



**«Σχεδίαση αθλητικού υποδήματος για αθλητές δρόμου μεγάλων αποστάσεων που ενσωματώνει εξατομικευμένα δεδομένα αθλητών σε συνδυασμό με τεχνολογία 3D εκτύπωσης».**

**“Sport shoe design for long-distance road athletes incorporating personalized athlete data combined with 3D printing technology”.**

**Γεωργία Παλάσκα**

**Διπλωματική Εργασία**

**Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής  
Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής**

**Αθήνα, 2024**

**Μέλη εξεταστικής επιτροπής:**

**Φίλιππος Αζαριάδης-Τοπάλογλου, Καθηγητής, Επιβλέπων**

**Γεωργία Χειρχαντέρη, Επ. Καθηγήτρια, Μέλος**

**Εμμανουέλα Σφυρόερα, Λέκτορας Εφαρμογών, Μέλος**

**ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Παλάσκα Γεωργία του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 18389025 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



### **Ευχαριστίες**

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Φίλιππο Αζαριάδη για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διαδικασία εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας. Έπειτα να ευχαριστήσω την εξεταστική επιτροπή για την αξιολόγηση της εργασίας μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συνεχή υποστήριξη και ενθάρρυνσή που μου προσέφεραν καθόλη τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής μου.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην επίδραση των τεχνολογικών εξελίξεων στην κατασκευή αθλητικών υποδημάτων και ιδιαιτέρως για τους αθλητές μεγάλων αποστάσεων. Αρχικά, αναλύονται τα στάδια του βιομηχανικού σχεδιασμού και ο τρόπος που επηρεάζονται από τις τεχνολογικές εξελίξεις. Στη συνέχεια, το κείμενο δίνει έμφαση στην ιδέα της «επιστροφής ενέργειας» και γίνεται παράλληλα ανασκόπηση στις ερευνητικές εξελίξεις στον τομέα των αθλητικών υποδημάτων.

Επιπλέον γίνεται εκτενής αναφορά στις διάφορες τεχνικές της τρισδιάστατης εκτύπωσης στον χώρο της βιομηχανίας των υποδημάτων. Παράλληλα δίνεται έμφαση στην σχεδίαση εξατομικευμένων υποδημάτων με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά προσαρμογής στον κάθε αθλητή. Έπειτα γίνεται συζήτηση για την βιομιμητικότητα και τα χαρακτηριστικά που προσδίδει στην τρισδιάστατη σχεδίαση με τη χρήση μοτίβων εμπνευσμένων από τη φύση. Σκοπός της εργασίας είναι να αναδείξει το συνδυασμό της βιομιμητικότητας και της τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή υποδημάτων προσωποποιημένων και φιλικών προς το περιβάλλον που θα εξυπηρετούν τις ανάγκες των αθλητών.

Τέλος, αφού αναλυθούν τα παραπάνω θα ακολουθήσουν μερικά σκίτσα που θα απεικονίζουν πιθανές εκδοχές του υποδήματος και στη συνέχεια με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks θα σχεδιαστούν κάποια δοκίμια που θα αντιπροσωπεύουν τη σόλα και πάνω σε αυτά θα γίνουν μερικές δοκιμές ως προς τις καταπονήσεις.

## Abstract

This thesis concerns the effect of technological developments on the construction of sports shoes and particularly for long-distance road athletes. First, the stages of industrialization and the way it is influenced by technological design are analyzed. The text then emphasizes the idea of "returning energy" while analyzing research activities in the field of sports infrastructure.

In addition, extensive reference is made to the various tasks of 3D printing in the field of the footwear industry. At the same time, emphasis is placed on the design of personalized footwear with special characteristics of adaptation to each athlete. Then there is a discussion of biomimicry and the features it brings to 3D design using patterns inspired by nature. The purpose of this study is to highlight the combination of biomimicry and 3D printing for the production of personalized and environmentally friendly footwear that will serve the needs of athletes.

Finally, after analyzing the previous thesis, some sketches will follow that will illustrate possible versions of the shoe, and then by using Solidworks, some samples will be designed to represent the sole and then stress tests will be done on them to show the stress level.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<u><a href="#">ΕΙΣΑΓΩΓΗ</a></u> .....	4
<u><a href="#">ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</a></u> .....	5
<u><a href="#">ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΘΛΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ</a></u> .....	5
<u><a href="#">1.1Ο Βιομηχανικός Σχεδιασμός και τα στάδιά του</a></u> .....	5
<u><a href="#">1.2Ερευνητικές εξελίξεις στο αθλητικό υπόδημα</a></u> .....	7
<u><a href="#">1.3Η τεχνολογία 3D Printing</a></u> .....	15
<u><a href="#">1.43D εκτύπωση και υποδήματα</a></u> .....	18
<u><a href="#">ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</a></u> .....	19
<u><a href="#">Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΣΟΛΕΣ ΤΩΝ ΑΘΛΗΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΗΜΑΤΩΝ</a></u> ...	19
<u><a href="#">2.1Βάδιση και τρέξιμο</a></u> .....	19
<u><a href="#">2.2Οι διαφορές της βάδισης από το τρέξιμο</a></u> .....	20
<u><a href="#">2.3Η κινητική ανάλυση της βάδισης</a></u> .....	21
<u><a href="#">2.4Τα υλικά που χρησιμοποιούνται</a></u> .....	22
<u><a href="#">2.5Σόλα και προστασία</a></u> .....	23
<u><a href="#">2.6Εσωτερική σόλα-3D Printed Insoles</a></u> .....	27
<u><a href="#">2.7Η ενδιάμεση σόλα-3D Printed Midsole</a></u> .....	28
<u><a href="#">2.8Η εξωτερική σόλα-3D Printed Outsole</a></u> .....	29
<u><a href="#">ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</a></u> .....	31
<u><a href="#">ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΕΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΟΛΑΣ</a></u> .....	31
<u><a href="#">3.1Βιομίμηση και τρισδιάστατη εκτύπωση</a></u> .....	31
<u><a href="#">3.2Μοτίβα εμπνευσμένα από τη φύση</a></u> .....	32
<u><a href="#">3.3Ιδέες για τη δομή της σόλας</a></u> .....	41
<u><a href="#">3.4Επιλεγμένη μέθοδος</a></u> .....	45
<u><a href="#">ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ</a></u> .....	62

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Η γενικότερη εξέλιξη της τεχνολογίας και των υλικών που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό και την παραγωγή διαφόρων προϊόντων, έχει επιδράσει σημαντικά και στο τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται αθλητικά υποδήματα υψηλών προδιαγραφών, όπως αυτά που χρησιμοποιούν οι αθλητές μεγάλων αποστάσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία ασχολείται με τον τρόπο σχεδίασης και δοκιμής της εξωτερικής και εσωτερικής σόλας των αθλητικών υποδημάτων, αυτού του είδους.

Αρχικά, θα γίνει μια σύντομη αναδρομή στην έννοια του βιομηχανικού σχεδιασμού και στα στάδια του, στις ερευνητικές εξελίξεις που αφορούν τα αθλητικά υποδήματα και την εφαρμογή των τεχνολογικών καινοτομιών στα προϊόντα. Επίσης θα γίνει αναφορά στη σημασία της εξατομίκευσης των προϊόντων αυτών και στο πως η χρήση 3D εκτύπωσης συμβάλλει σε αυτό.

Στη συνέχεια θα αναφερθούν οι βασικές αρχές της βιάδισης και του τρεξίματος καθώς επίσης θα αναφερθούν τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή των υποδημάτων. Επίσης θα γίνει αναφορά στη σημασία που διαθέτει η σόλα ως μέρος του αθλητικού υποδήματος, στις κατηγοριοποιήσεις αυτής (εσωτερική, ενδιάμεση, εξωτερική) καθώς και στα χαρακτηριστικά και τον σχεδιασμό αυτών.

Τέλος, θα γίνει αναφορά στους τρόπους με τους οποίους η σύγχρονη τεχνολογία 3D μπορεί να αντιγράψει και να ενσωματώσει στο σχεδιασμό και στη παραγωγή των αθλητικών υποδημάτων χαρακτηριστικά τα οποία προέρχονται από τη φύση (βιομιμητισμός), μοτίβα τα οποία χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό καθώς και ιδέες για το σχεδιασμό σόλας βασιζόμενοι σε αυτά.

Βάσει όλων αυτών, η εργασία στοχεύει στην ανάδειξη της σημασίας της 3D εκτύπωσης στο σχεδιασμό και τη δημιουργία αθλητικών υποδημάτων, τα οποία ενσωματώνουν εξατομικευμένα χαρακτηριστικά του εκάστοτε αθλητή-χρήστη του προϊόντος.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

# ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ-ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΘΛΗΤΙΚΟΥ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ

---

### 1.1 Ο Βιομηχανικός Σχεδιασμός και τα στάδιά του

Η έννοια του βιομηχανικού σχεδιασμού άρχισε να αναπτύσσεται στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα. Σύμφωνα με τους επίσημους ορισμούς του IDSA (Industrial Design Society of America) και ICSID (International Council of Societies of Industrial Design): «Βιομηχανικός σχεδιασμός είναι η επαγγελματική ειδικότητα της σχεδίασης και εξέλιξης ιδεών και των χαρακτηριστικών που τις διέπουν, βελτιώνουν τη λειτουργία και την αισθητική των προϊόντων και συστημάτων αυτών, με σκοπό, την εξίσου μέγιστη ωφέλεια τόσο του κατασκευαστή όσο και του χρήστη.»

Ο σχεδιασμός προϊόντων είναι μία δημιουργική εργασία της οποίας σκοπός είναι να ορίσει τις ποικίλες ποιότητες των προϊόντων ή συστημάτων προϊόντων. Αποτελεί τον κεντρικό παράγοντα που δίνει στην τεχνολογία ένα «ανθρώπινο» πρόσωπο έτσι ώστε να γίνει ελκυστική σε αυτόν που απευθύνεται προς χρήση. Ο σχεδιασμός επίσης είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες πολιτισμικής και οικονομικής ανταλλαγής μεταξύ ανθρώπων.

Πίσω από τον σχεδιασμό οποιουδήποτε προϊόντος υπάρχει σημαντική έρευνα, σκέψη και ανάλυση δεδομένων, πιθανές λύσεις, δημιουργία ενός πρωτότυπου μοντέλου και διαδραστική ανάλυσή του, εξέταση του αντικειμένου και επανασχεδιασμός του, και τέλος προετοιμασία για παραγωγή και προσφορά του στην αγορά. Έτσι προκύπτουν τα στάδια της διαδικασίας σχεδιασμού.

Η ιδέα και η ανάγκη για ένα νέο προϊόν προκύπτουν από δύο πηγές. Η πρώτη αποτελείται από το εσωτερικό της εκάστοτε επιχείρησης δηλαδή το προσωπικό, την παραγωγή και το μάρκετινγκ και η δεύτερη από τους εξωτερικούς παράγοντες δηλαδή τους καταναλωτές, τους ανταγωνιστές και τα υπόλοιπα μέρη της αγοράς.

