζώνη, αυτή τη φορά με την **αφαίρεση υλικού**. Με τις κατάλληλες τροποποιήσεις που θα ακολουθήσουν, θα αποτελέσει το σημείο που θα τοποθετηθεί η καμάρα (arch) του υποδήματος:

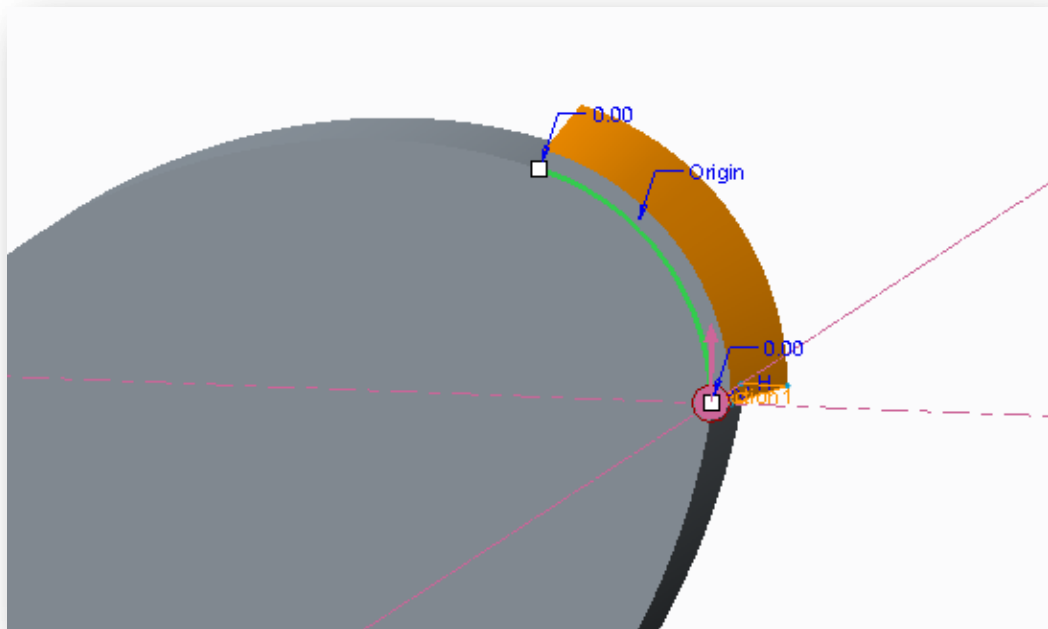


Οι ακμές της μέσης ζώνης στρογγυλοποιήθηκαν με την εντολή **ROUND**:

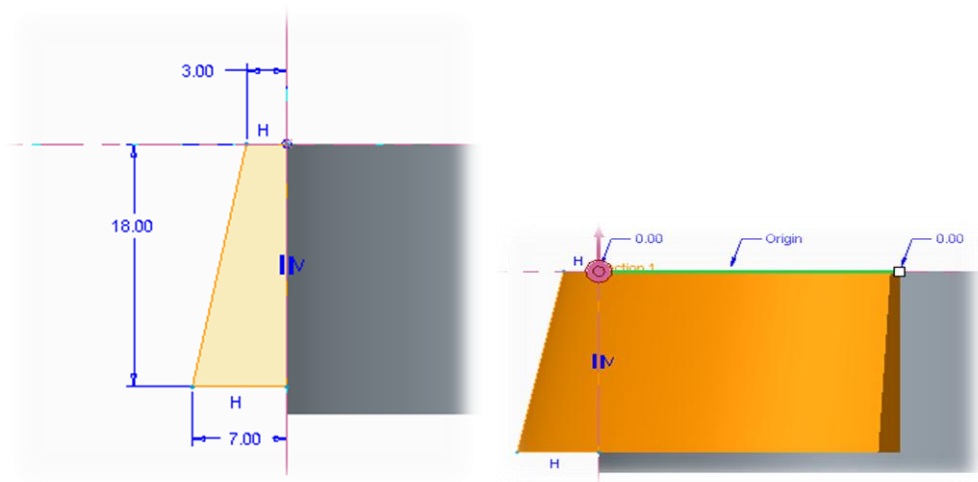


Στη συνέχεια, σχεδιάστηκε το κομμάτι της εξωτερικής σόλας που καλύπτει το εμπρόσθιο μέρος του άνω τμήματος μέχρι το ύψος των δακτύλων (εκεί που βρίσκεται η άκρη του υποδήματος).

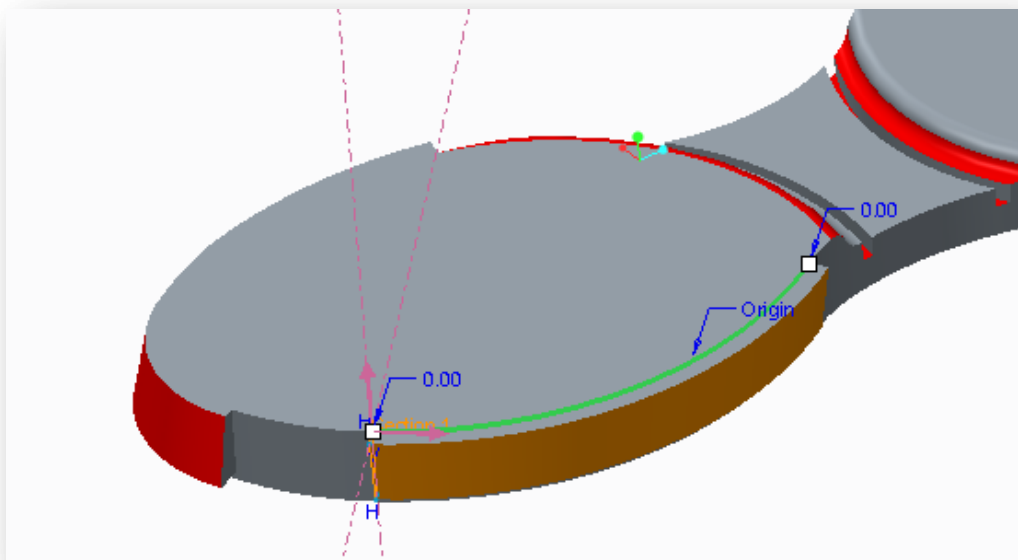
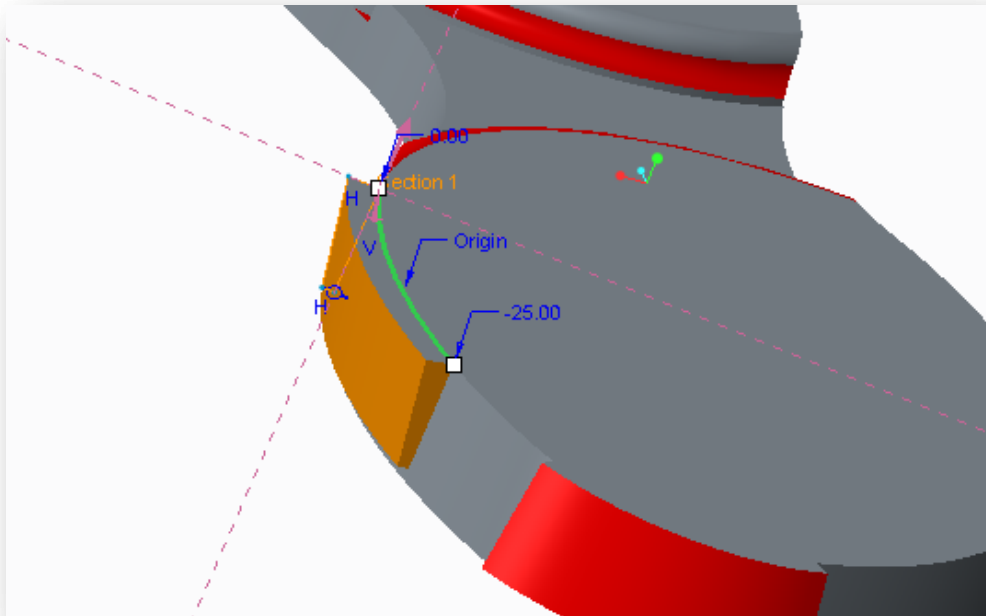
Με την εντολή **SWEEP**, επιλέχτηκε μέρος της ακμής ως την τροχιά που θα ακολουθήσει η διατομή που σχεδιάζεται ακολούθως:



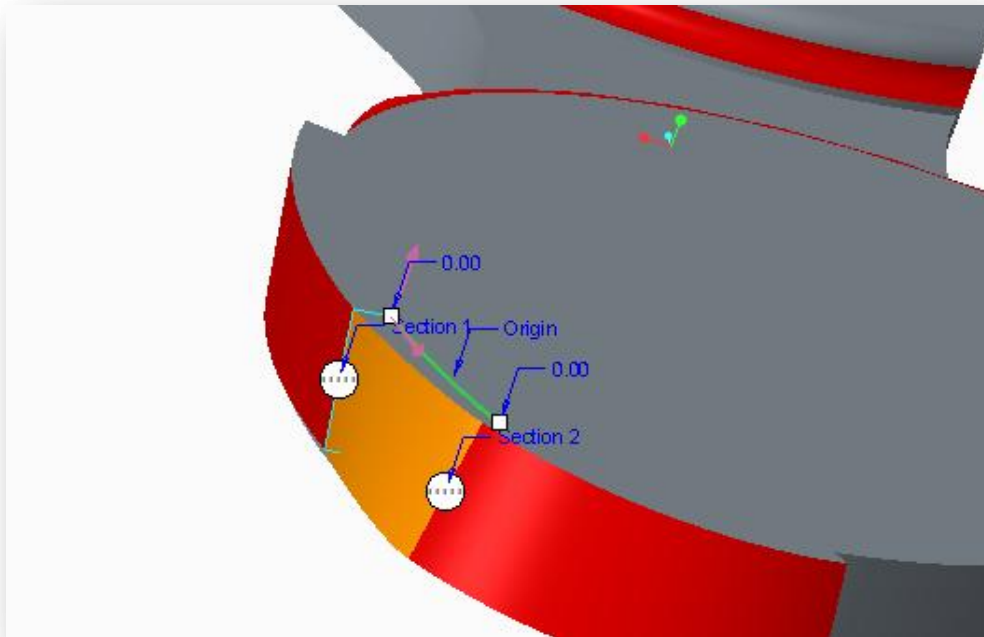
Το σχέδιο της διατομής, και η τροχιά που ακολουθεί στη διεύθυνση της περιμέτρου της εξωτερικής σόλας:



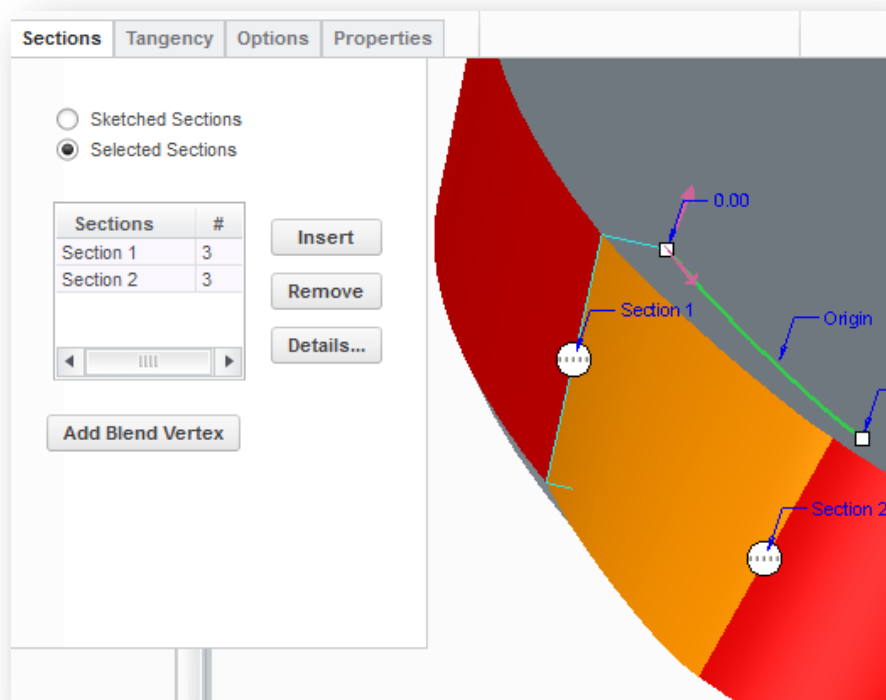
Με τον ίδιο τρόπο σχεδιάστηκαν και οι πλευρικές επικαλύψεις της εξωτερικής σόλας, από την εσωτερική και εξωτερική πλευρά αντίστοιχα, οι οποίες έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στην πρόσφυση του ποδιού στο έδαφος και στην προστασία του υποδήματος από τη φθορά:

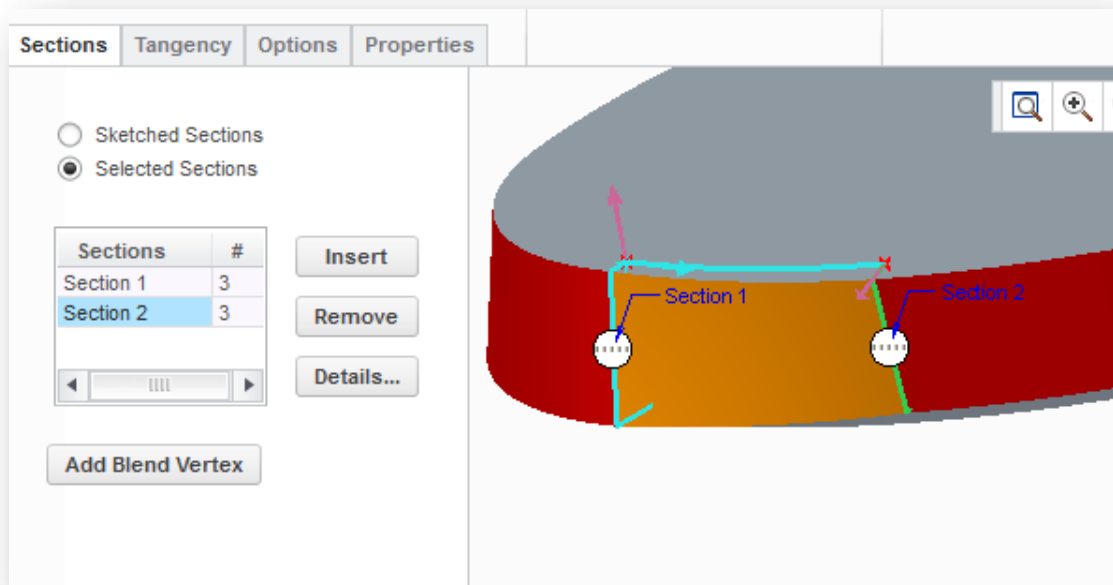


Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την ένωση των πλευρικών καλύψεων με το μέρος που καλύπτει την κορυφή του υποδήματος στα δάκτυλα ήταν το **SWEPT BLEND**.

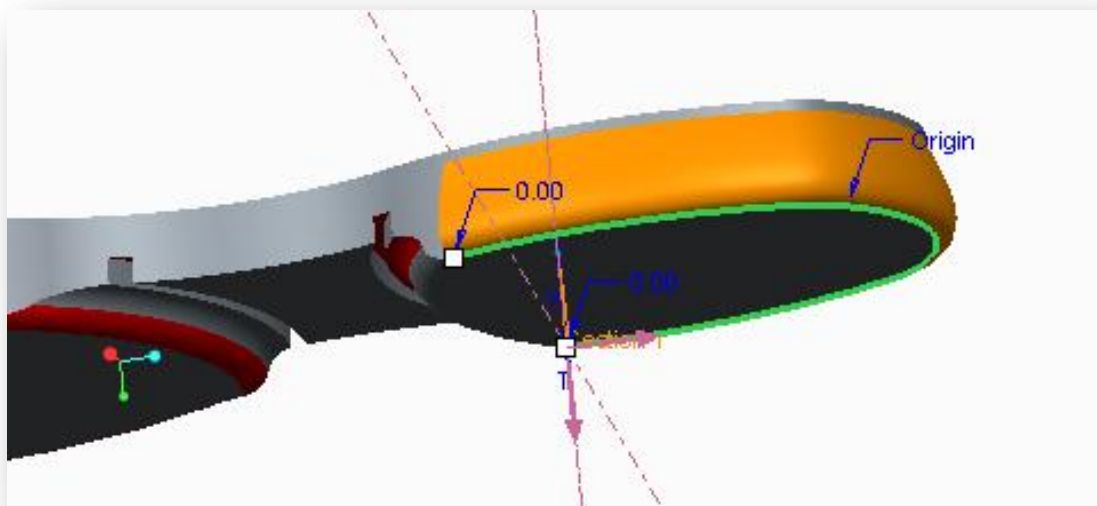


Όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες, παρομοίως με την εργαλείο SWEEP, επιλέγεται αρχικά η επιθυμητή τροχιά και στη συνέχεια οι ακμές ή οι διατομές που θα την ακολουθήσουν.

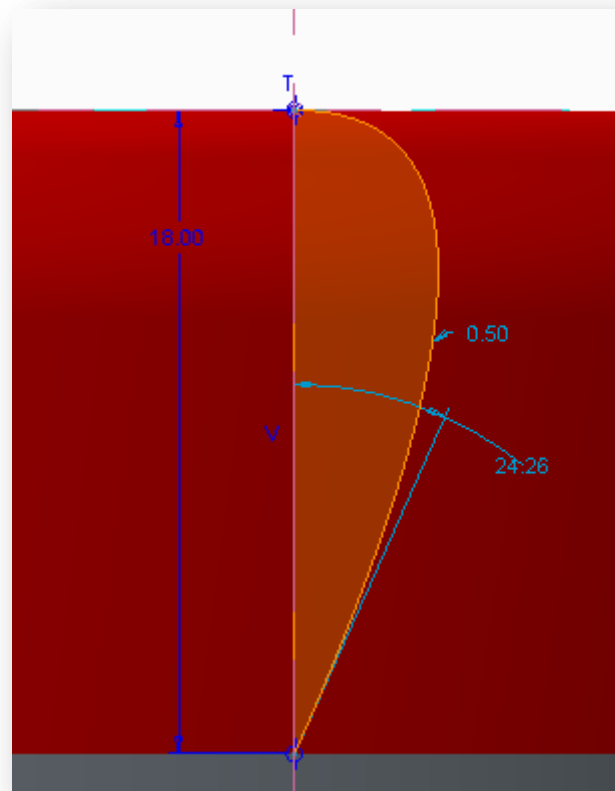




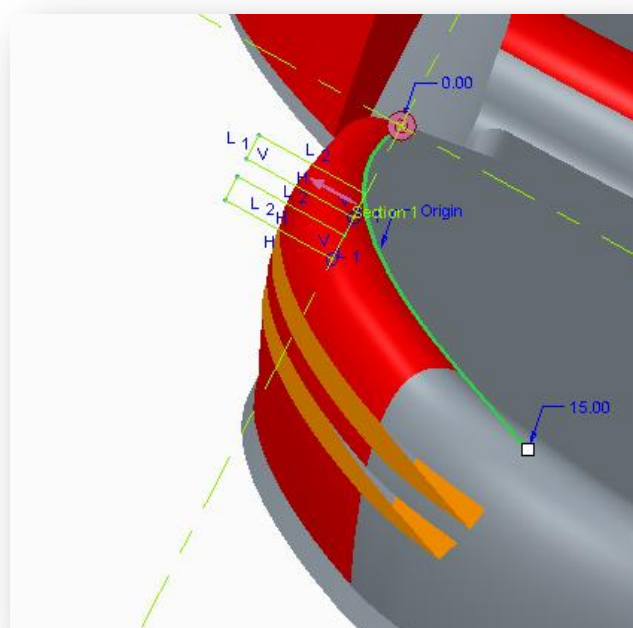
Με την ίδια διαδικασία σχεδιάστηκε και η ενίσχυση στην οπίσθια ζώνη, που καλύπτει περιμετρικά την περιοχή γύρω από το τακούνι. Ο βασικός ρόλος της είναι η συγκράτηση του ποδιού και η απορρόφηση των κραδασμών που είναι ιδιαίτερα έντονοι σε αυτό το σημείο:

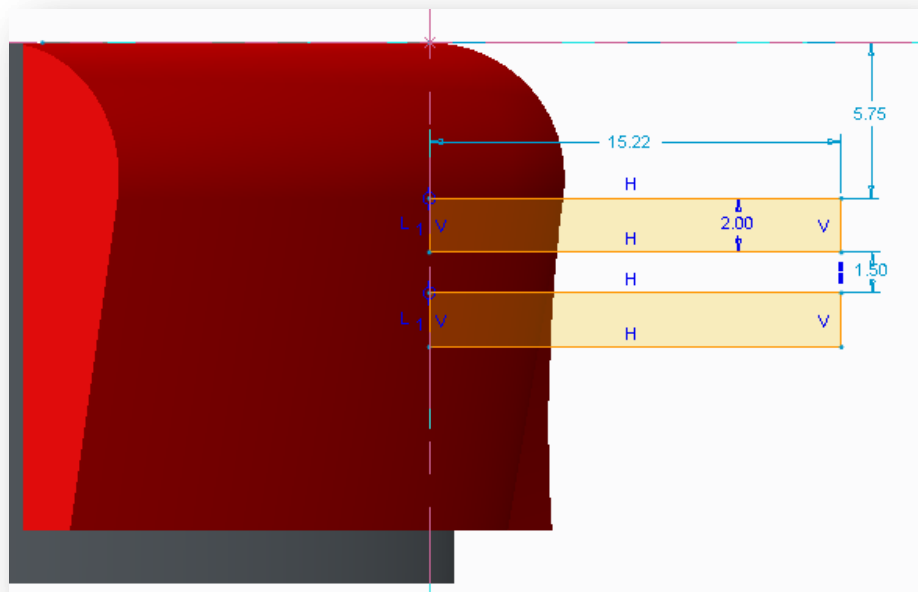


Το σχέδιο της διατομής για την περιμετρική επικάλυψη στο τακούι:

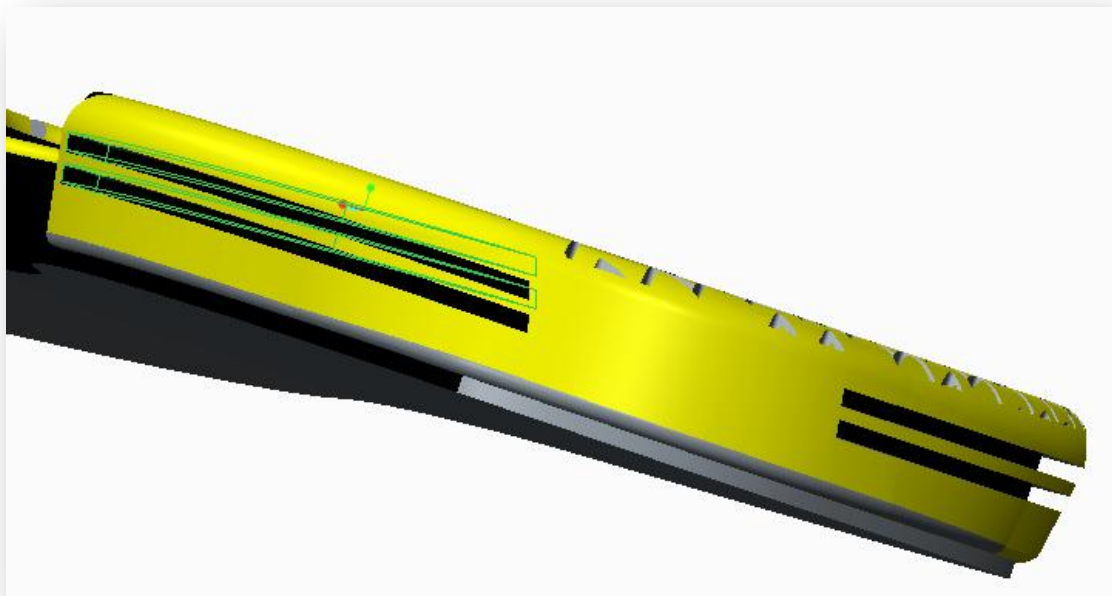


Κατόπιν, σχεδιάστηκαν οι εσοχές των πλευρικών επικαλύψεων του εμπρόσθιου αλλά και του οπίσθιου τμήματος με την εντολή **SWEEP**, αφαιρώντας αυτή τη φορά υλικό. Οι εσοχές αυτές προσδίδουν μεγαλύτερη ελαστικότητα στις πλευρικές επικαλύψεις.

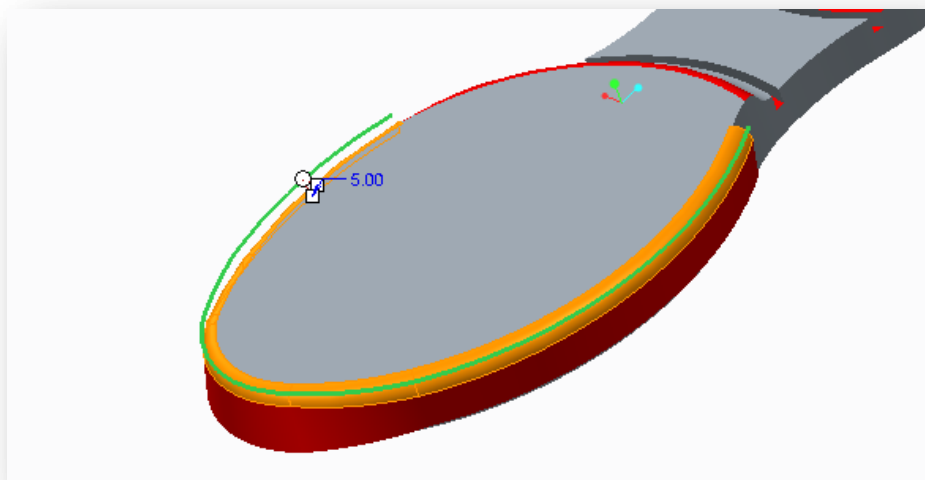




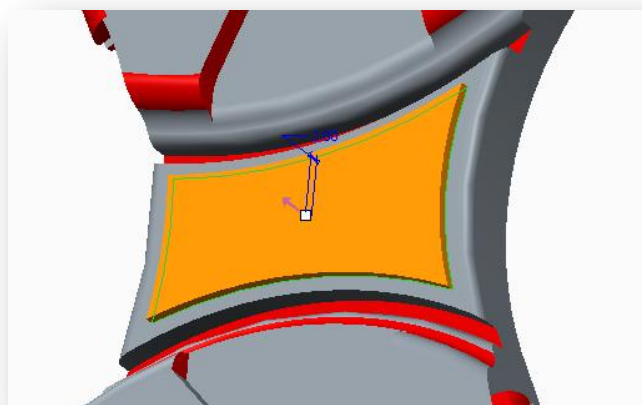
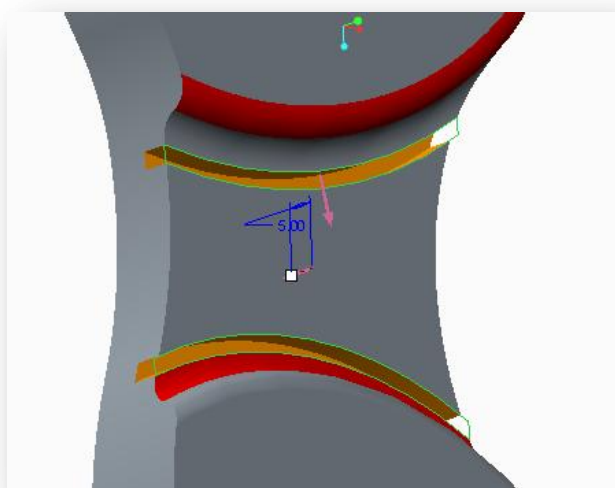
Φυσικά, αυτές οι εσοχές δεν συνεχίζουν στο μέρος της κορυφής του υποδήματος, όπου απαιτείται προσθήκη σκληρού υλικού, όπως προαναφέρθηκε.

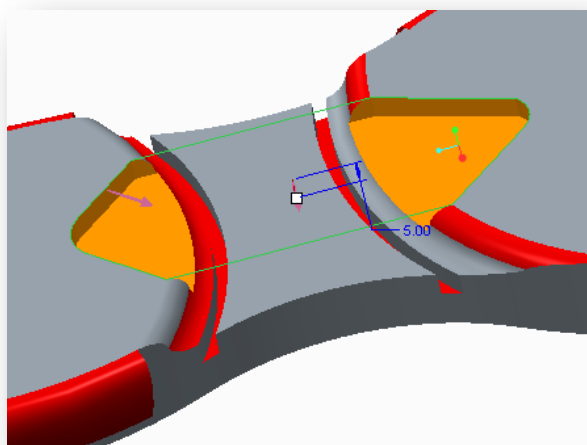


Όλες οι ακμές των πλευρικών επικαλύψεων στρογγυλοποιήθηκαν με το **ROUND TOOL**.

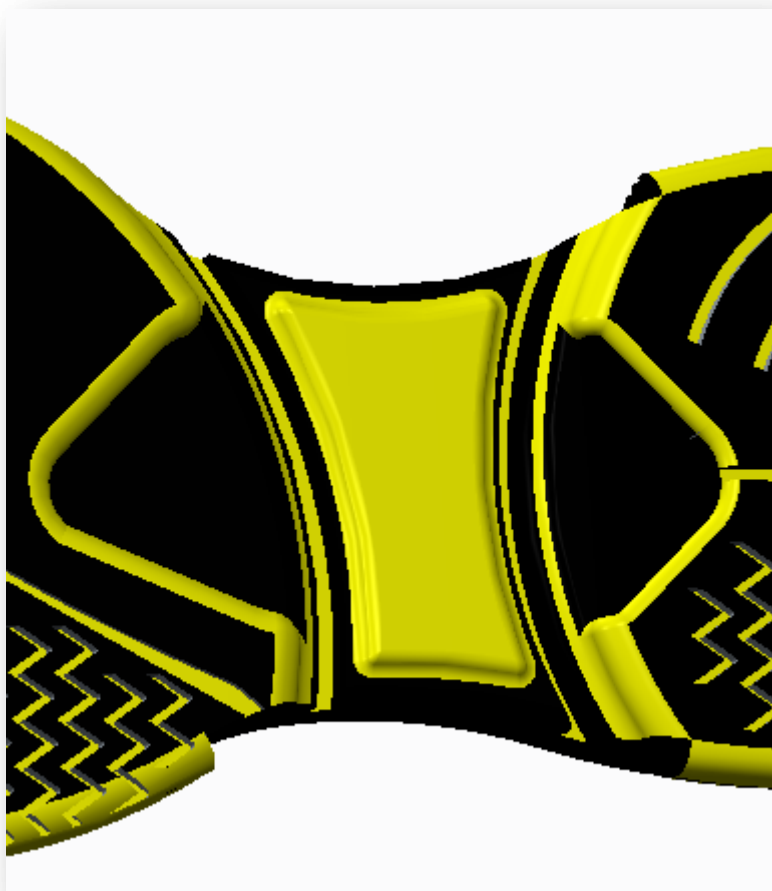


Με συνδυασμό των εντολών **SKETCH** και **EXTRUDE**, σχεδιάστηκαν οι παρακάτω τροποποιήσεις στην μέση ζώνη του υποδήματος, στην περιοχή της καμάρας:





Το τελικό αποτέλεσμα της μέσης ζώνης:

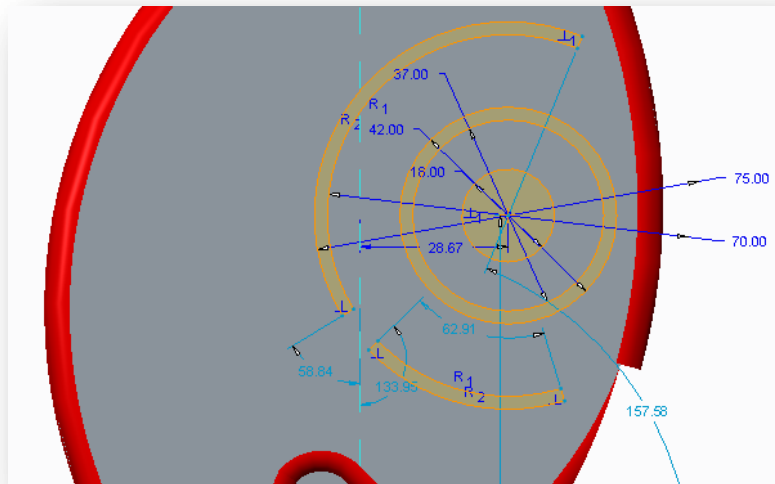


Οι ειδικές εσοχές που υπάρχουν σε αυτή την περιοχή, (λεπτές κάθετες εσοχές από πλευρά σε πλευρά και τριγωνικές εσοχές που εισχωρούν στην εμπρόσθια και την οπίσθια ζώνη αντίστοιχα) θα μπορούσαν να λειτουργήσουν και ως ένα σύστημα σύνδεσης ενός πρόσθετου πλαστικού σκληρού τμήματος το οποίο θα μετέτρεπε σε επίπεδη την επιφάνεια της εξωτερικής σόλας, ανάλογα με τις ιδιαίτερες

ανάγκες του κάθε ποδιού, της εκάστοτε επιφάνειας γηπέδου και τον τρόπο παιχνιδιού που θα ακολουθήσουμε.

Στο επίπεδο της επιφάνειας της εξωτερικής σόλας σχεδιάστηκαν οι αναγκαίες εσοχές και δημιουργήθηκαν με αφαίρεση υλικού.