Στο πρώτο αυτό στάδιο γίνεται η αξιολόγηση μιας ιδέας ανάλογα με τις ανάγκες της αγοράς ή της εκάστοτε επιχείρησης. Παρόλα αυτά το σημαντικότερο στάδιο αυτής της διαδικασίας είναι η αναλυτική περιγραφή του προϊόντος καθώς εκεί θα καθοριστούν όλες οι λεπτομέρειες σχετικά με τον σχεδιασμό του. Οι λεπτομέρειες



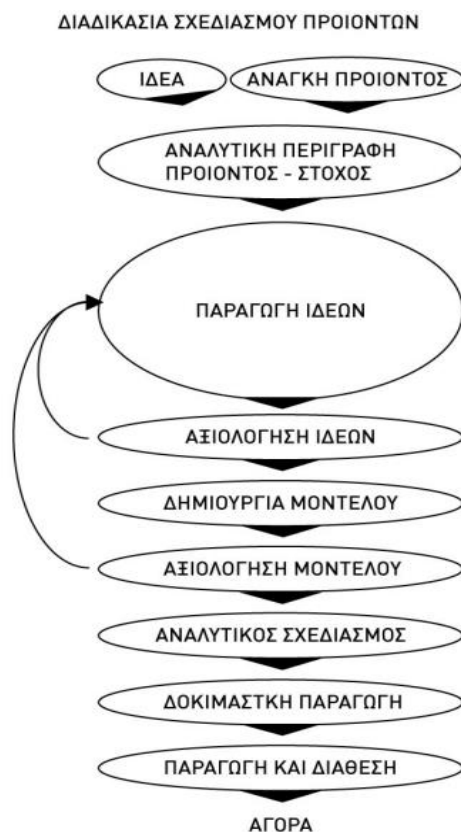
αφορούν τα χαρακτηριστικά του προϊόντος, τα χαρακτηριστικά του καταναλωτή που θα απευθύνεται το προϊόν, τις δυνατότητες του κατασκευαστή, τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως επίσης και τους δυνατούς τρόπους παραγωγής. Αυτό το κομμάτι της διαδικασίας θα φανεί χρήσιμο στην πορεία ως μέσο αξιολόγησης των λύσεων που θα έχουν προταθεί.

Με γνώμονα το προηγούμενο στάδιο, ο σχεδιαστής ξεκινάει να «χτίζει», να παράγει δηλαδή τις γενικές ιδέες με τη μορφή τρισδιάστατων σχεδίων στον Η/Υ ή σκίτσων σε κλίμακα. Τα σχέδια αυτά θα είναι σε πρωταρχικό στάδιο, χωρίς λεπτομέρειες και ακρίβεια, και θα απεικονίζουν απλώς τη γενική εικόνα της εκάστοτε ιδέας. Το στάδιο αυτό αποτελεί θεμέλιο για την κατάληξη του προϊόντος και παρόλο που δεν έχει μεγάλο κόστος, συνιστά το 50% του συνολικού χρόνου ανάπτυξης του προϊόντος. Η αξιολόγηση των ιδεών γίνεται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα όπου εκεί κρίνεται το αν η ιδέα θα απορριφθεί ή θα περάσει σε επόμενο στάδιο, όπου θα δημιουργηθεί το κανονικό μοντέλο όσο το δυνατόν πιο συμβατό με την πραγματικότητα. Έτσι η ιδέα θα πρέπει τώρα να ελεγχθεί και σε πραγματική κλίμακα όσον αφορά την εμφάνισή της και έπειτα όσον αφορά τους παράγοντες της εργονομίας, της λειτουργικότητας, της επιλογής υλικών ή χρωμάτων. Για να υλοποιηθεί αυτός ο έλεγχος -και για λόγους οικονομίας- αναπτύσσονται τρισδιάστατα μοντέλα συμβατά με τα πραγματικά, έτσι ώστε έπειτα από την αξιολόγηση της ιδέας να ακολουθήσει η αξιολόγηση του μοντέλου.

Μετά το στάδιο της αξιολόγησης γίνεται ο αναλυτικός σχεδιασμός του κάθε μέρους του τελικού προϊόντος. Αυτό σημαίνει ότι σε αυτό το στάδιο θα καθοριστούν τα χρώματα, τα υλικά και όλες οι λεπτομέρειες και θα δημιουργηθούν τα καλούπια που ίσως χρειαστούν στην παραγωγή. Στο σημείο αυτό γίνεται δοκιμαστική παραγωγή του προϊόντος προκειμένου να αναγνωριστούν ενδεχόμενα σφάλματα και να μπορέσουν να διορθωθούν ώστε να ξεκινήσει η παραγωγή και η διάθεση του προϊόντος στην αγορά. Το τελικό προϊόν περνάει από έλεγχο ως προς την πληρότητά του και προωθείται σε εκθέσεις ώστε να ελεγχθεί και το μέγεθος της ανταπόκρισης από τους καταναλωτές.

Τέλος, αν όλα είναι ικανοποιητικά και πληρούνται οι κατάλληλες προϋποθέσεις τότε το προϊόν μπαίνει πλέον σε κανονική γραμμή παραγωγής και προσφέρεται στην αγορά[1].

Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 1) απεικονίζονται τα στάδια της διαδικασίας σχεδιασμού των προϊόντων.



ΕΙΚΟΝΑ 1. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ [ΠΗΓΗ 1]

## 1.2 Ερευνητικές εξελίξεις στο αθλητικό υπόδημα

### ➤ Η έννοια του Bare foot

Κάθε σεζόν, νέες κυκλοφορίες υποδημάτων έρχονται στο προσκήνιο συνοδευόμενες από νέες τεχνολογίες, άλλοτε εξ ολοκλήρου καινοτόμες και άλλοτε βελτιωμένες εκδόσεις των ήδη υπάρχοντων υποδημάτων. Ένας νέος σχεδιασμός βέβαια δεν υπόσχεται πάντα βελτιωμένη λειτουργικότητα. Σε αυτήν την ενότητα, γίνεται λόγος για τρία σχέδια υποδημάτων τα οποία βασίζονται στην άποψη του «Γυμνού ποδιού»-«Bare foot». Η ιδέα αυτή υποστηρίζεται από πληθώρα προπονητών καθώς πρεσβεύουν πως ο αθλητής που προπονείται με γυμνά πόδια έχει το πλεονέκτημα να διορθώνει τη δύναμη του συνολικού μυϊκού συστήματος και να γυμνάζει ταυτόχρονα μικρούς και μεγάλους μύες (Εικόνα 2). Με την αύξηση αυτής της δύναμης προλαμβάνονται τυχόν τραυματισμοί που αφορούν την κίνηση[2].



ΕΙΚΟΝΑ 2 . BARE-FOOT: Η ΑΝΑΓΚΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΙΣΘΗΣΗΣ ΤΟΥ ΓΥΜΝΟΥ ΠΟΔΙΟΥ  
[ΠΗΓΗ 2]

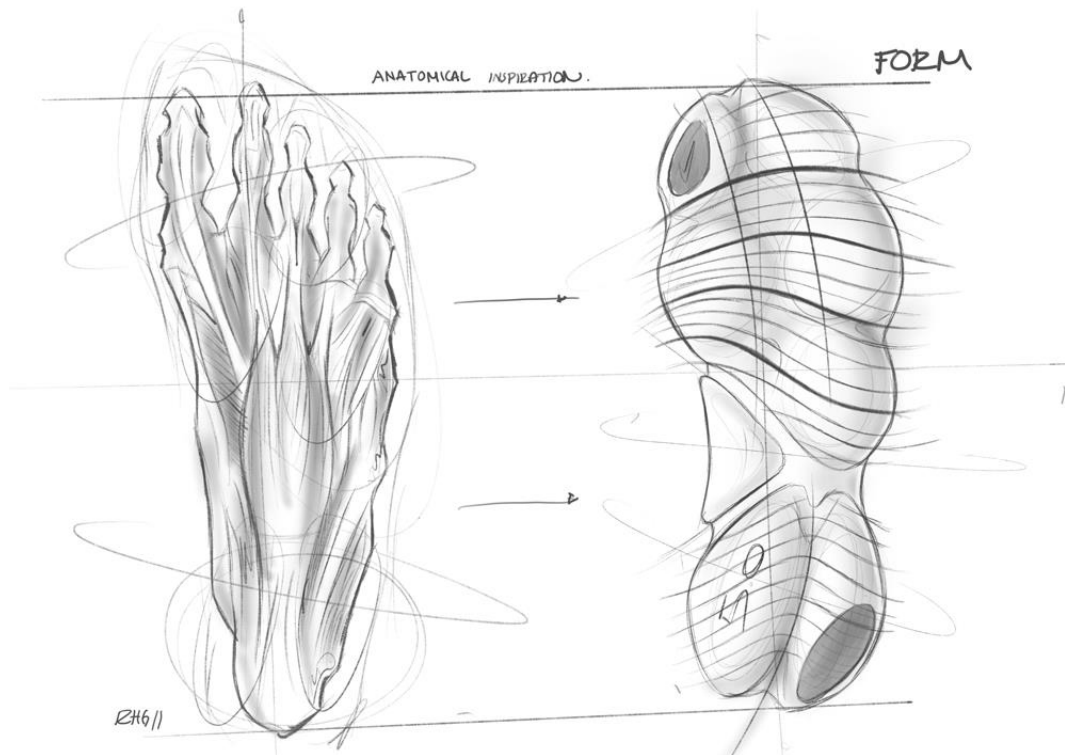
➤ *The Feet You Wear Concept*

Με στόχο την δημιουργία ενός υποδήματος που θα θυμίζει την αίσθηση του γυμνού ποδιού, και λαμβάνοντας υπόψιν πως το ανθρώπινο πόδι είναι μία δομή με στρογγυλεμένο σχήμα, η Adidas λανσάρει το «The feet you wear concept». Το υπόδημα δοκιμάστηκε για πρώτη φορά στην καλαθοσφαίριση για μια χρονική περίοδο δύο ετών και το συμπέρασμα ήταν πως υπήρχε σημαντική μείωση των τραυματισμών σε σύγκριση με άλλα παπούτσια που χρησιμοποιήθηκαν. Το ποσοστό των τραυματισμών για το πρώτο έτος ήταν ανά 1000 αθλητές, 7.1 για το παπούτσι Feet you wear και 11.3 για άλλα υποδήματα ενώ για το δεύτερο έτος 7.3 και 9.8 αντίστοιχα.