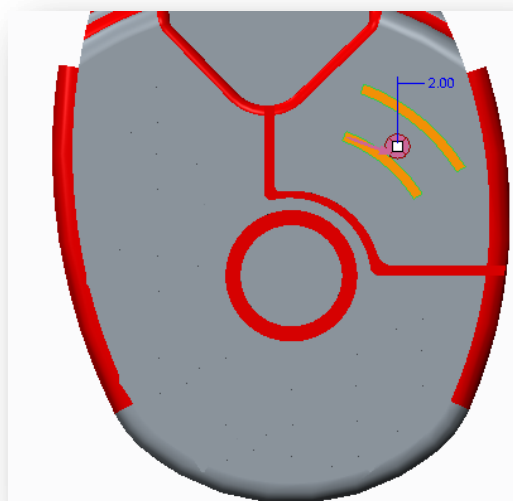
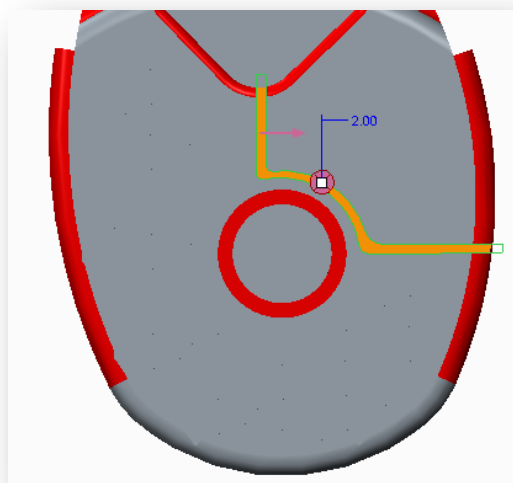
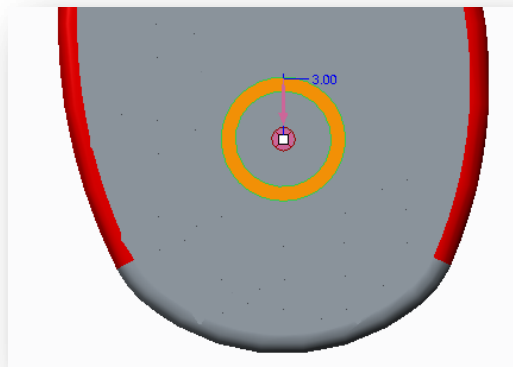
Αρχικά παρουσιάζονται οι κυκλικές εσοχές που καταλήγουν στο κέντρο υποστήριξης του υποδήματος, ένα βασικό χαρακτηριστικό των περισσότερων αθλητικών παπουτσιών για τένις:



Η μακριά λεπτή εσοχή που ακολουθεί υποδηλώνει το διαχωρισμό από τα υλικά διαφορετικής πυκνότητας που χρησιμοποιούνται δεξιά και αριστερά της. Το σκληρότερο υλικό εισάγεται στην εσωτερική πλευρά της σόλας (όπως βλέπουμε το σχέδιο στα δεξιά):

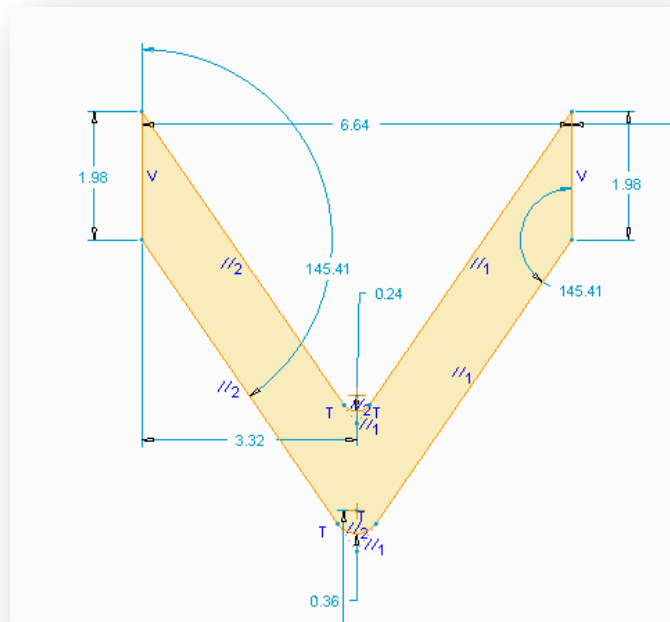


Το ίδιο ισχύει και για την οπίσθια ζώνη του υποδήματος:

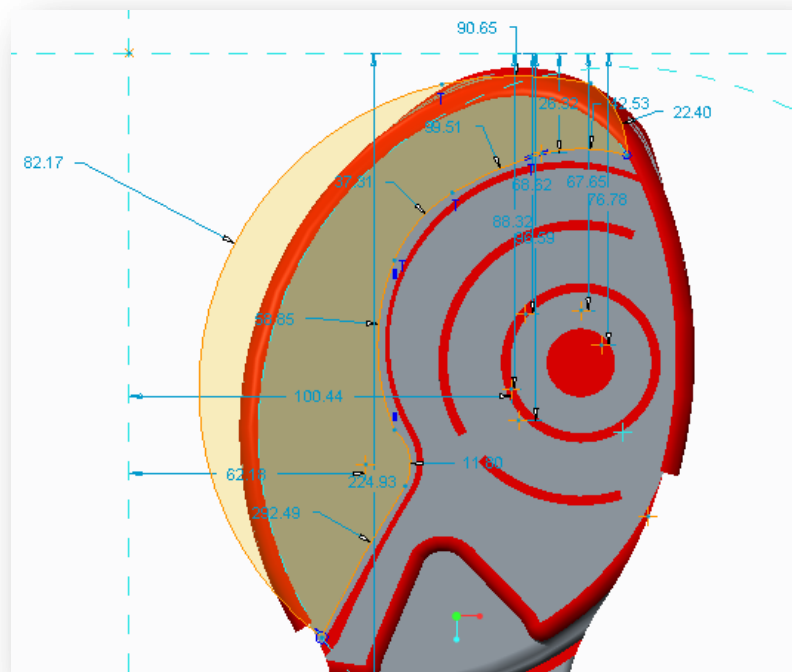


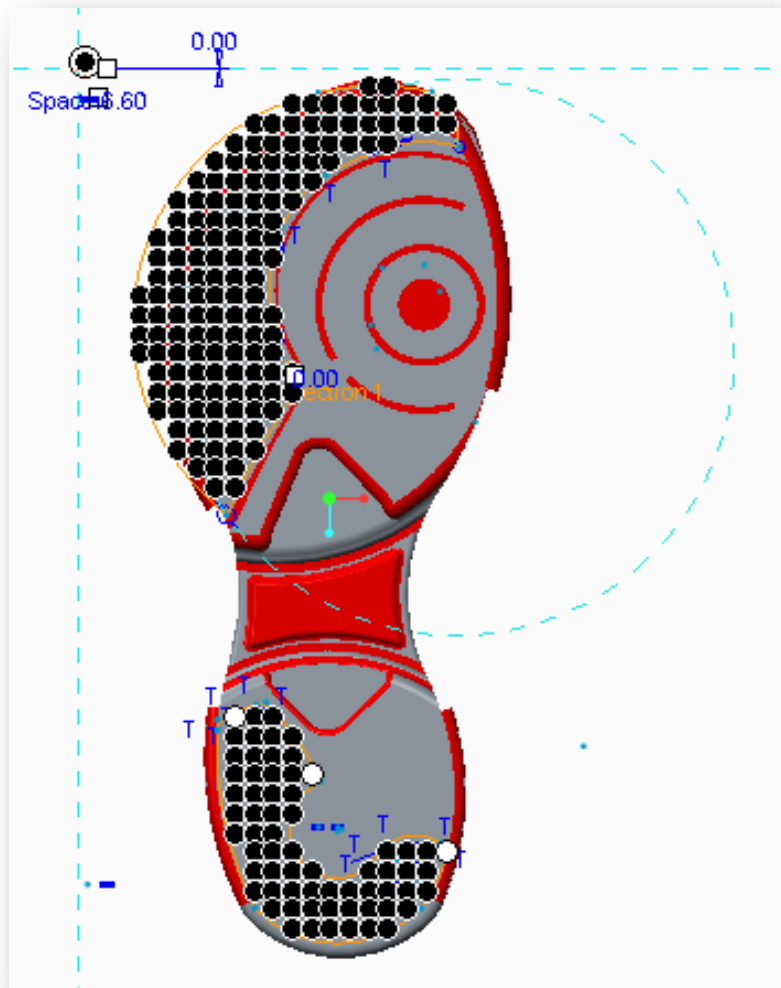
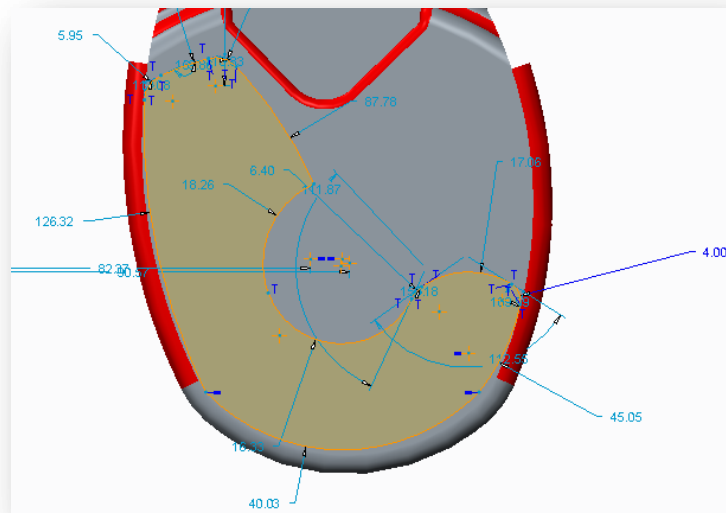
Χαρακτηριστικό των εξωτερικών σολών για τένις, είναι οι εσοχές που στοιχίζονται σε συγκεκριμένα γεωμετρικά μοτίβα (Flexgrooves). Εδώ προτιμήθηκε η γεωμετρία Herringbone, πιο συνηθισμένη στην κατηγορία παπουτσιών για χωμάτινες επιφάνειες.

Αρχικά σχεδιάστηκε το σχήμα ενός Flex groove, το οποίο υποβλήθηκε σε **EXTRUDE**.



Έπειτα, με την εντολή **PATTERN** και την επιλογή **FILL** δημιουργήθηκε το επιθυμητό πλέγμα στις συγκεκριμένες περιοχές που σχεδιάστηκαν παρακάτω:

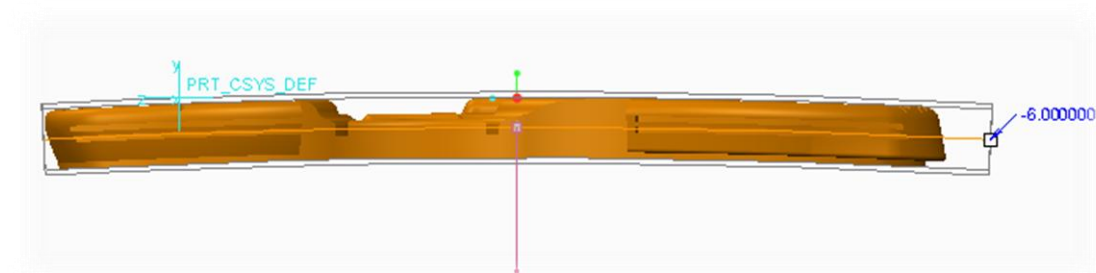
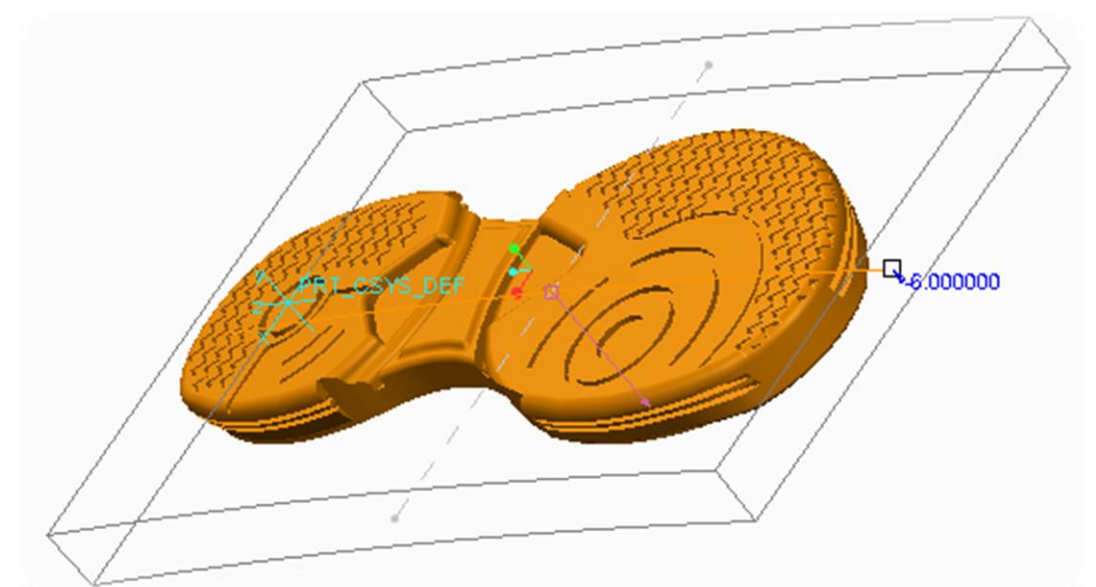




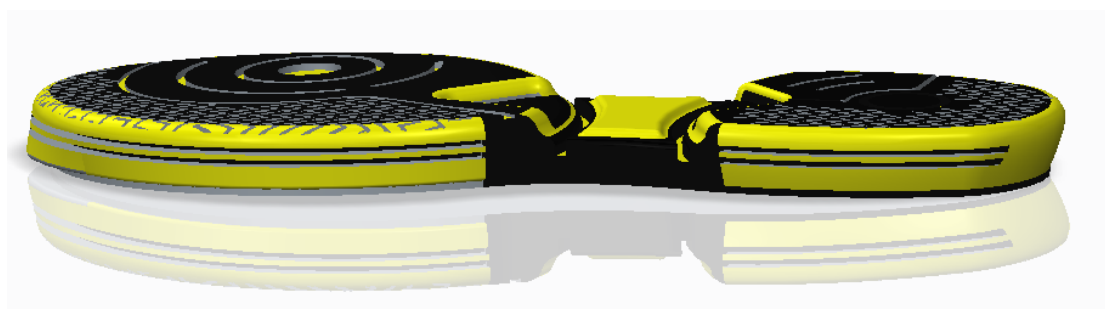
Το τελικό αποτέλεσμα των **Flexgrooves**:



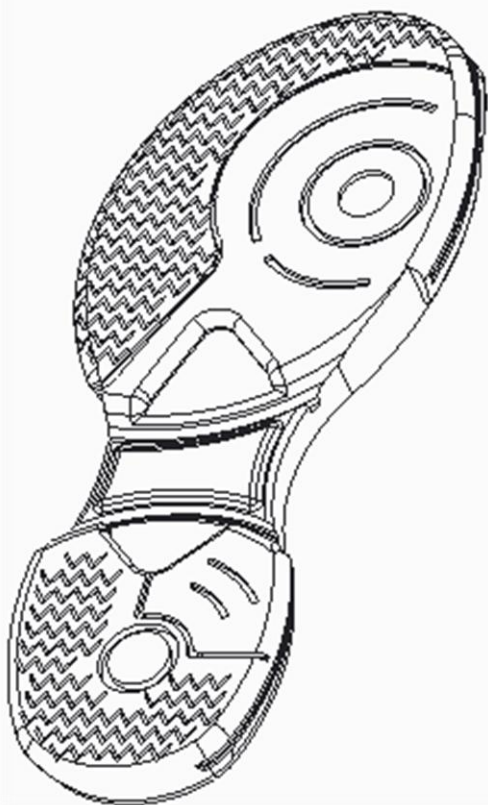
Όλα τα χαρακτηριστικά έχουν προστεθεί στη σόλα και η μόνη ενέργεια που απομένει είναι να της δοθεί η απαραίτητη καμπύλη στην επιφάνεια της, που συνοδεύει την πλειοψηφία των αθλητικών παπουτσιών. Αυτό επιτεύχθηκε με την εντολή **WARP**, μέσω του εργαλείου **BEND**, που μας επιτρέπει να «λυγίσουμε» ολόκληρο το μοντέλο προς όποια διεύθυνση επιθυμούμε:



Η τελική μορφή του μοντέλου με την προσθήκη καμπύλης:



Το τελικό αποτέλεσμα της σχεδίασης από διαφορετικές όψεις:

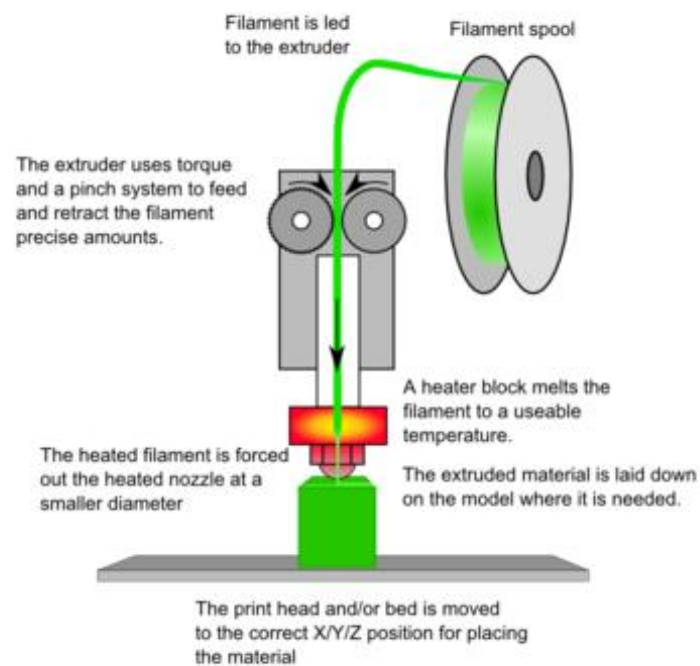
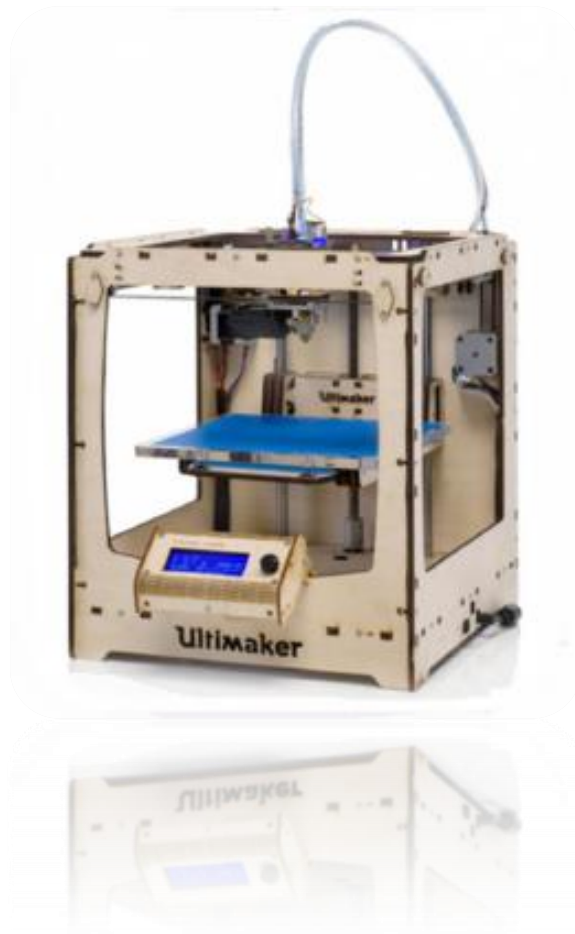




5.2 Τρισδιάστατη εκτύπωση της εξωτερικής σόλας

Η εκτύπωση του σχεδιασμένου αντικειμένου πραγματοποιήθηκε με τον τρισδιάστατο εκτυπωτή Ultimaker Original. Η ποιότητα εκτύπωσης που παρέχει σε συνδυασμό με τον όγκο χτισίματος του, είναι εξαιρετική, για την χαμηλή, σχετικά, τιμή του. Είναι κατασκευασμένος από ξύλο και χρησιμοποιεί τη μέθοδο Fused Filament Fabrication (FFF). Είναι μια διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης, κατά την οποία χρησιμοποιείται ένα συνεχές νήμα από θερμοπλαστικό υλικό, το οποίο τροφοδοτείται από ένα μεγάλο πηνίο, μέσω μιας κινούμενης, θερμαινόμενης κεφαλής εξώθησης, διαμέτρου 0.4mm. Το τετηγμένο υλικό, εξωθείται από το ακροφύσιο της κεφαλής εκτύπωσης και τοποθετείται στο τεμάχιο που

κατασκευάζεται. Ο εκτυπωτής συνδέεται με καλώδιο USB στον υπολογιστή αλλά μπορεί και να δεχτεί κάρτα SD. Μέσω ειδικού λογισμικού καθορίζονται η ταχύτητα της κεφαλής, η θερμοκρασία και άλλοι σημαντικοί παράμετροι της εκτύπωσης.

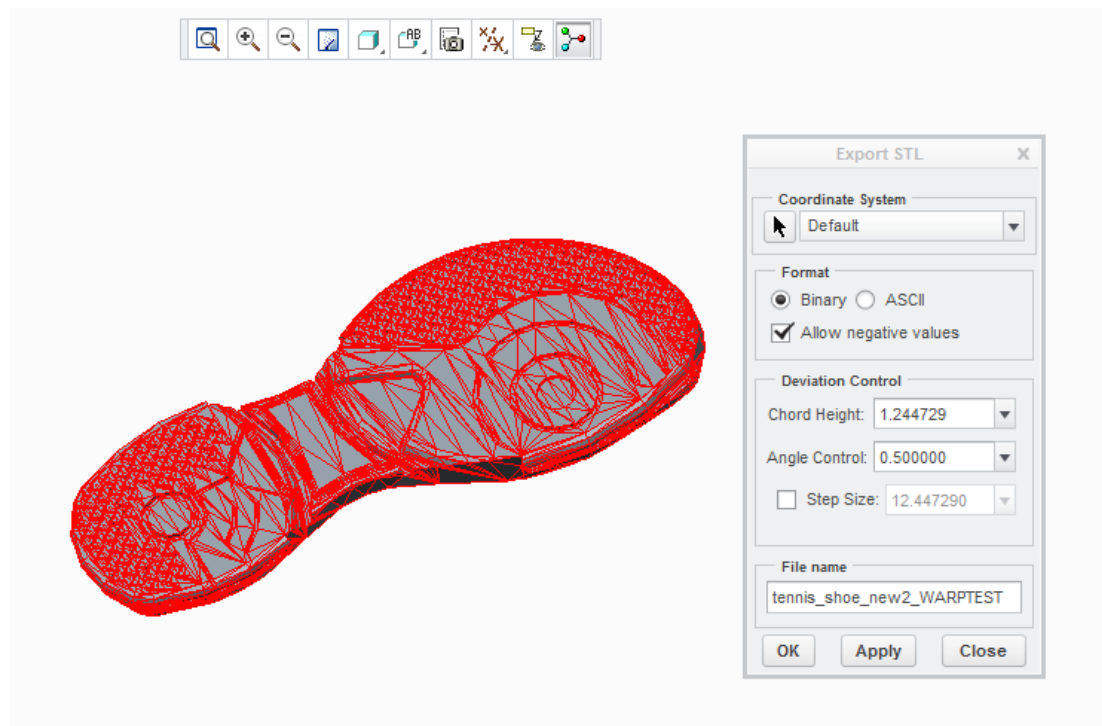
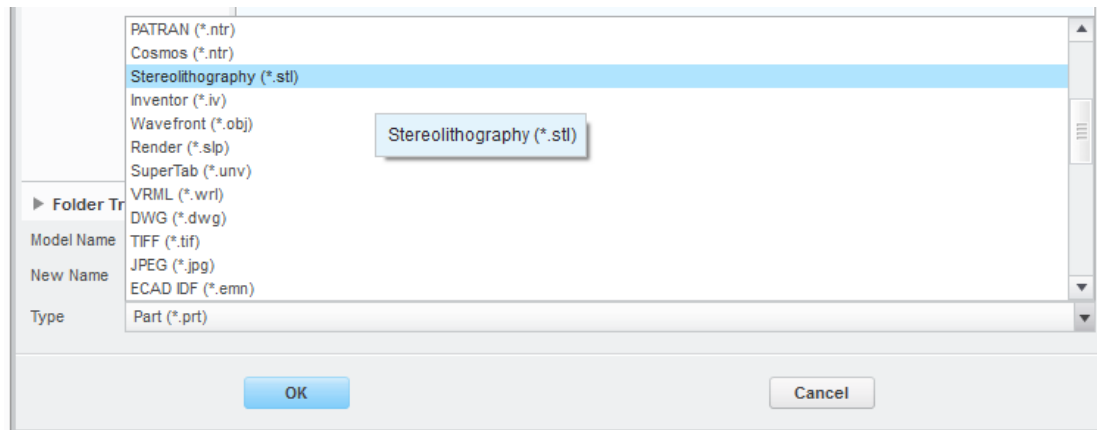


Εικόνα 5.1 Fused Filament Method

5.2.1 Προετοιμασία της εκτύπωσης

Το πρόγραμμα **Cura**, που χρησιμοποιήθηκε, είναι ένα open source λογισμικό, που συνδέεται με τον εκτυπωτή και τον εντοπίζει αυτόματα.

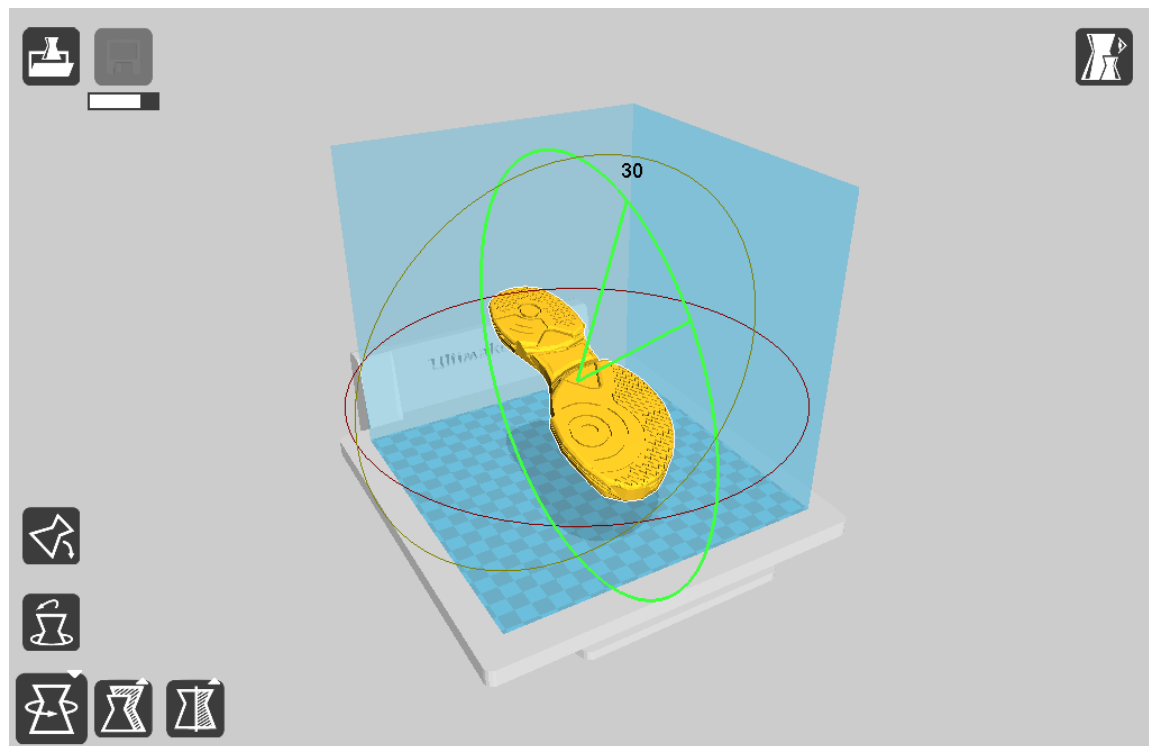
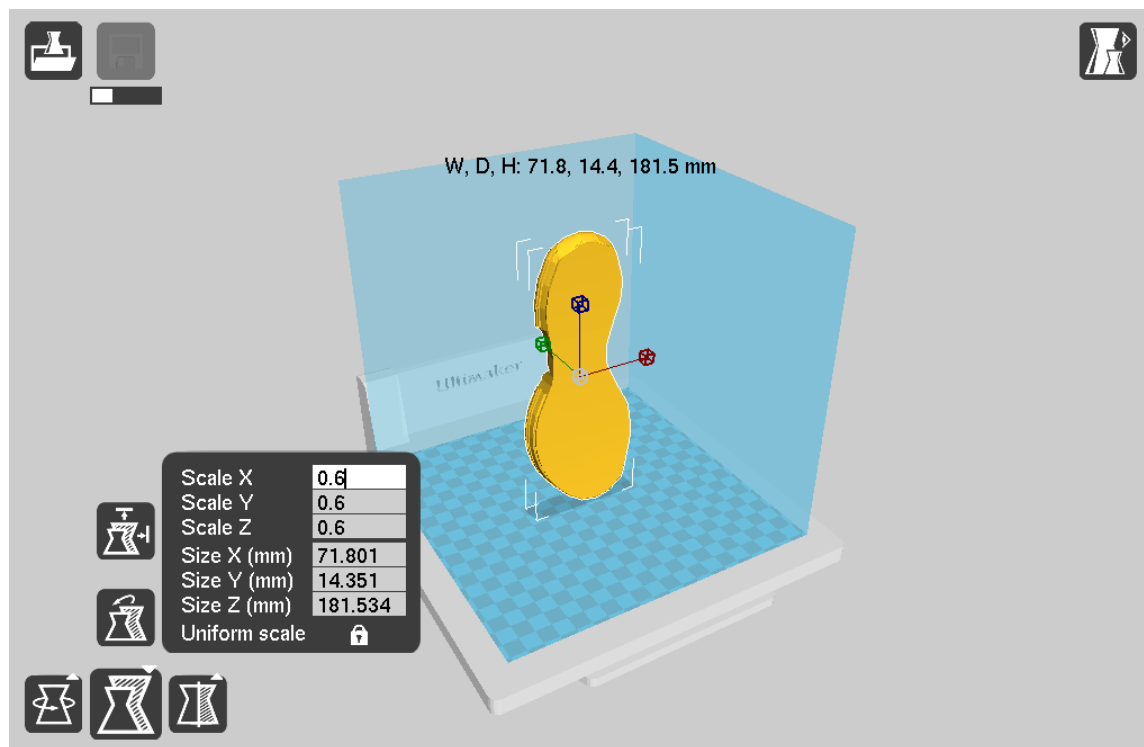
Αρχικά, το πρότυπο που σχεδιάστηκε στο **Creo 2.0 Parametric** πρέπει να μετατραπεί σε αρχείο **.stl** (στερεολιθογραφία).

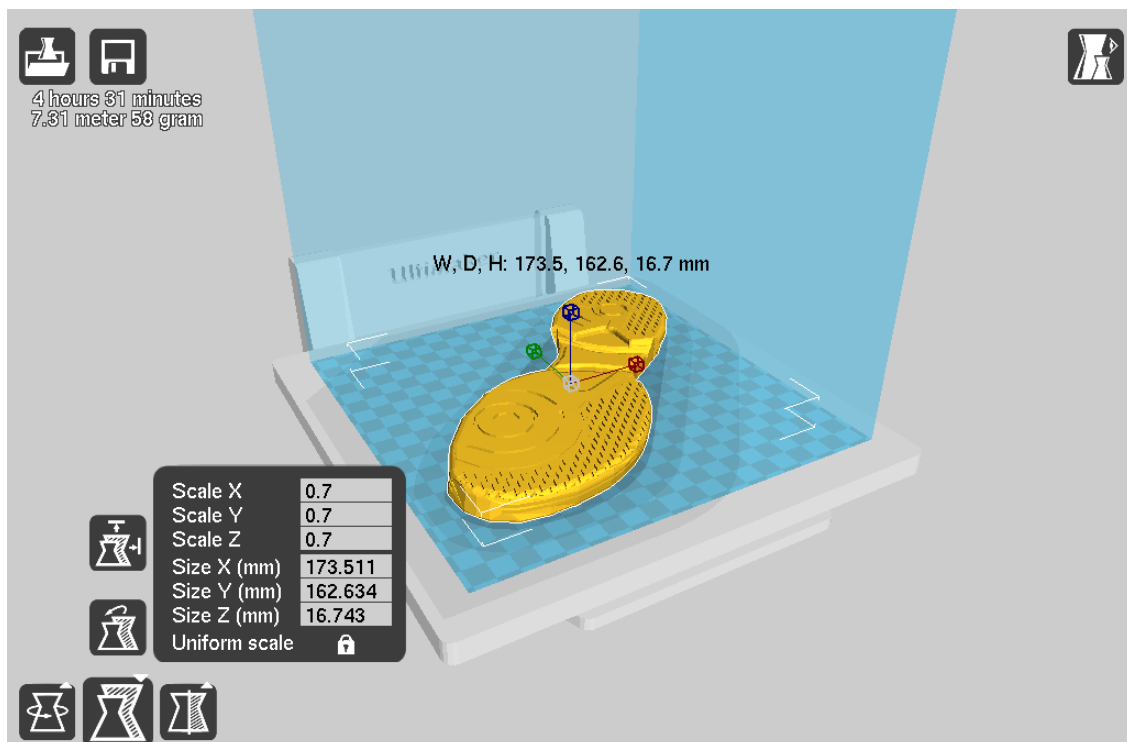


Το αρχείο **.stl** φορτώνεται στο λογισμικό Cura, όπου χωρίζεται σε στρώσεις (layers) και μετατρέπεται σε κώδικα g (g code), ο οποίος δίνει τις συντεταγμένες κίνησης της κεφαλής εκτύπωσης στους άξονες x, y, z.

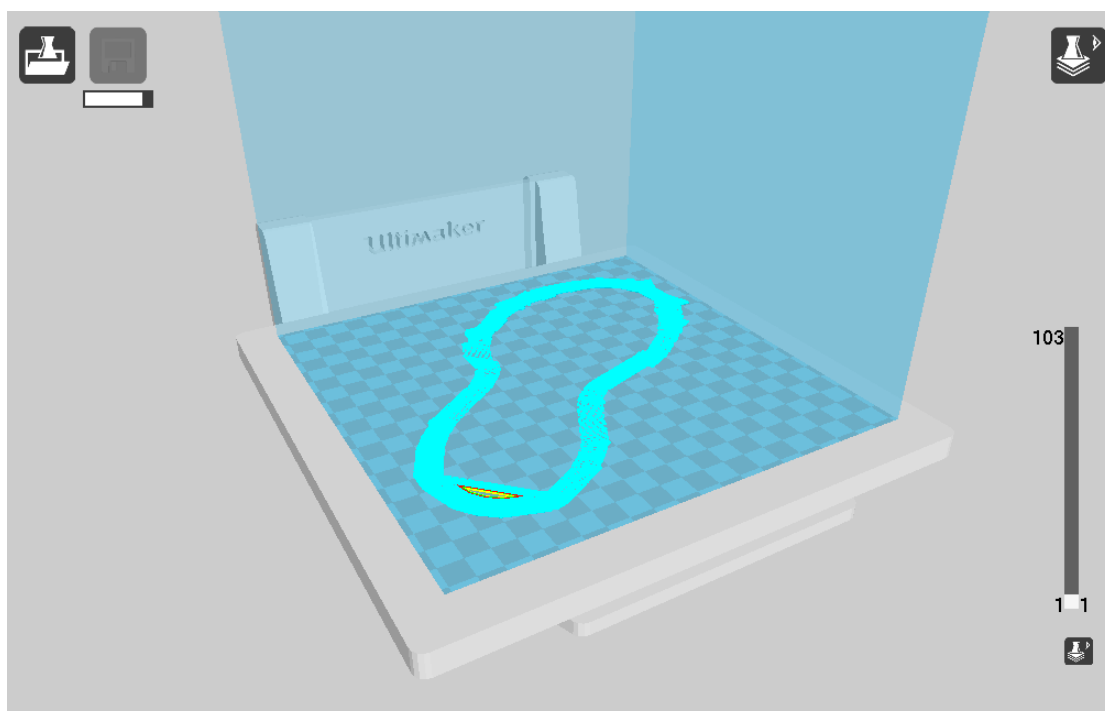
Στη συνέχεια μπορούμε να περιστρέψουμε το μοντέλο και να το φέρουμε στη θέση που επιθυμούμε και να καθορίσουμε την κλίμακα που θα χρησιμοποιηθεί. Πάνω