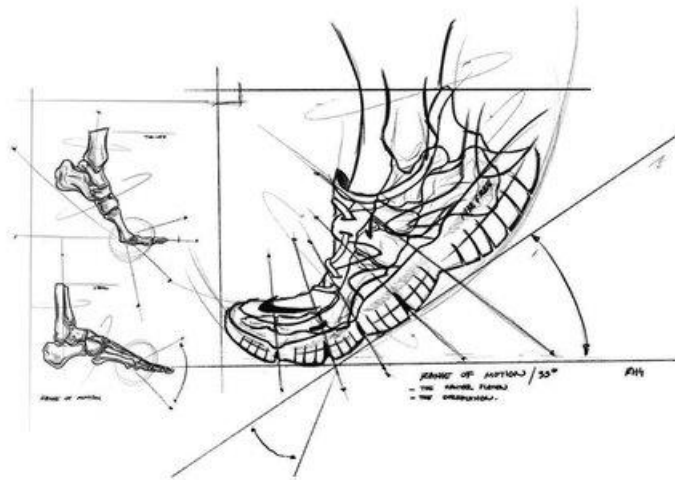
➤ *Nike Free Concept*

Το δεύτερο σχέδιο αφορά σε δημιουργία της Nike η οποία αναπτύσσει το «Nike Free concept» (Εικόνα 3, Εικόνα 4) το οποίο αναπτύσσεται ώστε να δημιουργηθεί μία απομίμηση της κινηματικής του τρεξίματος με γυμνά πόδια. Η κατασκευή της σόλας αποτελείται από μία μαλακή και φαρδιά φτέρνα στο πίσω μέρος και από ένα ευέλικτο κομμάτι σόλας στο μπροστινό. Το Nike Free έχει τη δυνατότητα να χαρίζει στον αθλητή μία επίπεδη προσγείωση του πέλματος λόγω της φαρδιάς φτέρνας που διαθέτει καθώς αυτό δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί με μία σόλα παρόμοια του ανθρώπινου ποδιού. Παράλληλα, η εύκαμπτη κατασκευή του μπροστινού μέρους αυξάνει την επιφάνεια επαφής του πέλματος με το έδαφος αφού επιτρέπει την κατανομή της πίεσης σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Σε ένα δείγμα 100 δοκιμαζόμενων αθλητών, τα αποτελέσματα της αυξημένης δραστηριότητας του ποδιού με το υπόδημα Nike Free σημείωσαν, κατά τη διάρκεια του τρεξίματος, αξιόλογη

μείωση της κίνησης της άρθρωσης μεταταρσίου-φαλαγγίου κατά 7%, και αύξηση της δύναμης κάμψης που είναι δυνατό να παραχθεί σε αυτή την άρθρωση κατά 20%.



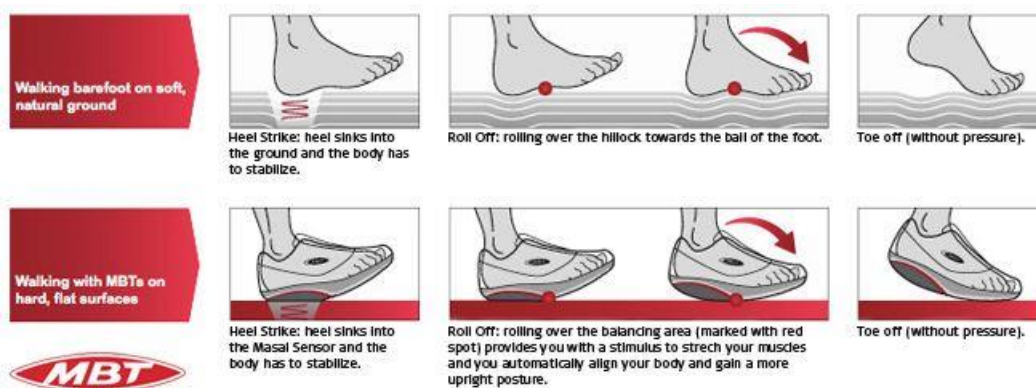
ΕΙΚΟΝΑ 3. ΚΑΤΩ ΟΨΗ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ NIKE FREE [ΠΗΓΗ 3]



ΕΙΚΟΝΑ 4. ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΑΜΨΗΣ [ΠΗΓΗ 4]

➤ MBT-Masai Barefoot Technology Concept

Αξιοσημείωτο σχέδιο αποτελούν και τα υποδήματα MBT (MBT Masai Barefoot Technology Concept) τα οποία σχεδιάστηκαν με στόχο την απομίμηση της κίνησης του γυμνού ποδιού σε μαλακό έδαφος. Το συγκεκριμένο υπόδημα χαρακτηρίζεται αυτή τη φορά από την παχιά στρογγυλεμένη σόλα στο πίσω μέρος δημιουργώντας όμως αστάθεια που κατά την διάρκεια της ορθοστασίας απαιτεί αυξημένη μυϊκή δραστηριότητα για να διατηρήσει ο αθλητής την ισορροπία του. Με αυτόν τον τρόπο το υπόδημα θεωρείται όργανο προπόνησης κυρίως των μικρών μυών του ποδιού. Έχει παρατηρηθεί αύξηση του χρόνου ισορροπίας περισσότερο από 100% κατά τη χρήση του υποδήματος MBT και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μυϊκή δραστηριότητα εναλλάσσεται διαρκώς και μειώνει έτσι τη φόρτιση της άρθρωσης λόγω της μυϊκής συστολής.

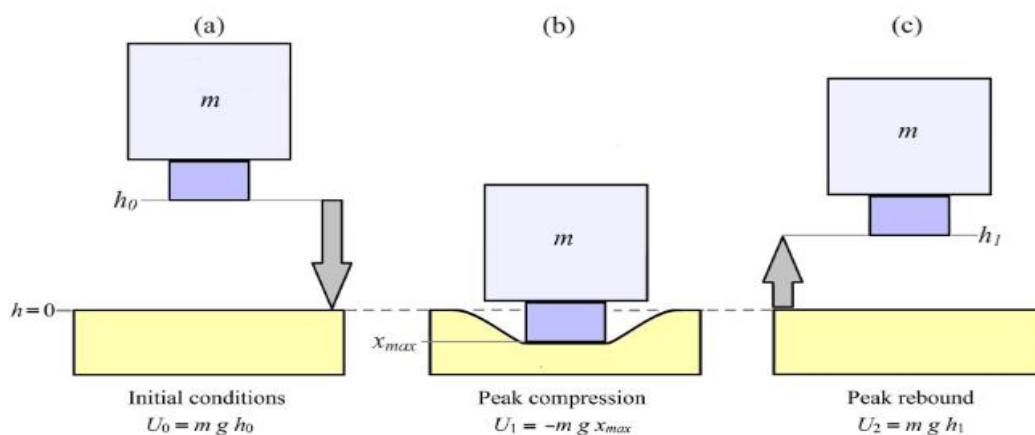


ΕΙΚΟΝΑ 5. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ MBT ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΔΟΥΝ ΤΗΝ ΑΙΣΘΗΣΗ ΤΟΥ ΓΥΜΝΟΥ ΠΟΔΙΟΥ [ΠΗΓΗ 5]

➤ Επιστροφή ενέργειας (Energy Return)

Η έννοια της «επιστροφής ενέργειας» έχει χρησιμοποιηθεί αρκετές φορές στον σχεδιασμό αθλητικών υποδημάτων. Η ουσία πίσω από αυτήν την ιδέα είναι ότι η ενέργεια έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύεται στη σόλα κατά τη διάρκεια της επαφής του πέλματος με το έδαφος και να επιστρέφεται στον αθλητή κατά την απογείωση (Εικόνα 6). Έτσι όσο μικρότερη η διάρκεια επαφής με το έδαφος τόσο πιο ανώδυνο το αποτέλεσμα που απολαμβάνει ο αθλητής.

Για να επιτευχθεί αυτή η ιδέα υπάρχουν μερικές σημαντικές προϋποθέσεις. Η ενέργεια που επιστρέφεται θα πρέπει να επιστραφεί την κατάλληλη χρονική στιγμή, στο κατάλληλο σημείο με την κατάλληλη συχνότητα και να είναι μεγάλη ώστε να παράγεται διαφορά.



ΕΙΚΟΝΑ 6. (Α) ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ (Β) ΕΠΑΦΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (Γ) ΑΝΥΨΩΣΗ [ΠΗΓΗ 6]

➤ EMA- Energy Management Athletics

Άλλη μία εξέλιξη του αθλητικού υποδήματος αποτελεί η ιδέα σχεδίασης παπουτσιού με πλήρη ανάρτηση EMA (Energy Management Athletics)(Εικόνα 7). Η ιδέα βασίζεται στην τοποθέτηση ενός ελατηρίου κάτω από την φτέρνα και ενός κάτω από τα δάκτυλα. Αυτός ο σχεδιασμός θα επιφέρει αξιοσημείωτη παραμόρφωση και κατ' επέκταση αποθήκευση ελαστικής ενέργειας, το οποίο είναι όπως προαναφέρθηκε απαραίτητο για πιθανή επιστροφή ενέργειας. Το συγκεκριμένο αθλητικό υπόδημα προορίζεται για τρέξιμο και για να χαρίζει μία αίσθηση ελαστικότητας στον αθλητή που τα φοράει. Η ιδέα εξετάστηκε ως προς την κατανάλωση οξυγόνου σε διάδρομο και αποδείχθηκε ότι το πρωτότυπο παπούτσι EMA έχει τη δυνατότητα να ελαττώνει τα επίπεδα κατανάλωσης οξυγόνου έως και 2.2% συγκριτικά με ένα κοινό αξιόλογο παπούτσι τρεξίματος.



ΕΙΚΟΝΑ 7. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ EMA [ΠΗΓΗ 7]

➤ Η έννοια Power Bounce

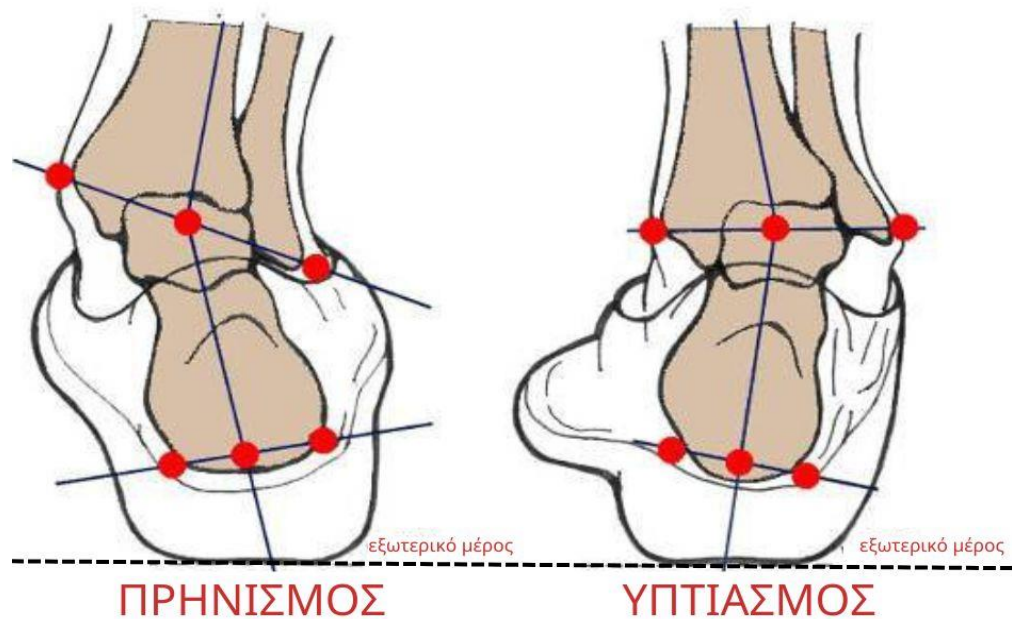
Η παραπάνω ιδέα αφορούσε τη δομή του αθλητικού υποδήματος και πως αυτή θα σχεδιαστεί ώστε να υπάρχει πλήρης ανάρτηση EMA. Αντίθετα τώρα, η έννοια «Power Bounce» βασίζεται στη χρήση των ιδιοτήτων των υλικών για να μπορέσει να επιτύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τα υλικά αυτά έχουν διαφορετική συμπεριφορά όσο αυξάνονται οι δυνάμεις που τους ασκούνται. Αυτό σημαίνει ότι όσο πιο αργές και ήπιες οι δυνάμεις τόσο πιο εύκαμπτα, ευέλικτα και μαλακά είναι, ενώ όσο πιο γρήγορες και έντονες τόσο και πιο ελαστικά γίνονται. Η έννοια του Power Bounce επικεντρώνεται στο ενδιάμεσο τμήμα του πέλματος και χρησιμοποιώντας ενώσεις που προκαλούν διαστολές, καταφέρνει να δημιουργεί μαλακές σόλες με απορροφητικότητα ως προς τους κραδασμούς κατά τη διάρκεια μικρών ταχυτήτων και πιο ελαστικές σόλες που είναι ικανές να επιστρέφουν ενέργεια κατά τη διάρκεια μεγαλύτερων ταχυτήτων (Εικόνα 8).