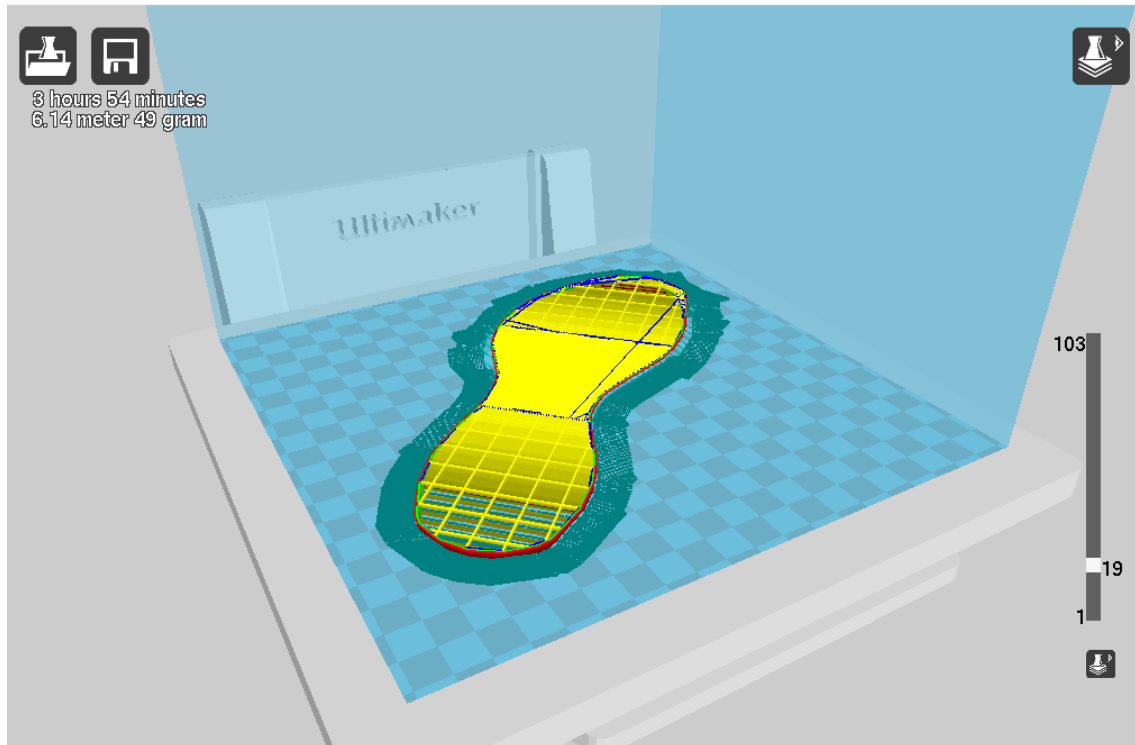
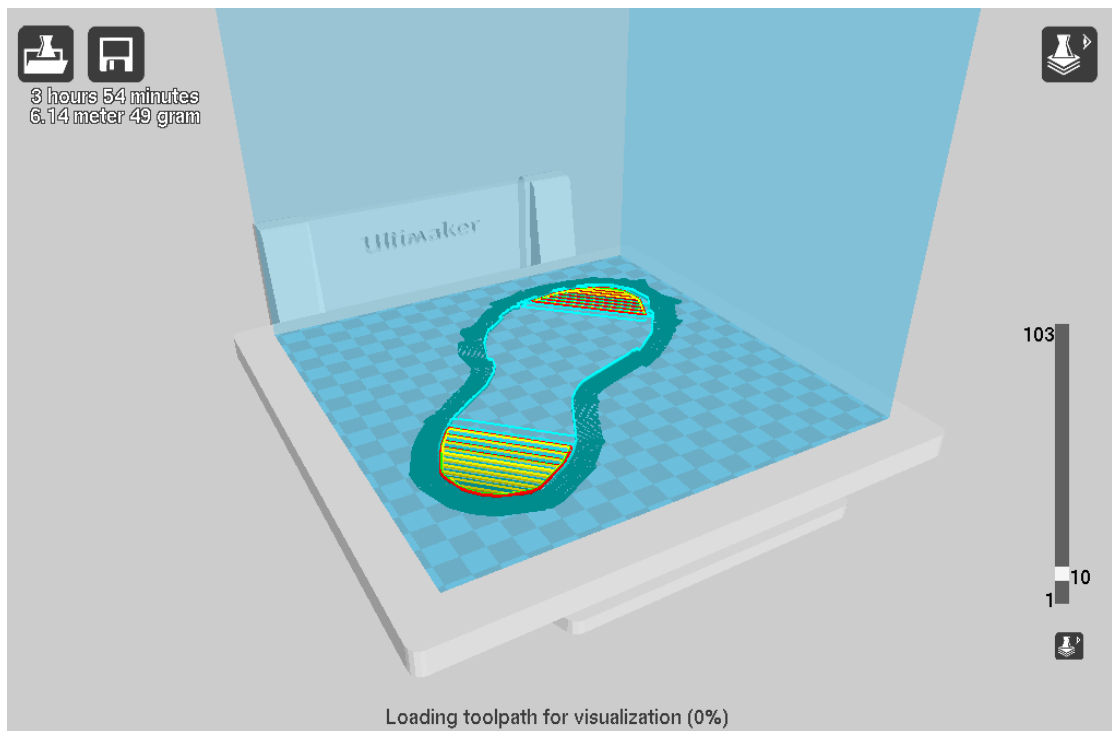
αριστερά αναφέρεται ο προσδοκώμενος χρόνος εκτύπωσης, το μήκος και το βάρος του αντικειμένου.

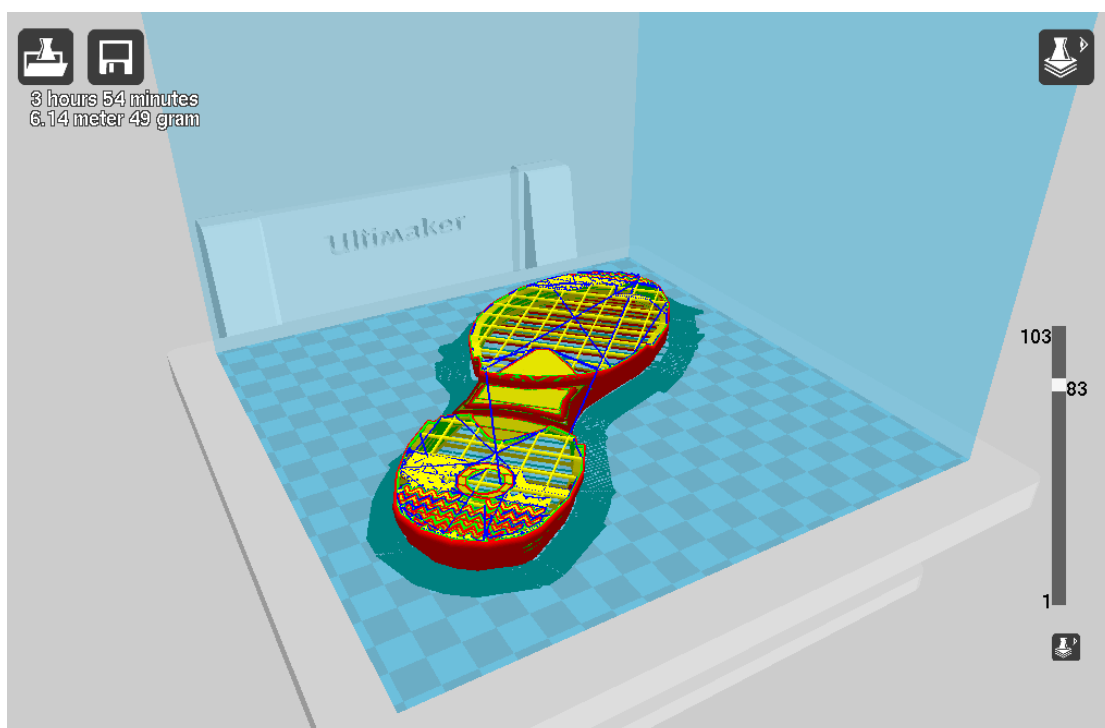
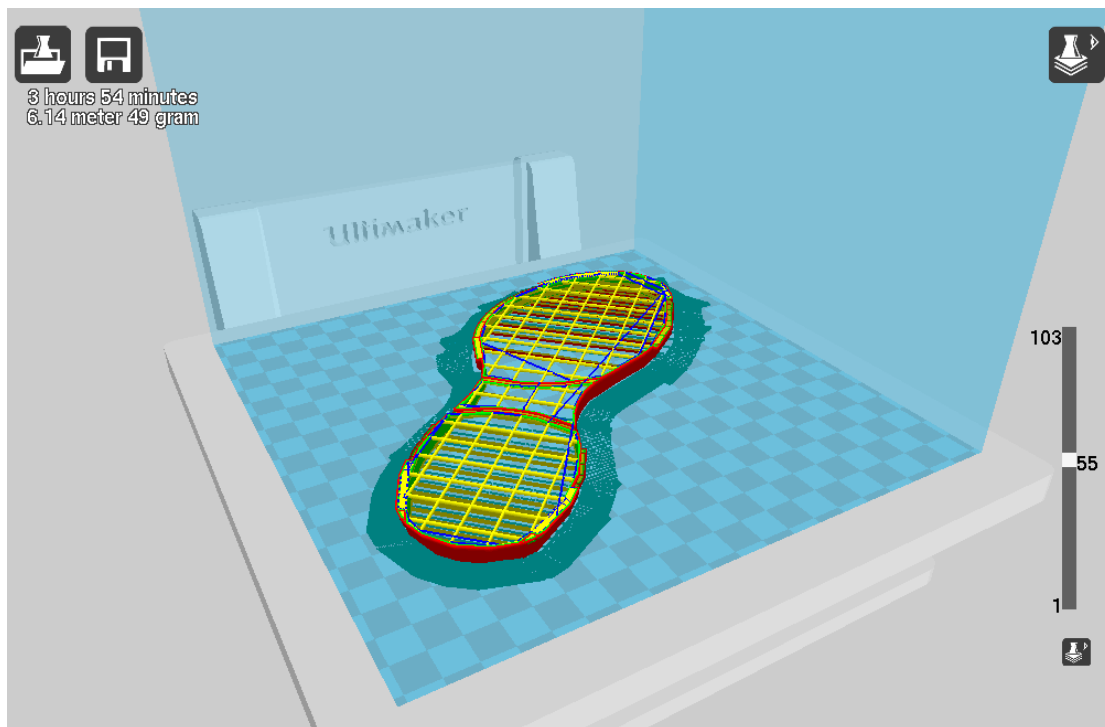


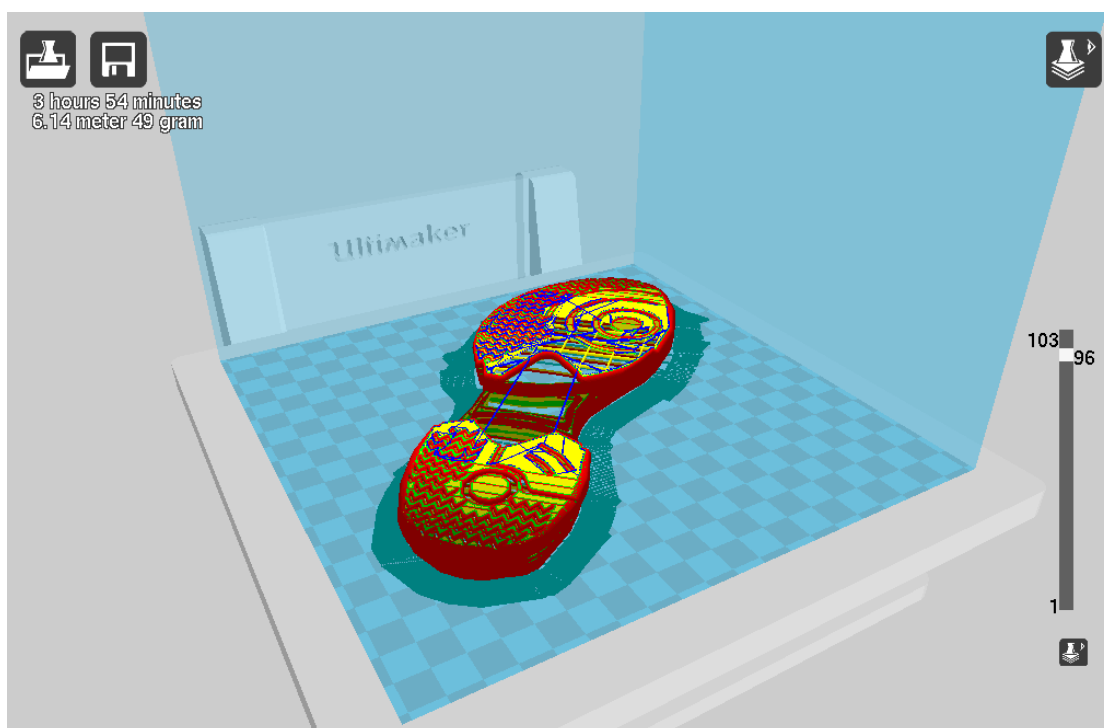


Παρακάτω μπορούμε να δούμε μια ψηφιακή απεικόνιση από την διαδικασία εκτύπωσης που θα ακολουθήσει. Παρουσιάζονται τα στρώματα (layers) με τη σειρά που θα εκτυπωθούν:

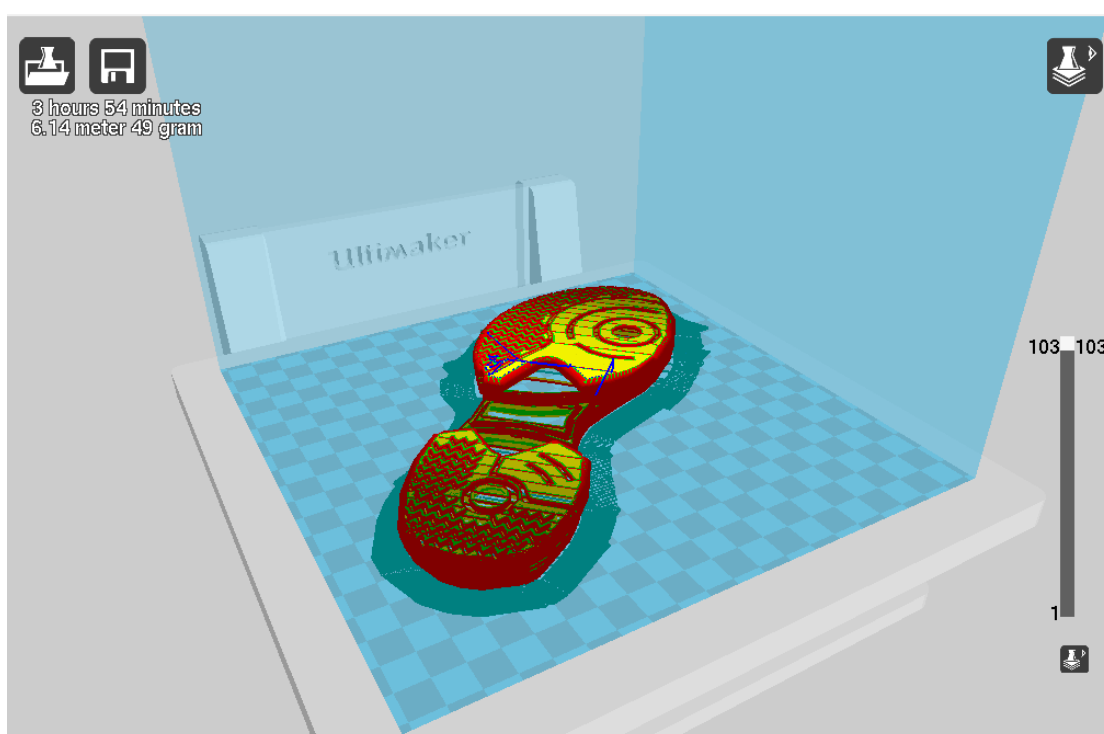




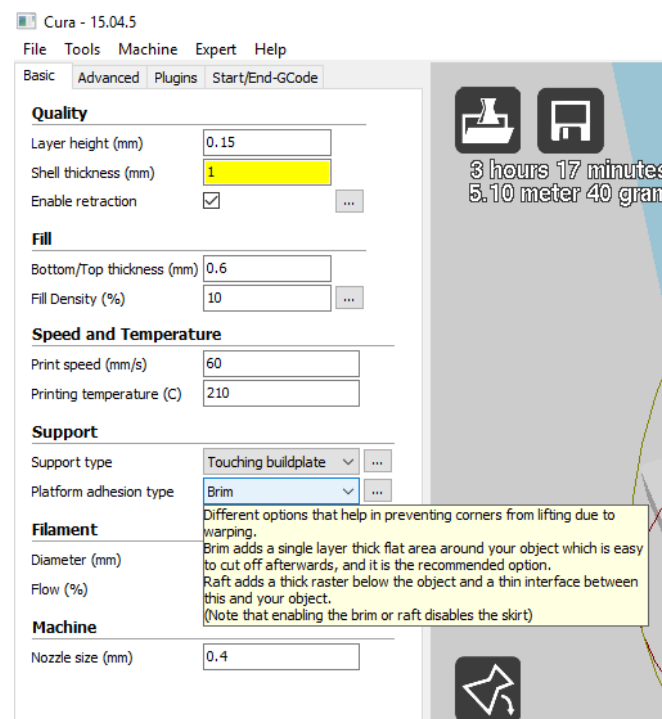
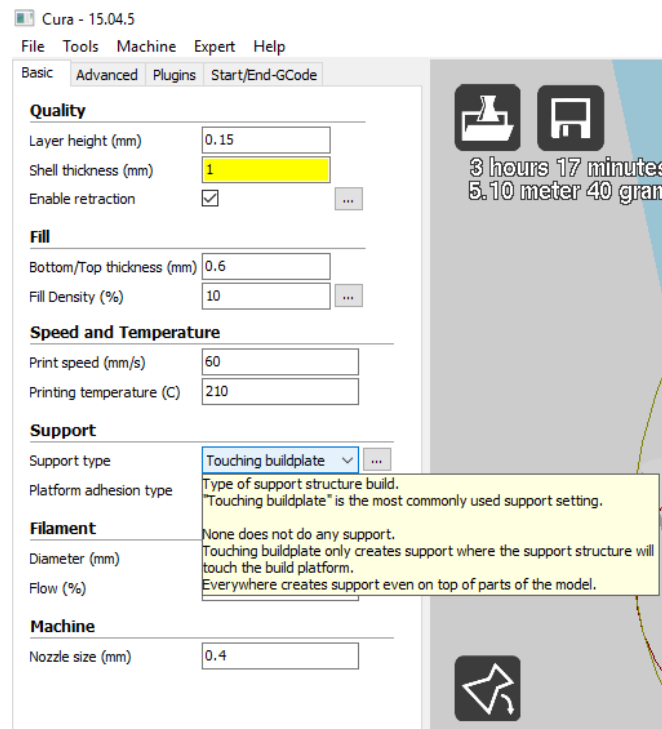




Η τελική μορφή:



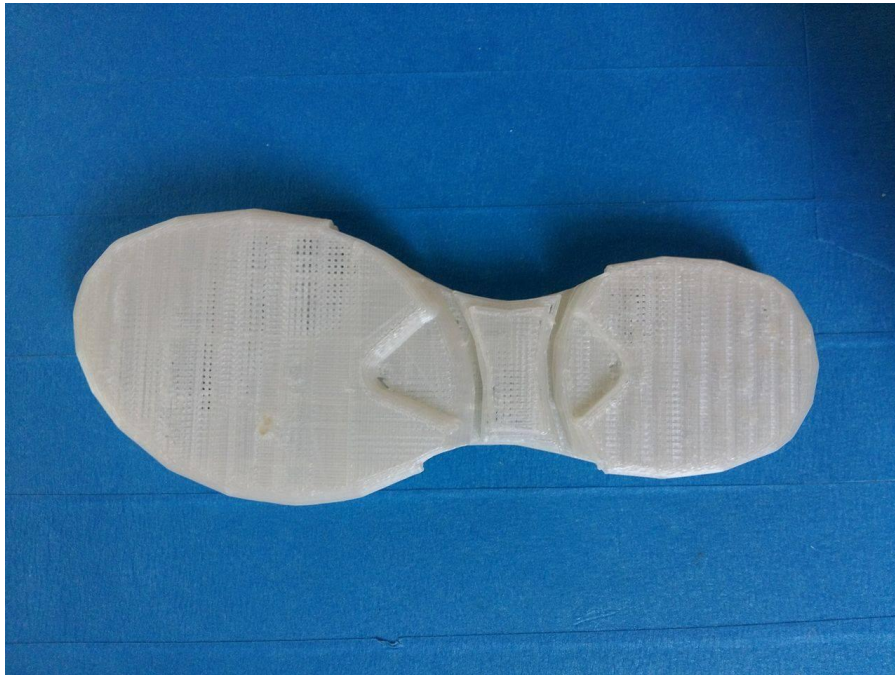
Επίσης, πρέπει να επιλέξουμε ποιος τύπος στηριγμάτων θα χρησιμοποιηθεί, καθώς η επιφάνεια που θα βρίσκεται κάτω κατά την εκτύπωση, έχει καμπύλη. Τα στηρίγματα αυτά σχεδιάζονται με τρόπο που να αφαιρούνται εύκολα από το τελικό κατασκεύασμα. Επιλέγουμε **touching buildplate** (στηρίγματα μόνο στα σημεία που χρειάζονται) ως support type και **brim** (το πρώτο χοντρό layer που είδαμε περιμετρικά του αντικειμένου) ως platform adhesion type.



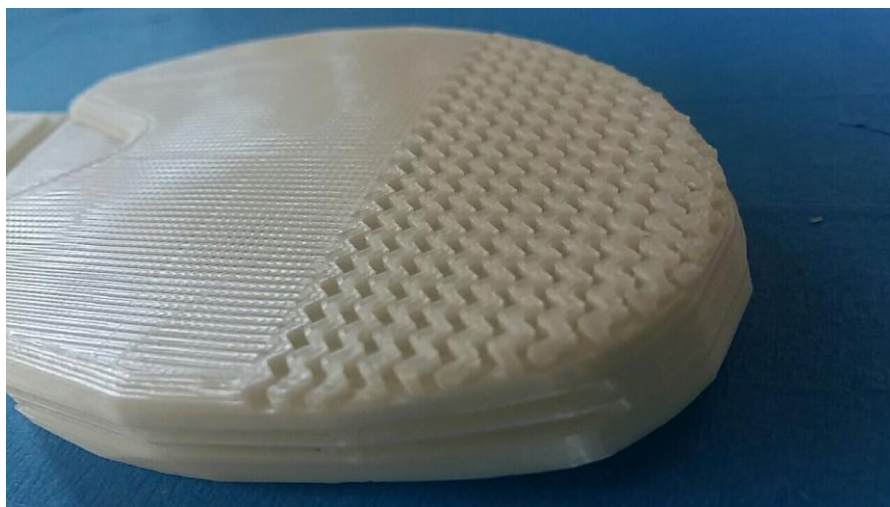
5.2.2 Δοκιμαστικές Εκτυπώσεις

Προτού προχωρήσω στην εκτύπωση της τελικής μορφής του αντικειμένου, σχεδίασα μερικά δοκιμαστικά μοντέλα μικρότερης κλίμακας για να διαπιστώσω σε ποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της εξωτερικής σόλας (μέση ζώνη, καμπύλη, Herringbone flexgrooves, κέντρο υποστήριξης) αντιμετωπίζει πρόβλημα ο εκτυπωτής. Μελετώντας τα αποτελέσματα αναγκάστηκα να προχωρήσω σε κάποιες μικρές αλλαγές στον σχεδιασμό του αντικειμένου.

Δοκιμαστικές Εκτυπώσεις για έλεγχο καμπύλης



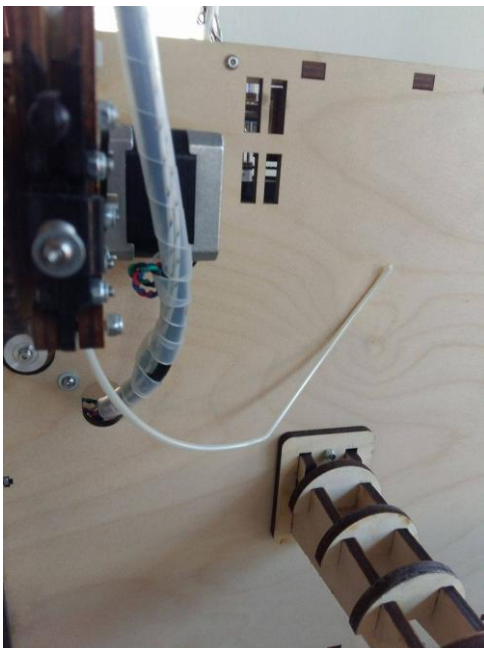
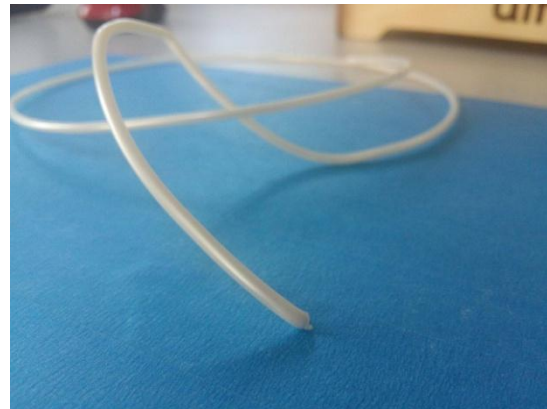
Δοκιμαστικές Εκτυπώσεις για έλεγχο των Flexgrooves και των υπόλοιπων εσοχών της εξωτερικής σόλας.



5.2.3 Προβλήματα κατά τη διαδικασία της εκτύπωσης

1) Κατά τη διάρκεια της πρώτης εκτύπωσης του τελικού σχεδίου, συνάντησα μια δυσκολία σχετικά με το υλικό που χρησιμοποιήθηκε από τον τρισδιάστατο εκτυπωτή. Το υλικό αυτό είναι πλαστικό PLA που παρέχεται σε μορφή τυλιγμένου νήματος. Συγκεκριμένα, μερικά layers πριν από την ολοκλήρωση της εκτύπωσης και καθώς το υλικό, εισερχόταν στην κεφαλή, το τυλιγμένο νήμα τροφοδοσίας μπλέχτηκε και λύγισε σε ένα σημείο με αποτέλεσμα να κοπεί. Η ποσότητα του περισσευούμενου νήματος που πλέον «κρεμόταν» από τον εκτυπωτή, κρίθηκε ότι

δεν αρκούσε για την ολοκλήρωση της εκτύπωσης η οποία έπρεπε να τερματιστεί και έτσι το αντικείμενο δεν ολοκληρώθηκε. Το περισσευούμενο νήμα τραβήχτηκε έξω από τον εκτυπωτή με τις κατάλληλες διαδικασίες και αντικαταστάθηκε από καινούριο.

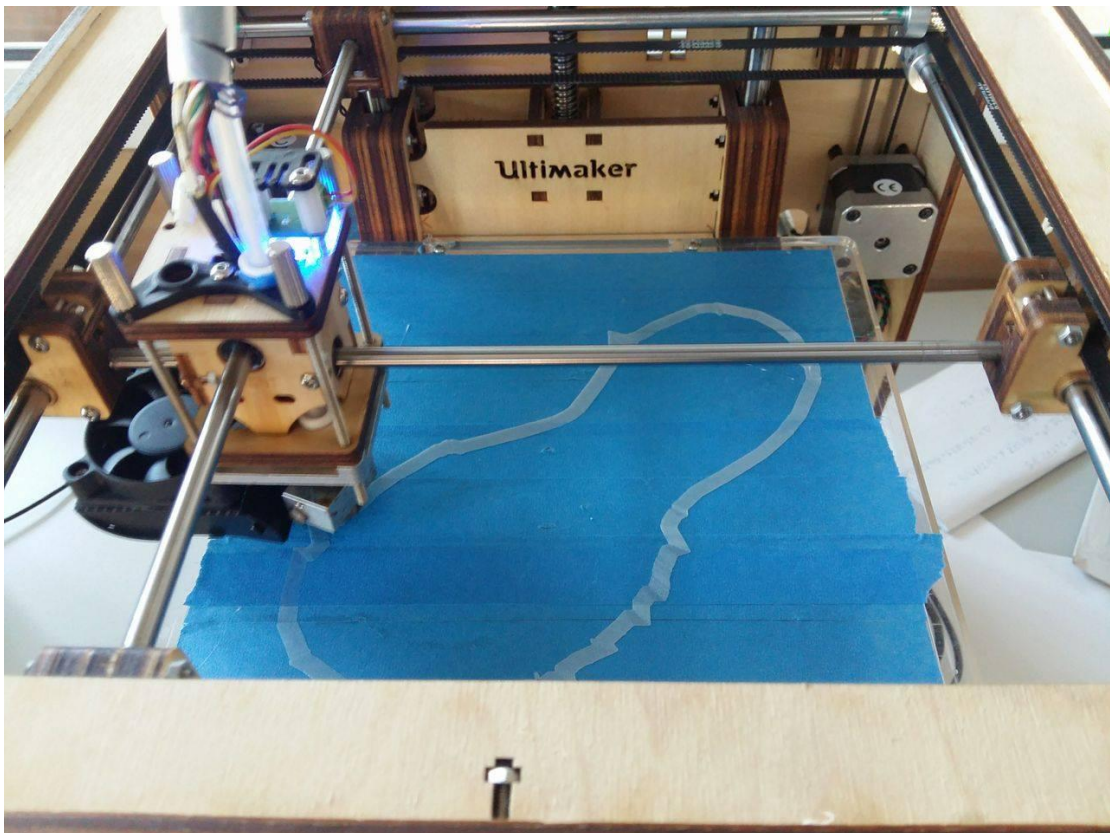


2) Το μόνο σημείο της εξωτερικής σόλας στο παρουσιάστηκε ατέλεια εκτύπωσης ήταν οι εσοχές των πλευρικών καλύψεων. Αυτό συνέβη πρώτον λόγω της υψηλής θερμοκρασίας κατά την εκτύπωση που δεν επιτρέπει στην στρώση (layer) να στερεοποιηθεί 100%, και δεύτερον λόγω του διάκενου που υπάρχει στην εσοχή με αποτέλεσμα η στρώση να πέφτει λίγο προς τα κάτω. Βέβαια, οι εσοχές αυτές διορθώθηκαν εύκολα με τη χρήση ειδικού εργαλείου.

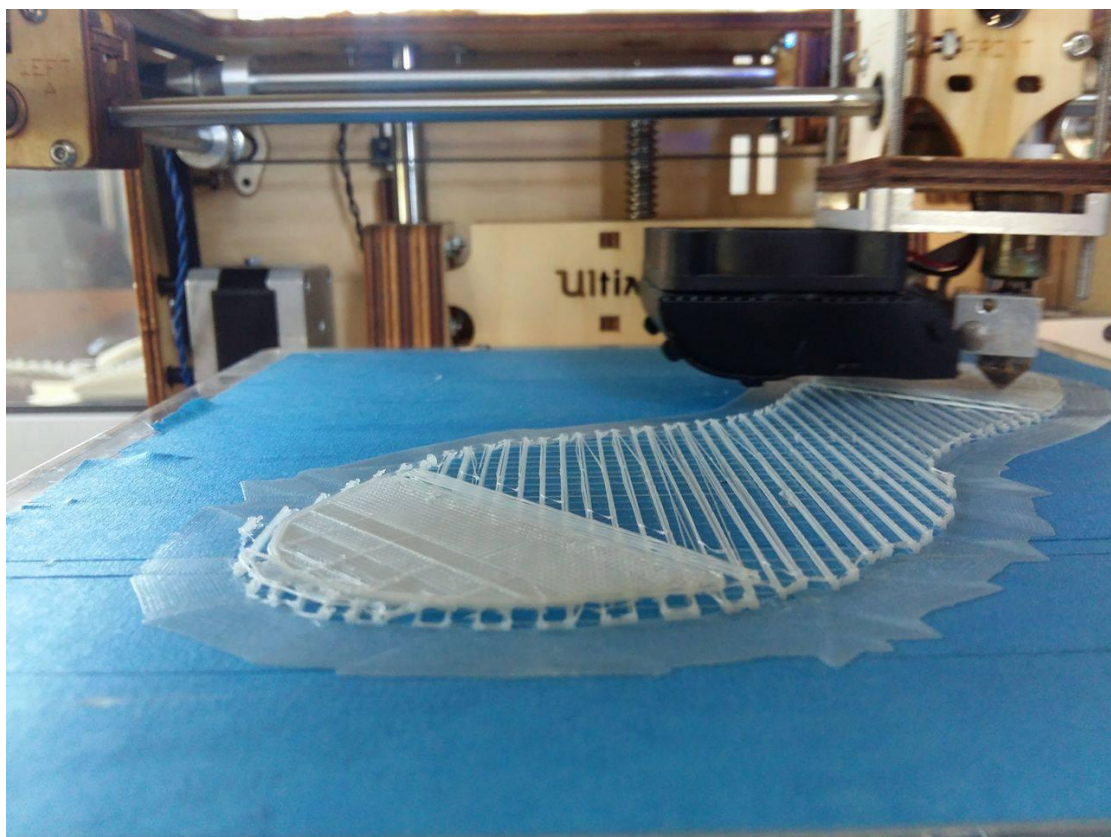
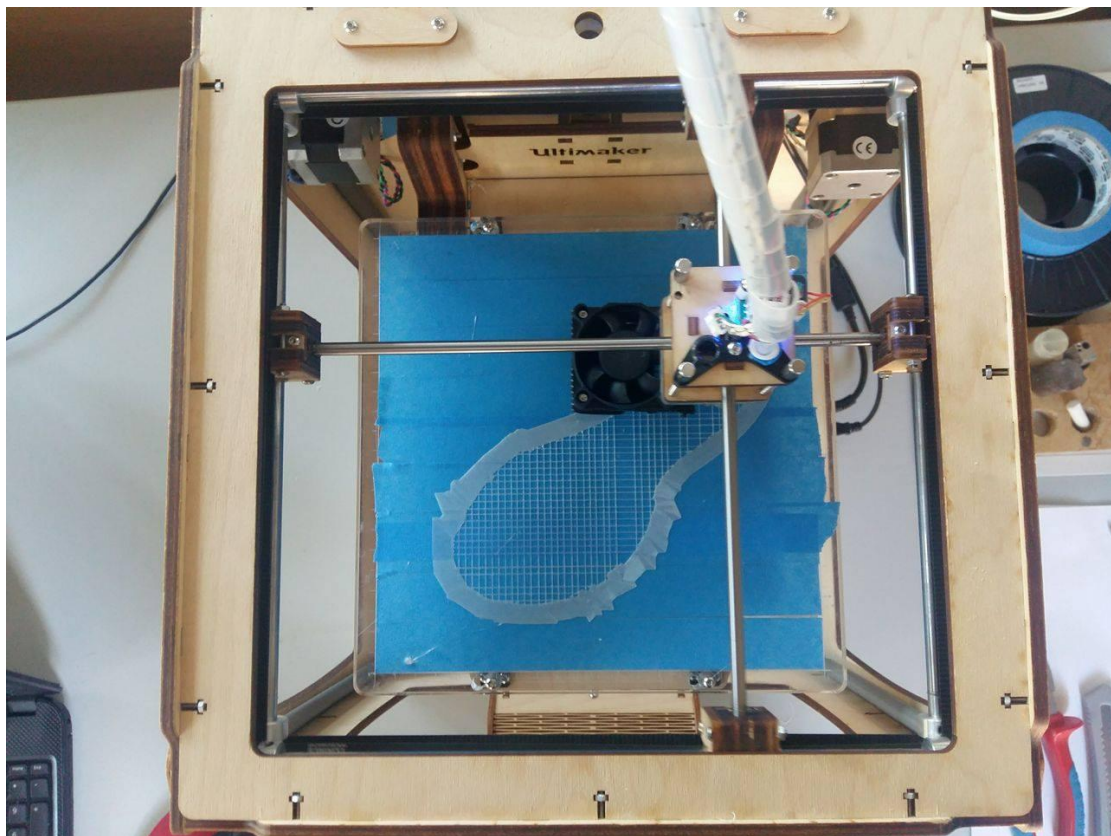