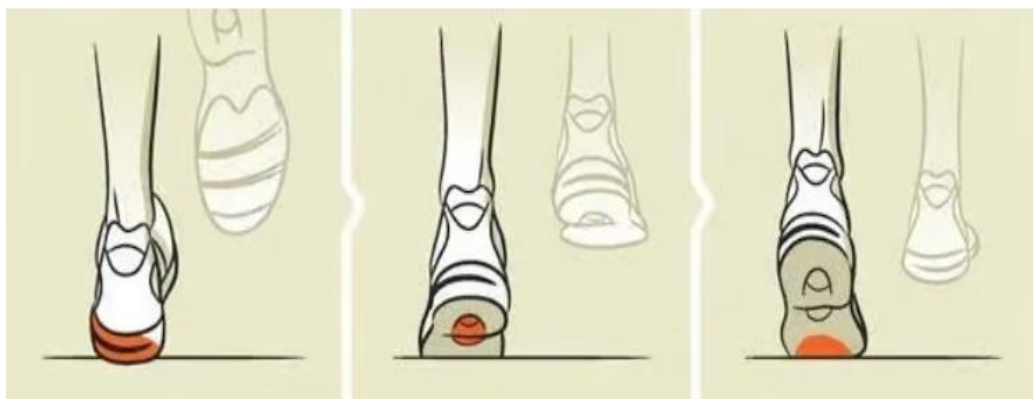
ΕΙΚΟΝΑ 8. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ POWER BOUNCE [ΠΗΓΗ 8]

➤ Οπίσθιος έλεγχος ποδιού-Rear foot control

Η παρούσα ιδέα θεωρείται πρωτοπόρος ως προς την σχεδίαση αθλητικών υποδημάτων. Ξεκίνησε αφού διαπιστώθηκαν δύο φυσικές κινήσεις του ποδιού κατά την προσγείωση στο έδαφος ενώ ο αθλητής τρέχει ή περπατάει, και ονομάζονται πρηνισμός και υπτιασμός (Εικόνα 9). Οι δύο αυτές κινήσεις είναι φυσιολογικές κατά την διάρκεια της βάρδισης και συμβαίνουν διαδοχικά. Στο πρώτο μισό της φάσης κίνησης εμφανίζεται ο πρηνισμός κατά τον οποίο προκαλούνται ταυτόχρονα οι ακόλουθες τρεις κινήσεις: υποαστραγαλική εκτροπή, απαγωγή του μπροστινού ποδιού και ραχιαία κάμψη του αστραγάλου. Στο δεύτερο μισό της φάσης κίνησης εμφανίζεται ο υπτιασμός, στο σημείο δηλαδή όπου η φτέρνα αρχίζει να απομακρύνεται από το έδαφος [7]. Οι κατασκευαστές έπειτα από έρευνες βέβαια διαπίστωσαν πως αυτό μάλλον οφειλόταν και στις παχιές κατασκευές της φτέρνας των παπουτσιών. Έπειτα από αυτή τη διαπίστωση η σχεδίαση των παπουτσιών δεν άλλαξε κατά πολύ, παρόλα αυτά έγιναν απόπειρες μείωσης της υπερβολικής αυτής απόκλισης.



ΕΙΚΟΝΑ 9. ΟΙ ΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΕΛΜΑΤΟΣ ΚΑΘΩΣ Ο ΑΘΛΗΤΗΣ ΤΡΕΧΕΙ/ ΠΕΡΠΑΤΑΕΙ [ΠΗΓΗ 9]



ΕΙΚΟΝΑ 10. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΕΠΑΦΗΣ ΜΕ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟ ΒΑΔΙΣΗΣ [ΠΗΓΗ 10]

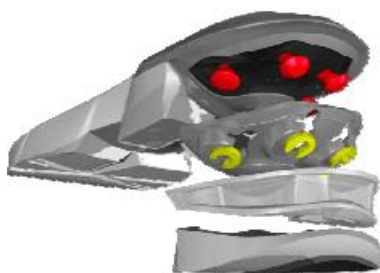
Οι απόπειρες αυτές αφορούν δύο προσπάθειες που έγιναν από δύο γνωστής φήμης εταιρίες, Adidas και Asics.

Η Adidas, φέρνει στο προσκήνιο ένα πρωτοποριακό σύστημα ελέγχου για την φτέρνα (GCS-Ground Control System) το οποίο έχει τη δυνατότητα να κινείται αντίθετα από την κίνηση του πέλματος κατά την προσγείωση. Έτσι η οριζόντια κίνηση που δημιουργείται στο κομμάτι της φτέρνας, έχει τη δυνατότητα να επαναπροσδιορίζει τις οριζόντιες συνιστώσες των δυνάμεων του εδάφους οι



οποίες είναι υπεύθυνες για τις ροπές που δέχονται οι αρθρώσεις και ιδίως το γόνατο. Έπειτα από έρευνες χρήσης του παπουτσιού αυτού, παρατηρήθηκε ότι μειώθηκαν σημαντικά οι ροπές που δέχεται η άρθρωση του γονάτου με λογικό επόμενο το παπούτσι αυτό να υπερισχύσει μεταξύ άλλων ενάντια στους τραυματισμούς και τις καταπονήσεις.

Η δεύτερη ιδέα αφορά την ατομική τεχνολογία ανάρτησης (Individual Suspension Technology) του παπουτσιού Gel Komodo, η οποία πέρα από την Asics, έχει προταθεί και από άλλες εταιρίες. Όλες στηρίζουν την ιδέα τους στην κατασκευή μίας σόλας της οποίας τα στοιχεία μπορούν να αλλάζουν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Τα στοιχεία ανάρτησης μπορεί να είναι σκληρά με σκοπό να παρέχεται σταθερότητα και σιγουριά ή να είναι μαλακά προκειμένου να προσφέρουν άνεση και απαλότητα. Αυτό σημαίνει πως σε περίπτωση συνάντησης εμποδίου, η σόλα θα έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζεται αλλά τοπικά και έτσι να περιορίζει την πλήρη παραμόρφωση ολόκληρης της σόλας (Εικόνα 11. Η ανεξάρτητη αυτή σχεδίαση των στοιχείων της σόλας αποδείχθηκε ότι προάγει τόσο την αντικραδασμική προστασία όσο και τον πλήρη έλεγχο του πίσω μέρους του ποδιού.



ΕΙΚΟΝΑ 11. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΣΟΛΑΣ [ΠΗΓΗ 11]

➤ Αντικραδασμική προστασία- Cushioning

Η έννοια αυτή είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη όσο αφορά την σχεδίαση και την κατασκευή αθλητικών υποδημάτων. Κάθε σχεδόν μοντέλο υποδήματος που λανσάρεται στην αγορά υπόσχεται προστασία από τους κραδασμούς. Πολλά όμως από αυτά τα μοντέλα με υποτιθέμενα αντικραδασμικά χαρακτηριστικά, δεν τα διαθέτουν λειτουργικά αλλά μόνο σχεδιαστικά. Έτσι η εταιρία Asics (Asics Gel Helios) έπειτα από έρευνες και υπολογισμούς, διαπίστωσε πως η πλέον κατάλληλη σχεδίαση της σόλας ώστε να μειώνεται η απόκλιση που εμφανίζεται ανάμεσα στις οριζόντιες και τις κατακόρυφες παραμορφώσεις, είναι η κατασκευή της σόλας σε σχήμα παρόμοιο με ντόνατ (Εικόνα 12)[3].



ΕΙΚΟΝΑ 12. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΟΛΑΣ ΣΕ ΣΧΗΜΑ ΝΤΟΝΑΤ [ΠΗΓΗ 12]

### **1.3 Η τεχνολογία 3D Printing**

Ο όρος προσθετική κατασκευή ή αλλιώς τρισδιάστατη εκτύπωση, περιγράφει το σύνολο των τεχνολογιών που χρησιμοποιούν τις προσθετικές μεθόδους όπου γίνεται εναπόθεση υλικού σε στρώσεις ή ενώνοντας σωματίδια υλικού και κατασκευάζεται ένα τρισδιάστατο αντικείμενο παίρνοντας ως δεδομένο το τρισδιάστατο μοντέλο αυτού. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Αρχικά υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας μεγάλης πολυπλοκότητας στην γεωμετρία του αντικειμένου σε σχέση με τις συμβατικές δομές παραγωγής καθώς επίσης και δυνατότητα παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων με χαμηλότερο κόστος κατασκευής συγκριτικά, αφού συμφέρει η βιομηχανική παραγωγή για μεγάλες παρτίδες όμοιων αντικειμένων. Ακόμα όμως και στις περιπτώσεις όπου δεν απαιτείται εξατομίκευση, οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής είναι συμφέρουσες, διότι προσφέρουν οικονομία όσον αφορά τις πρώτες ύλες λόγω χρήσης της απαραίτητης μόνο ποσότητας υλικού. Πλεονέκτημα της προσθετικής κατασκευής είναι και ο χρόνος κατασκευής ο οποίος μειώνεται δραστικά αλλά και το γεγονός ότι η διαδικασία απλοποιείται αφού δεν είναι απαραίτητη πια η χρήση εργαλείων, ο προγραμματισμός των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται, και η χειρωνακτική εργασία. Τελευταίο και εξίσου σημαντικό πλεονέκτημα είναι το γεγονός ότι μειώνονται σε μεγάλο βαθμό τα απόβλητα και εξοικονομείται σημαντικό ποσοστό ενέργειας καθώς η μέθοδος αυτή είναι φιλική προς το περιβάλλον.

Επομένως με τη μέθοδο αυτή, γίνεται εφικτή η οικονομική και γρήγορη παραγωγή πρωτότυπων και τελικών προϊόντων. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, γίνεται ενάντια στα υλικά που υπάρχουν διαθέσιμα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν, στην αντοχή του τελικού προϊόντος καθώς και στην ποιότητα που θα έχει η υφή στην επιφάνεια. Παρόλα αυτά, η συνεχώς εξελισσόμενη τεχνολογία συμβάλλει στην ανάπτυξη νέων υλικών, τα οποία υπόσχονται πολλά ως προς τις ιδιότητες και την ανθεκτικότητα.

- *Τεχνικές του Additive Manufacturing*

❖ Η μέθοδος της στερεολιθογραφίας (Stereolithography-SL)

Η στερεολιθογραφία είναι η παλαιότερη τεχνική του additive manufacturing και είναι αυτή που χρησιμοποιήθηκε πρώτη από την αμερικάνικη εταιρία 3D systems. Σαν μέθοδος έχει την μεγαλύτερη ακρίβεια αφού μπορεί να παράγει μοντέλα με μεγάλη λεπτομέρεια και να κατορθώνει εξαιρετικό τελείωμα επιφανειών. Με τη μέθοδο αυτή, το προϊόν «χτίζεται» σε μια δεξαμενή με φωτοπολυμερή ρητίνη σε υγρή μορφή η οποία στερεοποιείται στο επιθυμητό σχήμα, με μια υπεριώδη ακτίνα laser. Κάθε στρώση που ολοκληρώνεται, το έδρανο κατεβαίνει ένα επίπεδο προκειμένου να στερεοποιηθεί η επόμενη στρώση στην επιφάνεια της δεξαμενής. Για την μέθοδο αυτή απαιτείται η δημιουργία δομών στήριξης για ορισμένες γεωμετρίες του αντικειμένου. Αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή του προϊόντος με τη μέθοδο αυτή, ακολουθεί το καθάρισμα του αντικειμένου, η αφαίρεση των υποστηρικτικών δομών που χρειάστηκαν για να στηρίζουν την κατασκευή και τέλος η τοποθέτησή του μέσα σε ειδικό φούρνο όπου οι έντονες ακτίνες φωτός θα συμβάλλουν στη στερεοποίηση και σκλήρυνση του.

❖ Η μέθοδος DLP (Digital Light Processing)

Η ακόλουθη επεξεργασία έχει κοινά στοιχεία με την στερεολιθογραφία από την άποψη ότι και οι δύο χρησιμοποιούν φωτοπολυμερή υλικά. Η ειδοποιός διαφορά όμως ανάμεσα στις δύο αυτές μεθόδους είναι ότι η DLP χρησιμοποιεί μια κανονική πηγή φωτός και όχι έντονο φως όπως η στερεολιθογραφία. Μία κανονική πηγή φωτός θα μπορούσε να είναι μία λάμπα σε συνδυασμό με οθόνη υγρού κρυστάλλου ή ένας παραμορφωτικός καθρέπτης που εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια της δεξαμενής με ένα μόνο πέρασμα. Έτσι η μέθοδος αυτή καθίσταται γρηγορότερη από την SL. Και σε αυτήν την μέθοδο απαιτούνται υποστηρικτικές δομές και άλλες επεξεργασίες, παρόλα αυτά όμως εξακολουθεί να είναι πιο γρήγορη αλλά και πιο οικονομική, καθώς απαιτείται λιγότερο υλικό, από την SL.

❖ Η μέθοδος της συντηγμένης μοντελοποίησης με εναπόθεση FDM ( Fused Deposition Modeling)

Η μέθοδος αυτή είναι και εκείνη που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία. Χρησιμοποιούνται θερμοπλαστικά υλικά, δηλαδή πολυμερή που μπορούν να αλλάζουν από υγρή σε στερεή φάση όταν ψύχονται και αντίστροφα. Τα υλικά αυτά περνούν μέσα από θερμαινόμενο ακροφύσιο, λιώνουν και έπειτα εξωθούνται από αυτό σε μορφή νήματος. Έτσι δημιουργούνται στρώσεις μέχρις ότου σχηματιστεί το αντικείμενο. Το υλικό σκληραίνει και στερεοποιείται έπειτα από την εναπόθεση του στην πλατφόρμα, και οι στρώσεις ενώνονται μεταξύ τους χωρίς κάποιο υλικό σύνδεσης. Τα συνηθέστερα υλικά είναι το ABS και το PLA.

❖ Η μέθοδος Inkjet Method: Binder Jetting

Στη μέθοδο αυτή προβλέπεται η κατασκευή ενός μοντέλου σε δοχείο γεμάτο από υλικό που έχει ως βάση του το γύψο, π.χ. πούδρα από άμυλο. Από την κεφαλή της βελόνας εκτύπωσης ρέει μικρή ποσότητα συνδετικού υλικού πάνω στην πούδρα με σκοπό να ενωθούν και να σχηματιστούν λεπτές στρώσεις. Σε αυτήν την μέθοδο δεν χρειάζονται υποστηρικτές δομές επειδή το μοντέλο κατασκευάζεται μέσα στην δεξαμενή με την μαλακή πούδρα. Η μέθοδος αυτή, είναι η μόνη που μπορεί να τυπώσει έγχρωμο αντικείμενο. Τα αντικείμενα που παράγονται από αυτή τη διαδικασία χρειάζονται επιπλέον επεξεργασία για να αποκτήσουν την επιθυμητή αντοχή καθώς δεν είναι πολύ ανθεκτικά.

❖ Η μέθοδος Inkjet: Material Jetting MJM (Multi-Jet Modeling)

Το χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι η μεγάλη κεφαλή η οποία έχει τη δυνατότητα να ενσωματώνει πολλά μικρά ακροφύσια, από τα οποία εξωθείται θερμοπολυμερές υλικό σε υγρή μορφή. Το υλικό αυτό στερεοποιείται και ενώνεται με τη βοήθεια μιας ακτίνας UV, σχηματίζοντας στρώσεις ενώ κινείται στο χώρο τρισδιάστατα. Λόγω της ύπαρξης πολλαπλών ακροφυσίων θεωρείται μέθοδος μεγάλης ακρίβειας και καθιστά δυνατή τη χρήση πολλαπλών υλικών για την κατασκευή του προϊόντος.

❖ Επιλεκτική πολυεπίπεδη πυροσυσσωμάτωση (Selective Layer Sintering- SLS )

Η μέθοδος αυτή αφορά τεχνολογία Laser υψηλής ισχύος και υλικών σε μορφή πούδρας, πλαστικά, κεραμικά και γυαλί. Το μηχάνημα αυτής της μεθόδου αποτελείται από μια δεξαμενή που περιέχει το υλικό σε μορφή πούδρας και μια δεύτερη υπεύθυνη για την κατασκευή του υλικού στην οποία εμπεριέχεται επίσης μια στρώση πούδρας που τροφοδοτείται από την διπλανή δεξαμενή. Η ακτίνα UV δίνει τη δυνατότητα στερεοποίησης της πούδρας της δεύτερης δεξαμενής, δημιουργώντας μία ενιαία στρώση στο επιθυμητό σχήμα. Με την εναπόθεση της πρώτης στρώσης, η δεύτερη δεξαμενή χαμηλώνει κατά ένα επίπεδο. Έπειτα μία μικρή ποσότητα πούδρας μεταφέρεται από την πρώτη στην δεύτερη δεξαμενή όπου με τη χρήση ενός ρολού η επιφάνειά της γίνεται λεία. Με τη βοήθεια της ακτίνας UV η πούδρα ενώνεται και στερεοποιείται με την δεύτερη στρώση η οποία χτίζεται πάνω στην πρώτη και ενώνεται με αυτήν και ούτω καθεξής. Μετά την ολοκλήρωση το αντικείμενο αφαιρείται από την δεξαμενή και καθαρίζεται. Παρά την ανθεκτικότητα που προσφέρει αυτή η μέθοδος συγκριτικά με τις μεθόδους SL και DPL, οι επιφάνειες που προκύπτουν δεν είναι οι καλύτερες δυνατές.

#### ❖ Η μέθοδος SHS (Selective Heat Sintering)

Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με την SLS όμως χρησιμοποιείται θερμική κεφαλή αντί για laser υψηλής έντασης. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί ως υλικό θερμοπλαστική σκόνη της οποίας οι ιδιότητες μοιάζουν πολύ με αυτές του Nylon. Η μέθοδος SHS είναι οικονομικότερη από την SLS και ενδείκνυται για την παραγωγή φθηνών πρωτοτύπων [9].

### **1.4 3D εκτύπωση και υποδήματα**

Η πιο σύγχρονη μέθοδος κατασκευής υποδημάτων είναι με τη βοήθεια της τεχνολογίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η εκτύπωση μπορεί να αφορά την κατασκευή ολόκληρου του παπουτσιού, την κατασκευή της εξωτερικής σόλας, ή της εσωτερικής. Όσον αφορά την εκτυπώσιμη εξωτερική σόλα, η Adidas, τον Οκτώβριο του 2015 λανσάρει στην αγορά το Adidas Futurecraft 3d, ένα αθλητικό υπόδημα του οποίου η σχεδίαση είναι εξατομικευμένη στις ανάγκες του κάθε αθλητή. Παράλληλα, η εταιρία New Balance κυκλοφορεί την εξατομικευμένη τρισδιάστατη σόλα, η οποία κατασκευάστηκε με ένα υλικό πολυουρεθάνης, το DuraForm TPU Elastomer, με τη βοήθεια της μεθόδου SLS (Selective Laser Sintering). Με την ίδια λογική η αμερικάνικη εταιρία Under Armour σχεδιάζει το παπούτσι τρεξίματος Architect, με σόλα κατάλληλα σχεδιασμένη ώστε να προσφέρει στους αθλητές περισσότερη σταθερότητα.

Για την κατηγορία της εσωτερικής σόλας, την ιδέα λανσάρει η εταιρία Materialise, η οποία κατασκευάζει τρισδιάστατες εξατομικευμένες εσωτερικές σόλες που τοποθετούνται στο εσωτερικό των υποδημάτων, χαρίζοντας άνεση στον χρήστη. (Materialise, RSPrint, Creating 3D Printed Insoles Based on Dynamic Measurement Footscans – a Joint Venture of Materialise and RSscan International).

Η εταιρία Feetz, με λογισμικό ειδικό ώστε να επιτρέπεται η συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών των πελμάτων του χρήστη, κατορθώνει να κατασκευάζει εξολοκλήρου εξατομικευμένα υποδήματα με τη μέθοδο της τρισδιάστατης εκτύπωσης (Feetz, Custom fit 3d printed shoes). Τέλος, με βάση τα παραδοσιακά στοιχεία υποδηματοποιίας όπως το δέρμα και τα κορδόνια και το τρισδιάστατα τυπωμένο nylon, η εταιρία XYZ, κατασκευάζει προσωποποιημένα υποδήματα. (Shapeways blog, New Zealand Based Designer's XYZ Shoe Mixes 3D Printing & Traditional Materials). Υπάρχουν βέβαια και πολλά υποδήματα τα οποία κατασκευάστηκαν με γνώμονα το design και όχι την άνεση και την λειτουργικότητα.

Έτσι και οι σχεδιαστές υποδημάτων σήμερα, οι οποίοι πειραματίζονται και δοκιμάζουν διάφορες εκδοχές των δυνατοτήτων που τους προσφέρονται από την

τρισδιάστατη εκτύπωση και δημιουργούν έτσι πρωτότυπα με εντυπωσιακή γεωμετρία που όμως επικεντρώνονται μόνο στο θέμα της αισθητικής και όχι στην άνεση.