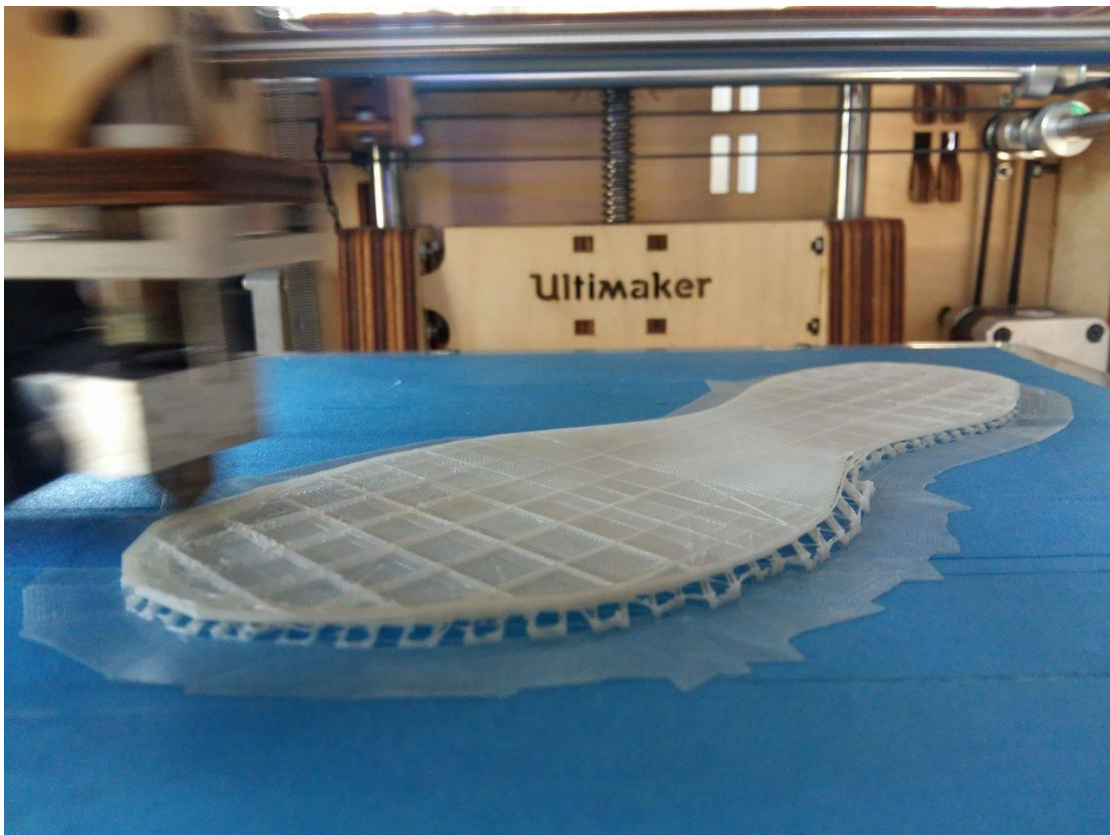
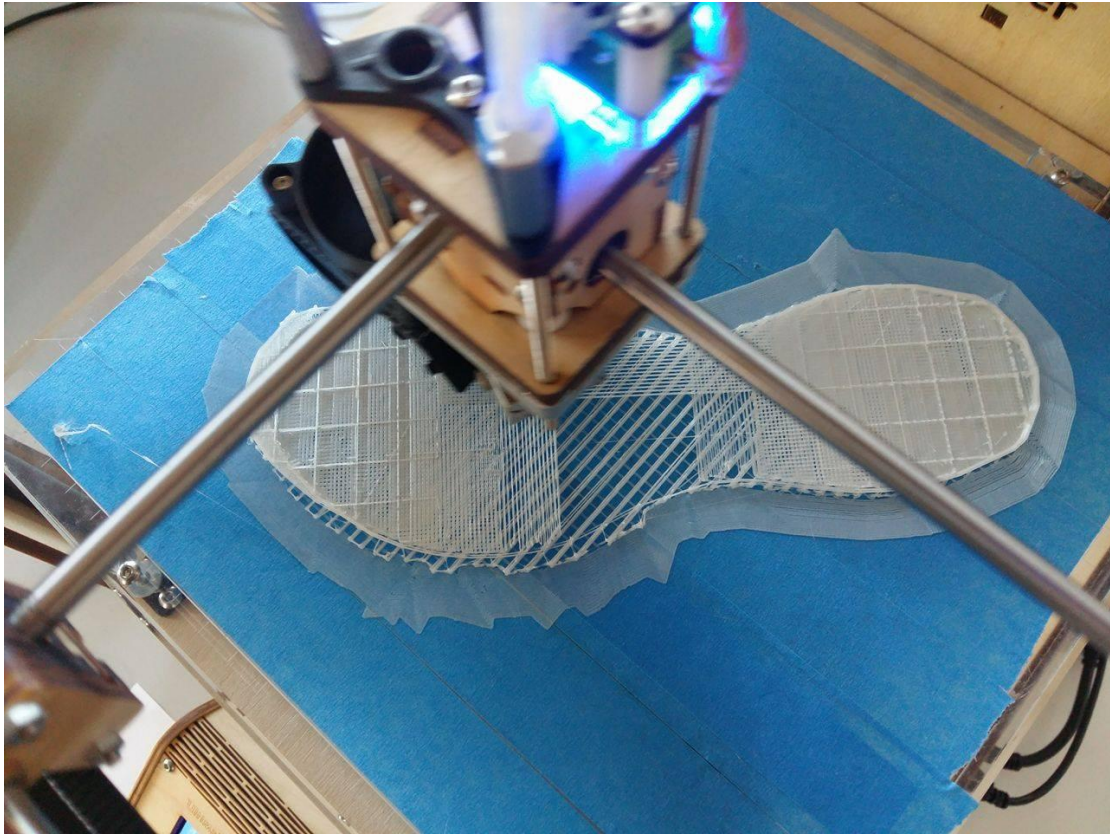
5.2.4 Η διαδικασία της εκτύπωσης

Η κεφαλή αρχίζει να εκτυπώνει το Brim. (ένα παχύ layer που χρησιμοποιείται ως στήριγμα και αφαιρείται πολύ εύκολα)

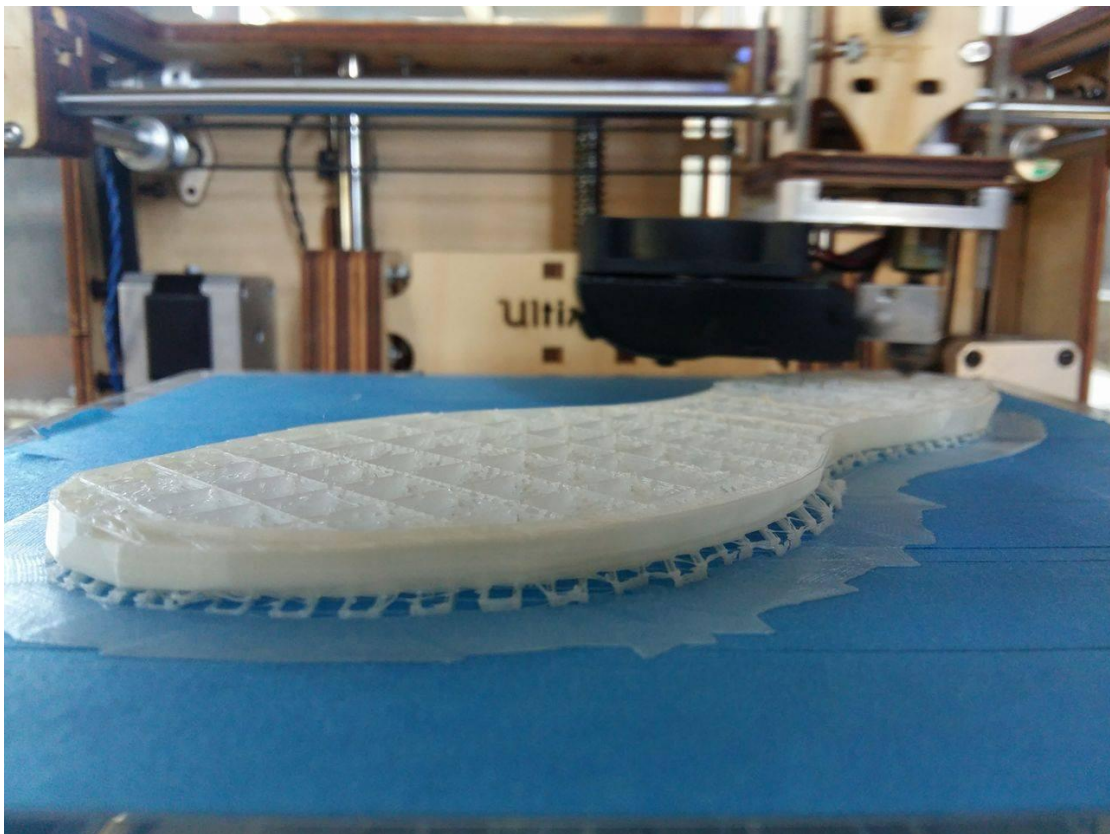
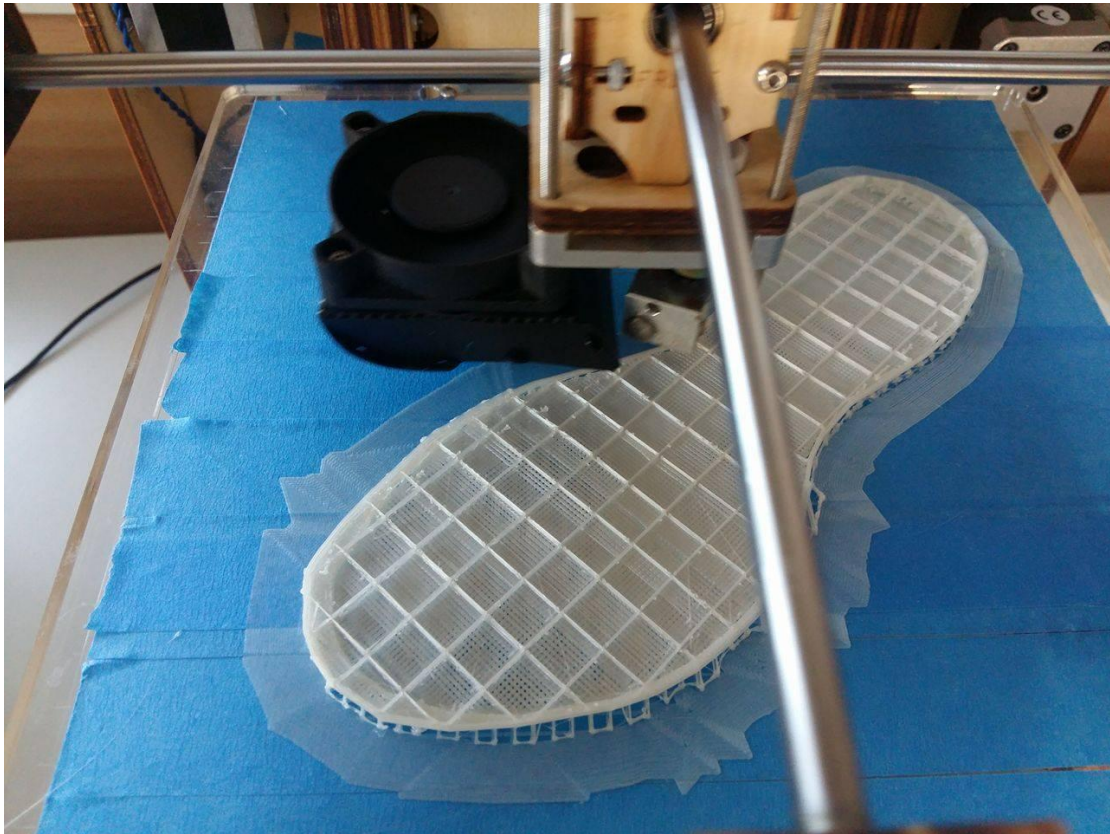


Στη συνέχεια αρχίζουν να φαίνονται τα πρώτα στηρίγματα και ακολούθως η πρώτη «γεμάτη» επιφάνεια.

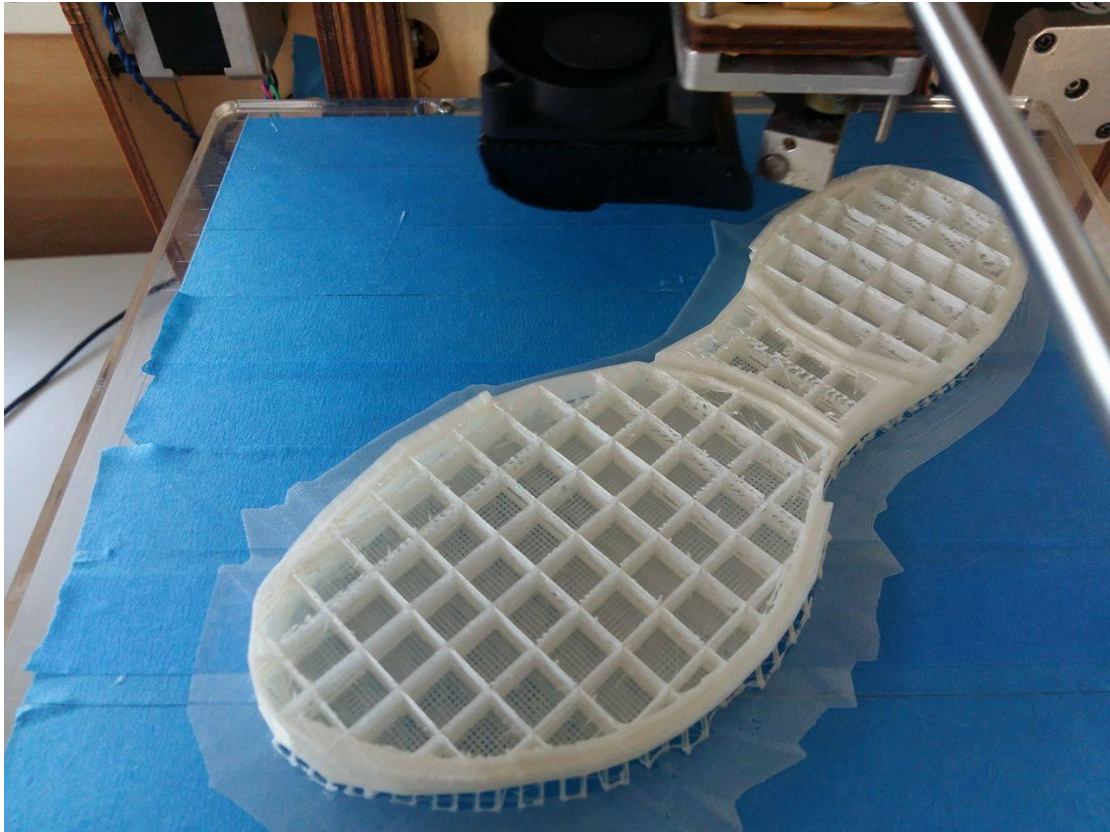




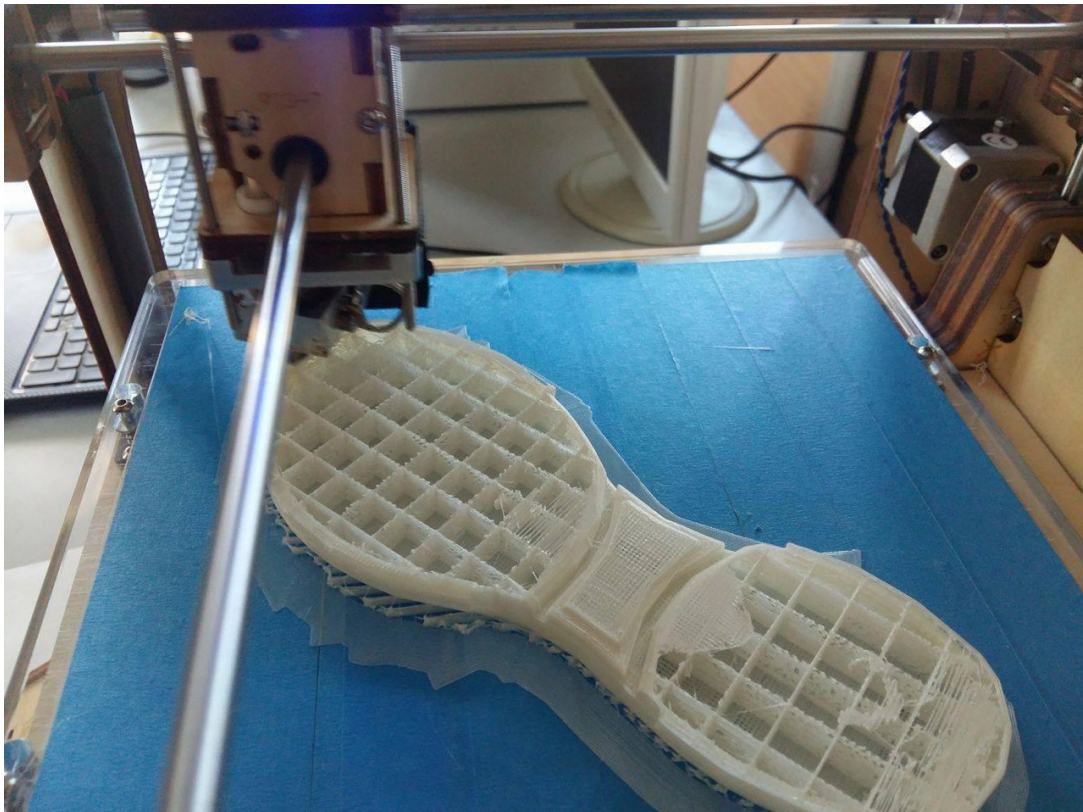
Παράλληλα δημιουργείται το πλέγμα με το οποίο γεμίζεται το εσωτερικό του αντικειμένου.