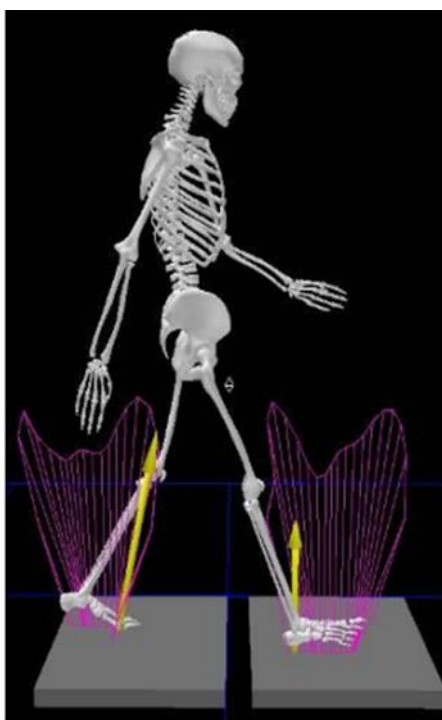
---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΣΤΙΣ ΣΟΛΕΣ ΤΩΝ ΑΘΛΗΤΙΚΩΝ ΥΠΟΔΗΜΑΤΩΝ

---

#### 2.1 Βάδιση και τρέξιμο



ΕΙΚΟΝΑ 13. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΠΟΥ ΔΕΧΕΤΑΙ ΤΟ ΠΕΛΜΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ [ΠΗΓΗ 13]

Ως βάδιση θεωρείται η όρθια θέση του ανθρώπου ακολουθούμενη από μία σειρά ταλαντώσεων του σώματος που εφαρμόζονται γύρω από τα πόδια τα οποία στηρίζονται στο έδαφος. Είναι μία σειρά συγχρονισμένων κινήσεων των μελών του σώματος οι οποίες λαμβάνουν χώρα γύρω από διαφορετικές αρθρώσεις κάθε χρονική στιγμή[10]. Το τρέξιμο είναι ουσιαστικά μία σταδιακή αύξηση της ταχύτητας της βάδισης και αποτελεί πυλώνα της αθλητικής δραστηριότητας. Συγκεκριμένα, κατά τη διάρκεια ενός διασκελισμού, μεταβάλλεται ο χρόνος σταδιακά αφού μειώνεται η φάση στήριξης και αυξάνεται ο χρόνος αιώρησης. Το σημείο κατά το οποίο γίνεται η μετάβαση από βάδιση σε τρέξιμο είναι η χρονική στιγμή όπου μηδενίζεται η φάση διπλής στήριξης και η ταχύτητα έχει ξεπεράσει τα 180 βήματα ανά δευτερόλεπτο (Εικόνα 14).



ΕΙΚΟΝΑ 14. Η ΜΕΤΑΒΑΣΗ ΑΠΟ ΒΑΔΙΣΗ ΣΕ ΤΡΕΞΙΜΟ [ΠΗΓΗ 14]

## **2.2 Οι διαφορές της βάδισης από το τρέξιμο**

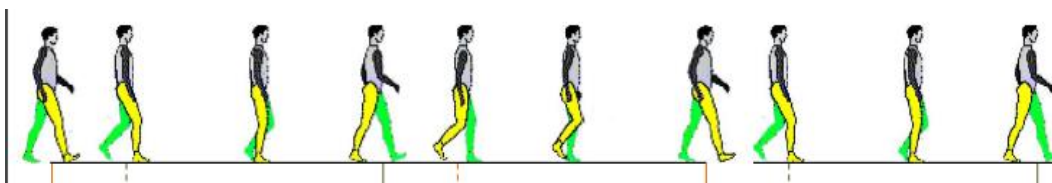
Βάδιση θεωρείται το είδος της μετακίνησης κατά το οποίο το ένα πόδι βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος (φάση στήριξης), ενώ το άλλο αιωρείται προς τα εμπρός ώστε να αναλάβει την υποστήριξη του σώματος στη φάση αιώρησης. Κατά τη φάση διπλής στήριξης, δηλαδή τη μεταφορά του βάρους από το ένα πόδι στο άλλο, και τα δύο πόδια βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος. Αυτή είναι και η βασική διαφορά της βάδισης από το τρέξιμο. Στο τρέξιμο υπάρχει μία περίοδος κατά την οποία και τα δύο πόδια δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος. Κατά τη βάδιση, η κατακόρυφη δύναμη αντίδρασης έχει δύο μέγιστες τιμές και η πίεση ασκείται κατά κύριο λόγο στο μεγάλο δάχτυλο, τα μετατόρσια και τη φτέρνα. Στο τρέξιμο από την άλλη εμφανίζονται και πάλι δύο μέγιστα σημεία, το ένα όταν γίνεται επαφή με τη φτέρνα, ενώ το άλλο όταν εφάπτεται το πρόσθιο ή το μεσαίο τμήμα του πέλματος με το έδαφος. Για τους αθλητές οι πιέσεις στα πέλματα είναι υψηλές για το έξω χείλος και το πρόσθιο τμήμα του πέλματος. Το τρέξιμο συγκριτικά με τη βάδιση φαίνεται να χρησιμοποιεί μεγαλύτερο εύρος κινήσεων των αρθρώσεων όπως είναι η κάμψη του γόνατος. Παράλληλα, κάποιες από τις φυσικές κινήσεις του σώματος, όπως η στροφή του κορμού, ο πρηνισμός-υπτιασμός, αντιστρέφονται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου βάδισης. Στη βάδιση εντοπίζονται πιο σταθερά χαρακτηριστικά στην κινησιολογία των αρθρώσεων το οποίο είναι φυσιολογικό καθώς δεν εφαρμόζονται μεταβολές στην ταχύτητα [13].

## **2.3 Η κινητική ανάλυση της βάδισης**

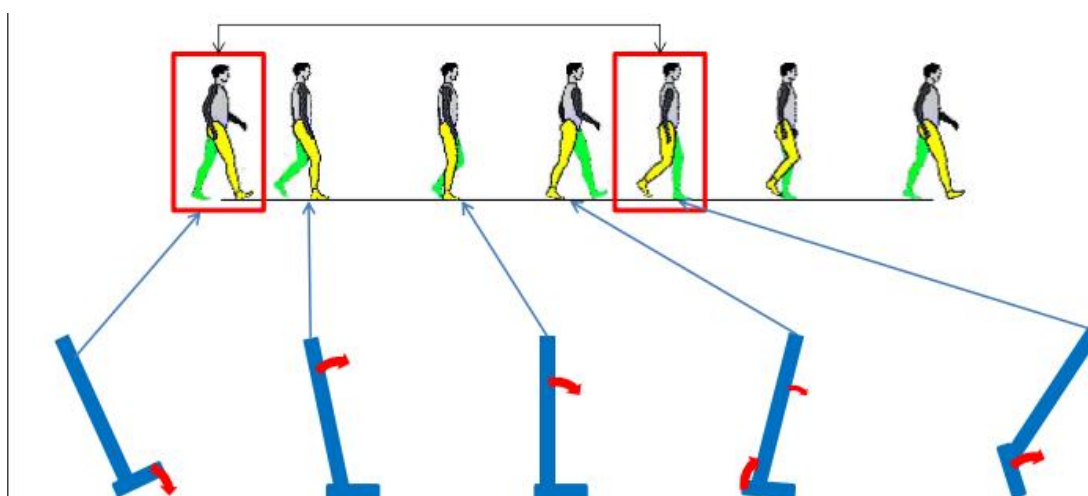
Η κινητική ανάλυση βάδισης αφορά στην ανάλυση των δυνάμεων που δέχεται το πέλμα και δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες για την καταπόνηση που δέχονται οι αρθρώσεις, για τους κραδασμούς κατά την επαφή με το έδαφος, την απώλεια ενέργειας καθώς και ό,τι χρειάζεται για την πρόληψη τυχόν τραυματισμών. Η ανάλυση της βάδισης σε έναν αθλητή έχει σκοπό να βελτιώσει την ενεργειακή του απόδοση, ώστε να δαπανά την ελάχιστη δυνατή ενέργεια. Παράλληλα όμως έχει σκοπό να περιορίσει το ποσοστό των



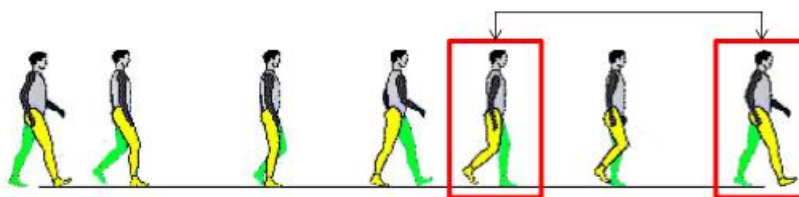
καταπονήσεων που συμβαίνουν κατά την κρούση οι οποίες απορροφούνται αρχικά από το πέλμα, την ποδοκνημική άρθρωση, το γόνατο, το υπόδημα και τέλος από το έδαφος. Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται οι φάσεις στήριξης και αιώρησης.



ΕΙΚΟΝΑ 15. ΦΑΣΕΙΣ ΚΥΚΛΟΥ ΒΑΔΙΣΗΣ [ΠΗΓΗ15]



ΕΙΚΟΝΑ 16. ΦΑΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ [ΠΗΓΗ 16]



ΕΙΚΟΝΑ 17. ΦΑΣΗ ΑΙΩΡΗΣΗΣ [ΠΗΓΗ 17]

#### 2.4 Τα υλικά που χρησιμοποιούνται

Ένα παπούτσι χωρίζεται σε τρία μέρη. Το άνω μέρος, την εσωτερική σόλα και το εξωτερικό μέρος του παπουτσιού. Στο πλαίσιο σχεδιασμού των υποδημάτων, υπάρχει μια ποικιλία υλικών που αποτελούν δημοφιλείς επιλογές για τρισδιάστατη εκτύπωση μίας σόλας. Οι λόγοι που επιλέγονται είναι τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, η δύναμη η

ελαστικότητα καθώς και η άνεση. Ακολουθεί μια σύντομη λίστα με μερικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τρισδιάστατη εκτύπωση.

Πολυπροπυλένιο (PP): Είναι ένα υλικό ελαφρύ και εύκαμπτο. Το πολυπροπυλένιο χρησιμοποιείται γενικά σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αντοχή και ανθεκτικότητα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σκληρά εξαρτήματα αλλά προσαρμόζεται και σε σόλες παπουτσιών με συγκεκριμένα μείγματα και διατάξεις.

Θερμοπλαστική Πολυουρεθάνη (TPUryfall): Το TPU διαθέτει ελαστική μνήμη, ανθεκτικότητα και εξαιρετική αντοχή στην τριβή, καθώς και ιδιότητες αντοχής στο λάδι, αποτελώντας το τέλειο υλικό για ευέλικτες εφαρμογές στα υποδήματα.

PLA (Πολυγαλακτικό Οξύ): Το PLA είναι ένα υλικό φιλικό προς το περιβάλλον, εκτυπώσιμο σε απλό εξωθητήρα και με υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος. Παρ' όλα αυτά, δεν είναι τόσο ανθεκτικό όσο κάποια άλλα πλαστικά. Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται σε πρωτότυπες και λιγότερο απαιτητικές εφαρμογές υποδημάτων.

Αφρός αιθυλενίου οξικού βινυλίου (EVA): Το EVA είναι ένα ελαφρύ υλικό με μεγάλη κάμψη και ιδιότητες επένδυσης στις σόλες των παπουτσιών. Χρησιμοποιείται είτε σε εξωτερική είτε σε ενδιάμεση σόλα και αυξάνει την άνεση και την προστασία από τις δυνάμεις κρούσης.

TPV Θερμοπλαστικό βουλκανιστικά/ελαστομερή: Αφορά τα θερμοπλαστικά ελαστομερή που συνδυάζουν την ευελιξία και την σκληρότητα του καουτσούκ με την ευκολία επεξεργασίας των θερμοπλαστικών. Συνιστάται για αντοχή στην κρούση. Με το trn επιτυγχάνεται εύκαμπτη και ανθεκτική εξωτερική σόλα.

Nylon (PA): Τα οφέλη του nylon είναι η αντοχή, η ευελιξία και η ανθεκτικότητα. Η καλή αντοχή του στη φθορά και η χαμηλή του τριβή το καθιστούν κατάλληλο για άκαμπτα και εύκαμπτα εξαρτήματα σε παπούτσια.

Ακρυλονατρίλιο, βουταδιένιο στυρένιο (ABS): Το ABS είναι ένα αδιαφανές θερμοπλαστικό. Είναι ένα άμορφο πολυμερές που αποτελείται από τρία μονομερή, το ακρυλονιτρίλιο, το βουταδιένιο και το στυρένιο. Έχει χαμηλό σημείο τήξης, το οποίο επιτρέπει την εύκολη χρήση του στη διαδικασία χύτευσης με έγχυση και στην εκτύπωση 3D. Έχει επίσης υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό και είναι πολύ ανθεκτικό στις φυσικές κρούσεις και τη χημική διάβρωση, που επιτρέπουν στο τελικό πλαστικό να αντέχει τη βαριά χρήση και τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες [22].

Αφρός πολυουρεθάνης (Polyurethane Foam Rigid): Ο αφρός πολυουρεθάνης προσφέρει κάποιες πολύ σημαντικές ιδιότητες στα υλικά όπως θερμική χωρητικότητα, δηλαδή πόση ενέργεια χρειάζεται για την αύξηση της θερμοκρασίας του υλικού, θερμική αγωγιμότητα, μηχανικές ιδιότητες συμπεριλαμβανομένης της αντοχής του στην πίεση και ευαισθησία ως προς τις αλλαγές στις εξωτερικές συνθήκες.

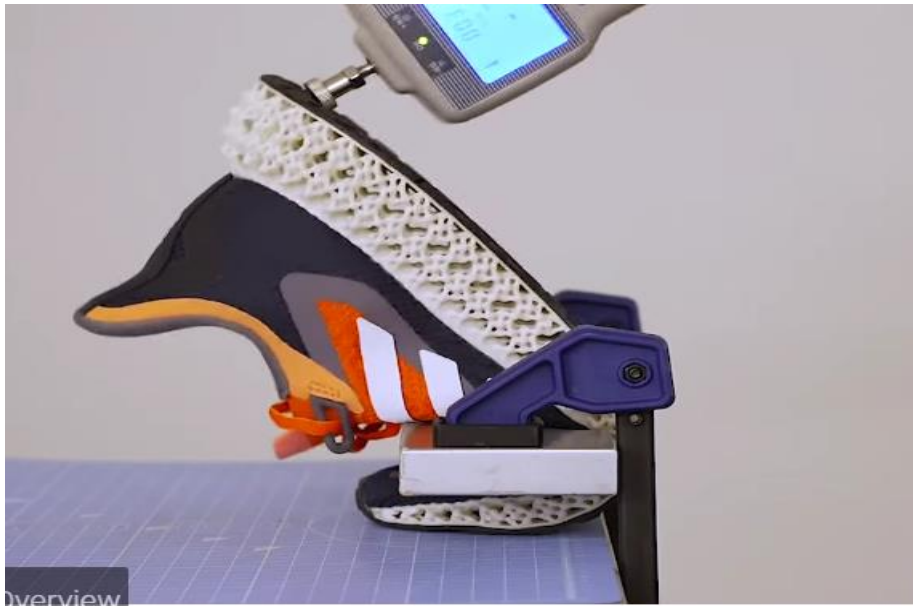
## 2.5 Σόλα και προστασία



ΕΙΚΟΝΑ 18. ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ [ΠΗΓΗ 18]

Το πόδι ενός αθλητή δέχεται σε κάθε πάτημα μεγάλες στιγμιαίες δυνάμεις οι οποίες καταπονούν τις αρθρώσεις τους. Αυτό συνεπάγεται πως το αθλητικό υπόδημα που επιλέγει θα πρέπει να πληρεί κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις.

Τόσο η εξωτερική όσο και η εσωτερική σόλα θα πρέπει να φροντίζουν σε συνδυασμό για την αντικραδασμικότητα και για την άνεση του αθλητή. Γι' αυτό και η ελαστικότητα είναι ένα βασικό συστατικό κατά την σχεδίαση μίας σόλας για την προστασία από τους κραδασμούς. Η ελαστικότητα έχει τη δυνατότητα να καταπραΰνει τις κρουστικές δυνάμεις που δέχεται το πόδι και να μειώνει την τάση, αντί δηλαδή το πόδι να δέχεται αυτές τις μεγάλες ακαριαίες δυνάμεις, να δέχεται μικρότερες για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Εικόνα 19).



ΕΙΚΟΝΑ 19. ΔΟΚΙΜΗ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΟΛΑΣ ADIDAS 4DFWD 2 [ΠΗΓΗ 19]

Όσον αφορά την ελαστικότητα, σημαντική αναφορά είναι τα παπούτσια με αερόσολες. Οι αερόσολες βρίσκονται στις σόλες κάποιων αθλητικών υποδημάτων και περιέχουν ουσιαστικά συμπιεσμένο αέρα προσδίδοντας έτσι περισσότερη ελαστικότητα.

Πέρα από την προστασία από τους κραδασμούς, ένα καλό υπόδημα πρέπει να διαθέτει και καλή πρόσφυση με το έδαφος για την αποφυγή τραυματισμών. Για το λόγο αυτό στο κάτω μέρος της σόλας τοποθετείται ειδική αντιολισθητική γόμα ή κάποια εξογκώματα τα οποία βελτιστοποιούν την πρόσφυση. Για παράδειγμα μία σόλα running διαθέτει ειδικά εξογκώματα για την καλύτερη κινητικότητα του αθλητή ενώ μία σόλα στίβου διαθέτει καρφιά για τη βέλτιστη απόδοση και σταθερότητα του αθλητή (Εικόνα 20, Εικόνα 21).



ΕΙΚΟΝΑ 20. ΣΟΛΑ RUNNING [ΠΗΓΗ 20] ΕΙΚΟΝΑ 21. ΣΟΛΑ ΣΤΙΒΟΥ ΜΕ ΚΑΡΦΙΑ [ΠΗΓΗ 21]

Οι πτυχές στη σόλα αλλάζουν αναλόγως το έδαφος στο οποίο αναφερόμαστε. Αν το έδαφος είναι ανώμαλο (π.χ. χώμα) τόσο πιο σκληρή και τραχιά η σόλα, ενώ αν είναι ομαλό (π.χ. ταρτάν) τόσο πιο μαλακή και ελαστική [14].

Τέλος εξίσου σημαντική είναι η υγιεινή του ποδιού η οποία προέρχεται από τον καλό αερισμό του παπουτσιού (Εικόνα 22). Η εσωτερική σόλα που έρχεται σε άμεση επαφή με το πόδι κατασκευάζεται από φυσικό ύφασμα το οποίο διαθέτει μικρές οπές ως μέσω εξαερισμού (Εικόνα 23), δίνοντας έτσι τη δυνατότητα απορρόφησης της υγρασίας ώστε να στεγνώνει το πόδι.



ΕΙΚΟΝΑ 22. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ADIDAS 4DFWD 2 ΜΕ ΕΝΑ ΚΟΙΝΟ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΗΝ ΕΦΙΔΡΩΣΗ [ΠΗΓΗ 22]



ΕΙΚΟΝΑ 23.ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΟΛΑ ΜΕ ΟΠΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΣ ΕΦΙΔΡΩΣΗΣ [ΠΗΓΗ 23]

## 2.6 Εσωτερική σόλα-3D Printed Insoles



ΕΙΚΟΝΑ 24. ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΟΛΑ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ [ΠΗΓΗ 24]

Η εσωτερική σόλα αφορά το επιπλέον και ουσιαστικά αποσπώμενο κομμάτι του υποδήματος[20]. Ο ρόλος της είναι να προσφέρει άνεση και εν μέρει υποστήριξη ανάλογα με την κατασκευή και την ποιότητα του κάθε υποδήματος. Η τρισδιάστατη εκτύπωση δίνει δυνατότητες δημιουργίας σχημάτων που θα ήταν ακατόρθωτο να σχεδιαστούν με συμβατικές τεχνικές παραγωγής. Οι ειδικοί στο CAD έχουν αναπτύξει μια σειρά από σχέδια εσωτερικής σόλας με διαφορετικές ιδιότητες, χρησιμοποιώντας την τεχνική Selective Laser Sintering (SLS).

Οι σόλες προκειμένου να παρέχουν ανακούφιση από τον πόνο και την κούραση του ποδιού, μπορούν είτε να έχουν ρυθμιζόμενη ακαμψία για διόρθωση και στήριξη του ποδιού ή να λυγίζουν προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Η δομή των τρισδιάστατων πελμάτων που εκτυπώνονται είναι ανοιχτή ώστε να επιτρέπεται η ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα και να μειώνεται η εφίδρωση. Παράλληλα το υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της σόλας είναι και φιλικό προς το περιβάλλον και το δέρμα.

Η αντοχή και η ανθεκτικότητα μιας εκτυπώσιμης σόλας έχει αποδειχθεί λυγίζοντας την για περισσότερο από ένα εκατομμύριο κύκλους χωρίς καμία αξιοσημείωτη επίδραση στις ιδιότητές της. Με την τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης δίνεται η δυνατότητα κάθε προϊόν να σχεδιάζεται ξεχωριστά, σύμφωνα με την τρισδιάστατη εικόνα του ποδιού (Εικόνα 25). Παράλληλα η διαδικασία γίνεται ταχύτερη και λιγότερο δαπανηρή.



ΕΙΚΟΝΑ 25. ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΤΟΥ ΠΟΔΙΟΥ [ΠΗΓΗ 25]

## 2.7 Η ενδιάμεση σόλα-3D Printed Midsole

Η ενδιάμεση σόλα είναι μία στρώση που βρίσκεται ανάμεσα στην εσωτερική και την εξωτερική σόλα (Εικόνα 26). Σκοπός της είναι η προστασία του δρομέα από τις δυνάμεις κρούσης και η υποστήριξή του κατά τον διασκελισμό. Το υλικό και το πάχος μιας ενδιάμεσης σόλας διαμορφώνεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κάθε αθλητή προκειμένου να μην έχει περιττό βάρος και να του προσφέρει σταθερότητα και ευκολία στην κίνηση.