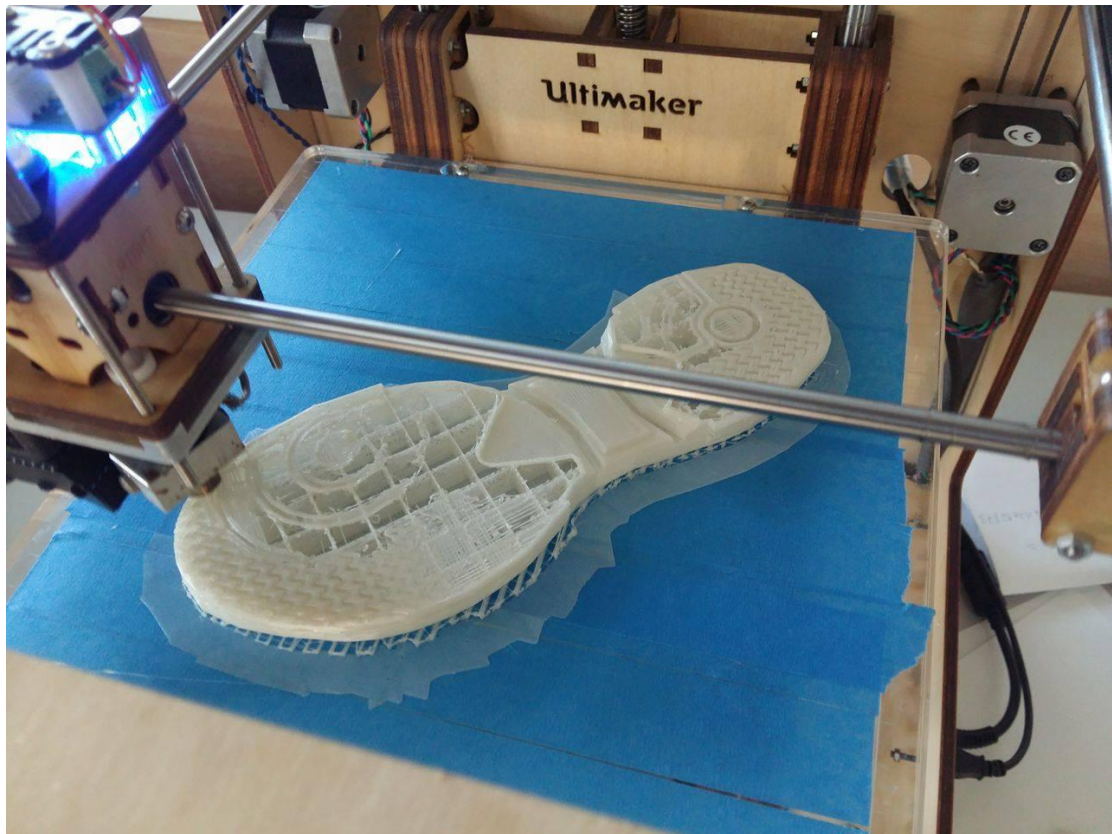


Αρχίζουν να φαίνονται οι λεπτομέρειες στην καμάρα και τις πλευρικές επικαλύψεις

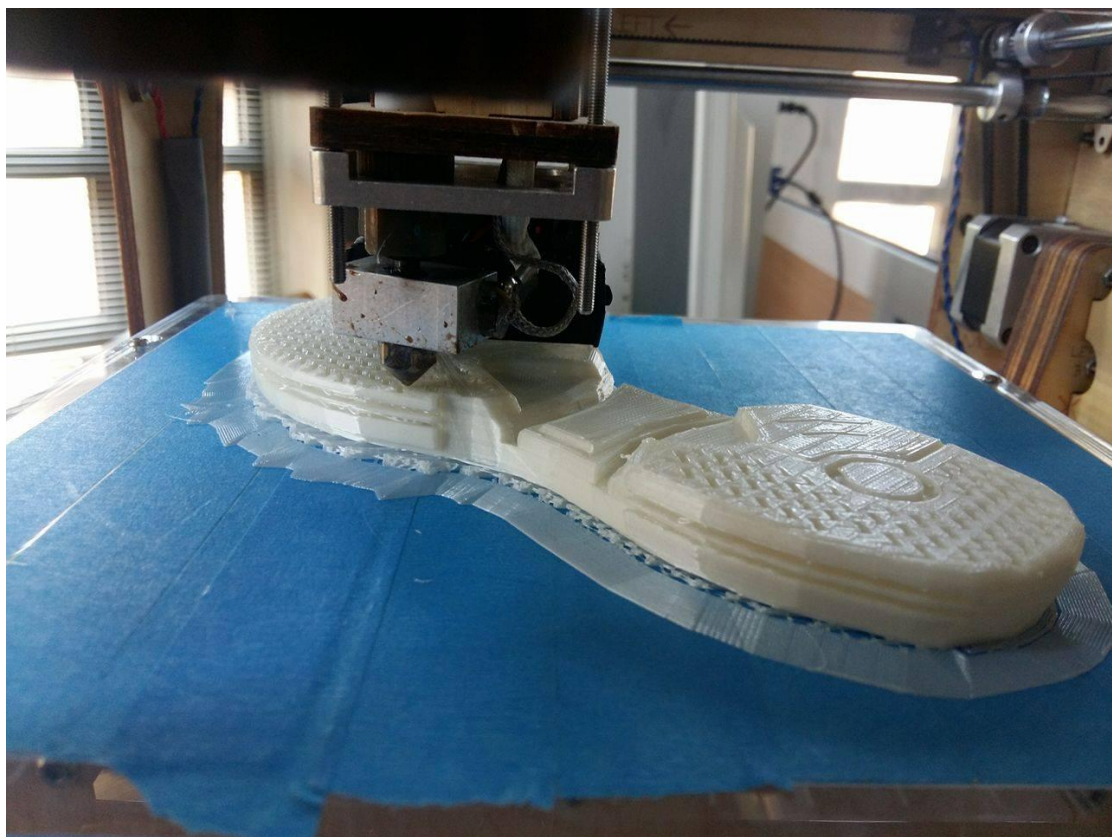


Το αντικείμενο έχει αρχίσει να αποκτά σιγά - σιγά το επιθυμητό πάχος και ξεκινά η εκτύπωση των εσοχών της εξωτερικής σόλας.





Η εκτύπωση πλησιάζει στο τέλος της, μετά από περίπου 4 ώρες.



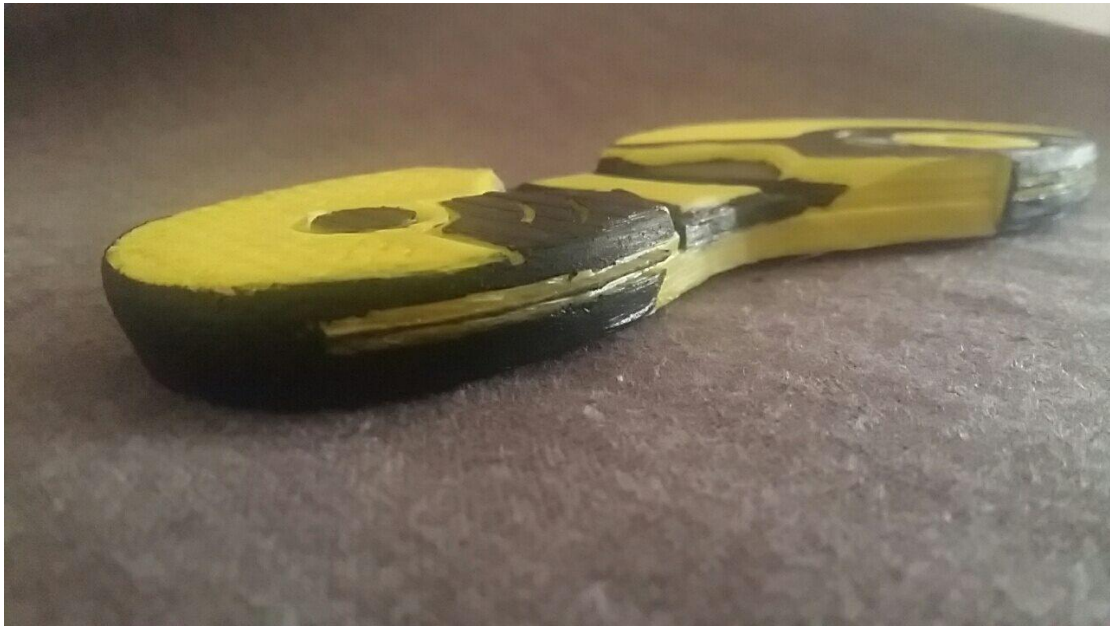
Το τελικό αποτέλεσμα, χωρίς την αφαίρεση των στηριγμάτων.



Τα στηρίγματα αφαιρέθηκαν και το αντικείμενο επιδιορθώθηκε σε μερικά σημεία με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων. Τέλος, βάφτηκε με ειδικά ακρυλικά χρώματα για να τονιστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εξωτερικής σόλας, και να πάρει μια περισσότερο πραγματική μορφή.







6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το υπόδημα αποτελεί ένα βασικό εξάρτημα του ανθρώπου, που χρησιμοποιείται σε καθημερινή βάση στην άθληση και στις φυσικές δραστηριότητες, οι οποίες είναι ένα μεγάλο κομμάτι της σύγχρονης ζωής. Η συμβολή του υποδήματος στην εκπόνηση αυτών των διαδικασιών είναι τεράστια, καθώς ο πολλαπλός ρόλος που έχει (απόδοση, επιτυχία, προστασία, θεραπεία), προϋποθέτει το σχεδιασμό και την κατασκευή συγκεκριμένων ειδικών χαρακτηριστικών κατά τη διαδικασία παραγωγής του.

Ειδικότερα στο άθλημα της αντισφαίρισης, ο τρόπος παιχνιδιού επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την κατασκευή του υποδήματος, δηλαδή τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αυτό φέρει, εφόσον ο αθλητής είναι υποχρεωμένος να καλύπτει μια σχετικά μεγάλη απόσταση, με συνεχείς πλευρικές, διαγώνιες και πρόσθιες έντονες κινήσεις. Με αφορμή την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ανάπτυξη και διάδοση του ίδιου του αθλήματος, οι εταιρείες αθλητικού εξοπλισμού εισάγουν συνεχώς νέες τεχνολογίες στην παραγωγή των υποδημάτων με σκοπό τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και της προστασίας των αγωνιζόμενων.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση, μια μορφή ταχείας πρωτοτυποποίησης κατά την οποία η κατασκευή του προϊόντος πραγματοποιείται με την προσθήκη υλικού στρώμα – στρώμα (layer by layer), αποτελεί μια διαδικασία που εξελίσσεται σε πολύ γρήγορους ρυθμούς, χρησιμοποιούμενη πλέον στην παραγωγή μιας ποικιλίας αντικειμένων, διαφόρων γεωμετριών και μεγεθών. Τα τελευταία χρόνια, αρχίζει να βρίσκει εφαρμογή και στην παραγωγή υποδημάτων, με επικέντρωση στην κατασκευή της σόλας, που είναι όμως προς το παρόν σε εξελίσιμο στάδιο. Παρόλα αυτά, τα πλεονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης έναντι στην κλασικής μέθοδο κατασκευής της σόλας των υποδημάτων με τα καλούπια, (εξοικονόμηση χρόνου και κόστους, περιορισμός εργοστασιακών αποβλήτων, εξατομίκευση, εκμετάλλευση της φαντασίας και ελαχιστοποίηση των περιορισμών στη σχεδίαση),

δείχνουν ότι μπορεί σύντομα να κυριαρχήσει σε αυτόν τον τομέα, μέσω της κατάλληλης έρευνας, της διαδικασίας και της εξέλιξης των υλικών.

Μερικές διαδεδομένες εταιρείες αθλητικού εξοπλισμού έχουν ήδη πραγματοποιήσει τα πρώτα βήματα, προχωρώντας στο σχεδιασμό και την κυκλοφορία αθλητικών υποδημάτων γενικής χρήσης, με σόλα κατασκευασμένα από 3D εκτυπωτή. Η σχεδίαση και εκτύπωση ενός μοντέλου εξωτερικής σόλας για υπόδημα αντισφαίρισης, που πραγματοποιήθηκε, δείχνει έναν τρόπο που θα μπορούσαν να υιοθετήσουν εταιρείες, εξειδικευμένες στον εξοπλισμό αντισφαίρισης, στην παραγωγή των υποδημάτων τους.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί πλέον να θεωρηθεί μια διαδικασία με τεράστια περιθώρια εξέλιξης που εισέρχεται ολοένα και περισσότερο στη ζωή των ανθρώπων, φέρνοντας την επανάσταση στον τομέα της κατασκευής.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση, Νικόλαος Μπιλάλης-Εμμανουήλ Μαραβελάκης, Εκδόσεις ΚΡΙΤΙΚΗ, 2014.**
- **Διερεύνηση Παραμέτρων Ταχείας Πρωτοτυποποίησης και Συναρμολόγηση Τρισδιάστατου Εκτυπωτή, Μιχαλοδημητράκη Νικολέτα (Διπλωματική Εργασία)**

- **Ultimaker 3D Printers**

<https://ultimaker.com/>

- **PTC – Creo Parametric**

<http://www.ptc.com/cad/creo/parametric>

- **Εταιρείες αθλητικού εξοπλισμού:**

<http://yonex.com/>

<http://adidas.com/>

<http://nike.com/>

<http://head.com/>

<http://babolat.com/>

<http://diadora.com/>

<http://wilson.com/>

- **3D Printed Shoes: A Step in the Right Direction**

<http://www.wired.com/insights/2014/09/3d-printed-shoes/>

- **New OESH women's shoes feature 3D printed soles that mimic the human foot**

<http://www.3ders.org/articles/20160221-new-oesh-womens-shoes-feature-3d-printed-soles-that-mimic-the-human-foot.html>

- **The Pros and Cons of 3D Technology in the Footwear Industry**

<http://www.complex.com/sneakers/2013/09/pros-cons-3d-technology-footwear-industry>

- **The hottest trend in 3D printing: shoes on demand**

<http://www.smh.com.au/technology/innovation/the-hottest-trend-in-3d-printing-could-change-the-way-you-buy-running-shoes-20160204-gmlbzp.html>

- **Shoe Manufacturer Improves Time To Market With CAM Software**

<http://www.mmsonline.com/articles/shoe-manufacturer-improves-time-to-market-with-cam-software>

- **How to Design Shoe Outsole Tooling Part 1**

<http://sneakerfactory.net/sneakers/2015/03/how-to-design-shoe-outsole-tooling/>

- **Jinjiang Jili Machine Co., Ltd.**

<http://www.evashoesmachine.com/rubber-sole-mold.html>

- **Experiment on high speed machining parameters for sport shoe sole mold making using aluminum alloy 5083, 6163 and 7075**

http://www.journalamme.org/papers_vol31_2/31221.pdf

- **How A Shoe Sole Is Made**

<http://wnshaw.com/shoe-sole-process/>

- **FOOTPRINT are the Algorithmic 3D Printed Shoes of the Future**

<https://3dprint.com/72175/footprint-3d-printed-shoes/>

- **Tennis Shoe Technical Information**

<http://www.justtennis.net/ShoeTechnology.htm>

- **Tennis Footwear Technologies**

<http://www.tennisexpress.com/info/footwear-technologies.cfm>

- **About Different Types of Soles for Sport Shoes**

<http://www.livestrong.com/article/345103-about-different-types-of-soles-for-sport-shoes/>

- **Guide on Tennis Shoes – What to wear on Grass, Clay and Hard Courts**

<http://www.asics.com/gb/en-gb/tennis-advice/guide-to-tennis-shoes>

- **The development of the Tennis Shoe, SATRA technology**

https://www.satrap.co.uk/bulletin/article_view.php?id=1037

- **Η ιστορία του αθλητικού παπουτσιού**

<http://www.24grammata.com/?p=15348>

- **Λίγα Λόγια για το αθλητικό παπούτσι**

<http://www.arthroathens.gr>

- **What You Should Know About Flex Grooves And Forefoot Pain**

<http://www.podiatrytoday.com/blogged/what-you-should-know-about-flex-grooves-and-forefoot-pain>

- **Tennis Court Surfaces**

https://en.wikipedia.org/wiki/Tennis_court

- **New Balance wins race for 3D printed shoe**

<http://www.runnersworld.com/running-shoes/new-balance-wins-race-for-3d-printed-running-shoe>

- **adidas Futurecraft: The Ultimate 3D-Printed Personalized Shoe**

<http://www.materialise.com/cases/adidas-futurecraft-the-ultimate-3d-printed-personalized-shoe>