Οι δυνατότητες στην κατασκευή μιας ενδιάμεσης σόλας μπορεί να είναι πολλές. Μπορεί να είναι εύκαμπτη ή άκαμπτη, μαλακή ή συμπαγής, με ή χωρίς σφήνες κλπ. Η ενδιάμεση σόλα είναι το πιο σημαντικό μέρος του παπουτσιού για έναν αθλητή διότι εκεί λαμβάνει χώρα η αντικραδασμικότητα και η σταθεροποίηση που θα χαρίσει στον αθλητή την βέλτιστη εμπειρία τρεξίματος. Για το λόγο αυτό αποκαλείται και πυρήνας ενός running υποδήματος.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση χάρισε στην ενδιάμεση σόλα επιπλέον κράτημα κατά το τρέξιμο ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες και αύξηση του ποσοστού αντικραδασμικότητας κατά 23%. Η εταιρία Adidas χρησιμοποίησε πάνω από 5 εκατομμύρια παραλλαγές στη δομή του δικτυωτού πλέγματος και συνδύασε 18 χρόνια πραγματικών αποδόσεων αθλητών για να καταφέρει να καταλήξει στο κατάλληλο σχέδιο [18].





ΕΙΚΟΝΑ 26. Η ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΣΟΛΑ ΠΟΥ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟΜΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ ADIDAS 4DFWD 2 [ΠΗΓΗ 26]

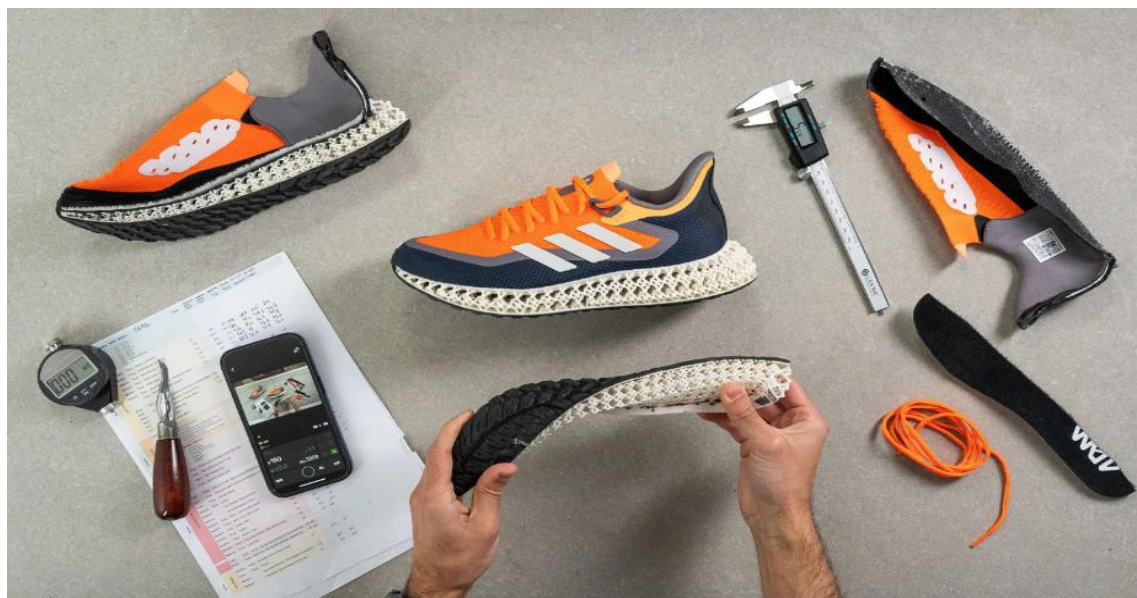
## **2.8 Η εξωτερική σόλα-3D Printed Outsole**

Η εξωτερική σόλα αφορά στο μέρος του υποδήματος το οποίο είναι σε άμεση επαφή με το έδαφος (Εικόνα 27, Εικόνα 28). Συνήθως η εξωτερική σόλα παράγεται από ανθεκτικό καουτσούκ, ωστόσο η ποσότητά του μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του υποδήματος για τρέξιμο. Όσο μεγαλύτερη η ποσότητα του καουτσούκ τόσο μεγαλύτερη η αντοχή του υποδήματος. Το υλικό αυτό τοποθετείται σε συγκεκριμένα σημεία με σκοπό να υποστηρίξει την αναπήδηση και να προσδίδει ευελιξία στα υποδήματα για τρέξιμο.

Χάρη στην τρισδιάστατη εκτύπωση η δομή πλέγματος που δημιουργείται στην εξωτερική σόλα αφορά αφηρημένα σχέδια εμπνευσμένα από τη φύση. Αυτά τα σχέδια δίνουν στα υποδήματα μέγιστη σταθερότητα και ανθεκτικότητα και δημιουργούν τεράστια εξοικονόμηση υλικών και βάρους. Με τις τρισδιάστατες εκτυπωμένες δομές πλέγματος, το κόστος παραγωγής μειώνεται και, χάρη στην εξοικονόμηση υλικών, η διαδικασία κατασκευής γίνεται και πιο φιλική προς το περιβάλλον. Παράλληλα το πλαστικό που χρησιμοποιείται, ανάλογα με τη διαδικασία, μπορεί να ανακυκλωθεί και να επανατροφοδοτήσει τη διαδικασία παραγωγής[19].



ΕΙΚΟΝΑ 27. Η ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΣΟΛΑ ΤΟΥ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ ADIDAS 4DFWD 2 [ΠΗΓΗ 27]



ΕΙΚΟΝΑ 28. ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ADIDAS 4DFWD 2 [ΠΗΓΗ 28]

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

---

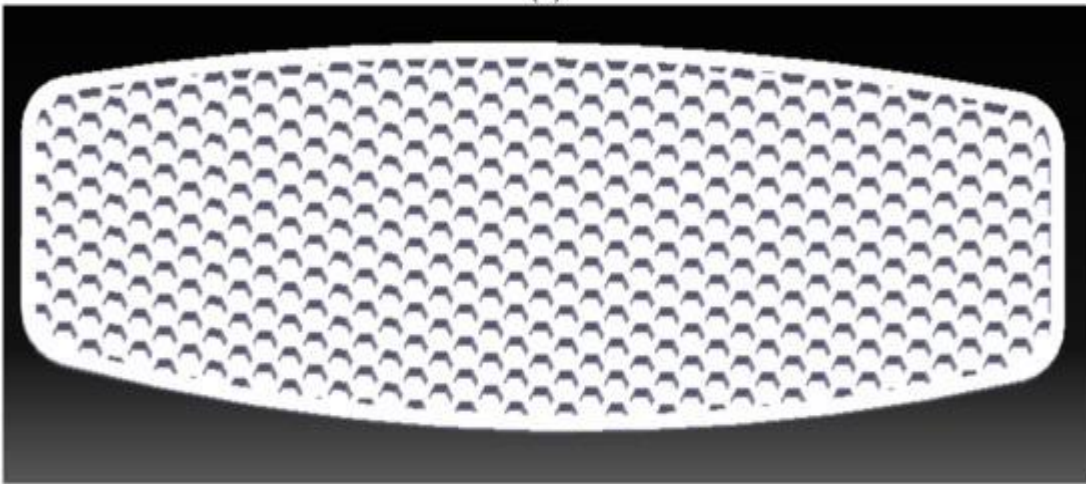
### ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΙΔΕΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΟΛΑΣ

---

#### 3.1 Βιομίμηση και τρισδιάστατη εκτύπωση



(a)



(b)

Εικόνα 29. η έννοια της βιομιμησης στην τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης [πηγή 29]

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια τεχνική που επιτρέπει μεγάλο βαθμό σχεδιαστικής ελευθερίας. Η βιομιμητικότητα, δηλαδή η μίμηση της φύσης, σε συνδυασμό με την τρισδιάστατη εκτύπωση, μπορεί να βελτιώσει την αισθητική και τη λειτουργία ενός 3D-εκτυπωμένου προϊόντος.

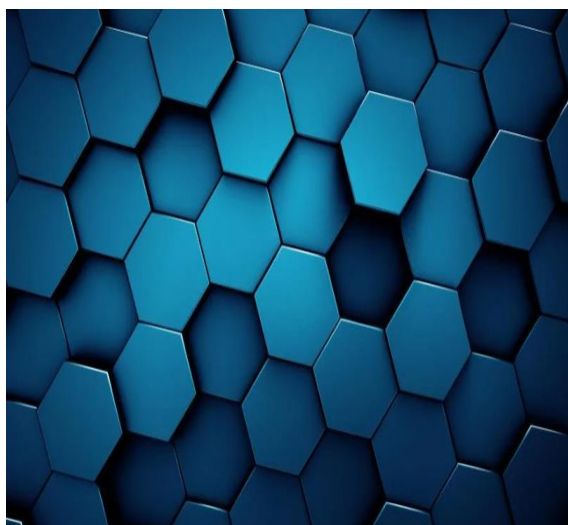
Βάσει αυτής καθίσταται εύκολη η δημιουργία πολύπλοκων αντικειμένων, το οποίο θα ήταν ακατόρθωτο με συμβατικές μεθόδους και επιτρέπει έτσι στους σχεδιαστές να αναπαράγουν πολύπλοκες μορφές που παρατηρούνται στη φύση, όπως ελαφριές δομές σαν τις κηρήθρες ή περίπλοκα σχέδια από κοχύλια ζώων, τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση και τη λειτουργικότητα.

Ο συνδυασμός της 3D εκτύπωσης με την βιομημητικότητα επιτρέπει τη δημιουργία προϊόντων φιλικών προς το περιβάλλον που αναπαράγουν αποτελεσματικές φυσικές δομές, μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση ενέργειας και τα απόβλητα στη διαδικασία παραγωγής. Η χρήση βίο-εμπνευσμένων υλικών στην τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ελαφρών, ισχυρών και βιοαποδομήσιμων προϊόντων. Οι ερευνητές για παράδειγμα, εξερευνούν βιοπλαστικά που αναπαράγουν τις ιδιότητες των φυσικών υλικών.

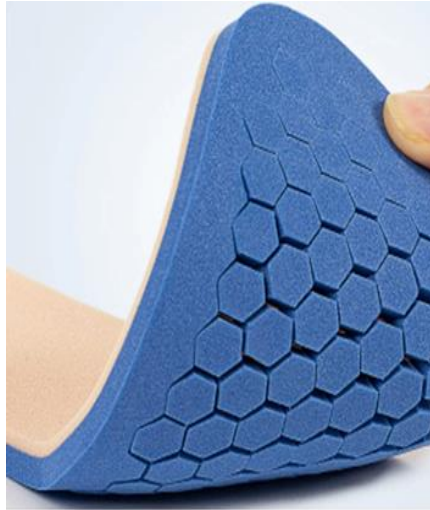
### **3.2 Μοτίβα εμπνευσμένα από τη φύση**

Η φύση απαρτίζεται από ποικίλες ενδιαφέρουσες δομές. Οι δομές αυτές αφορούν ζωντανούς οργανισμούς και διάφορα στοιχεία της φύσης. Κάποιες από αυτές είναι οι δομές της κηρήθρας και των σφουγγαριών, η δομή του μανιταριού και των μυκήτων, οι ίνες των φύλλων, το νευρικό σύστημα και πολλά άλλα. Από αυτές τις δομές μας είναι χρήσιμες εκείνες που μπορούν να προσφέρουν ευκινησία και ευκαμψία, που δημιουργούν ισχυρούς δεσμούς συμβάλλοντας στην αντοχή και την ανθεκτικότητα, και παράλληλα δεν προσθέτουν περιττό φορτίο στην κατασκευή[11].

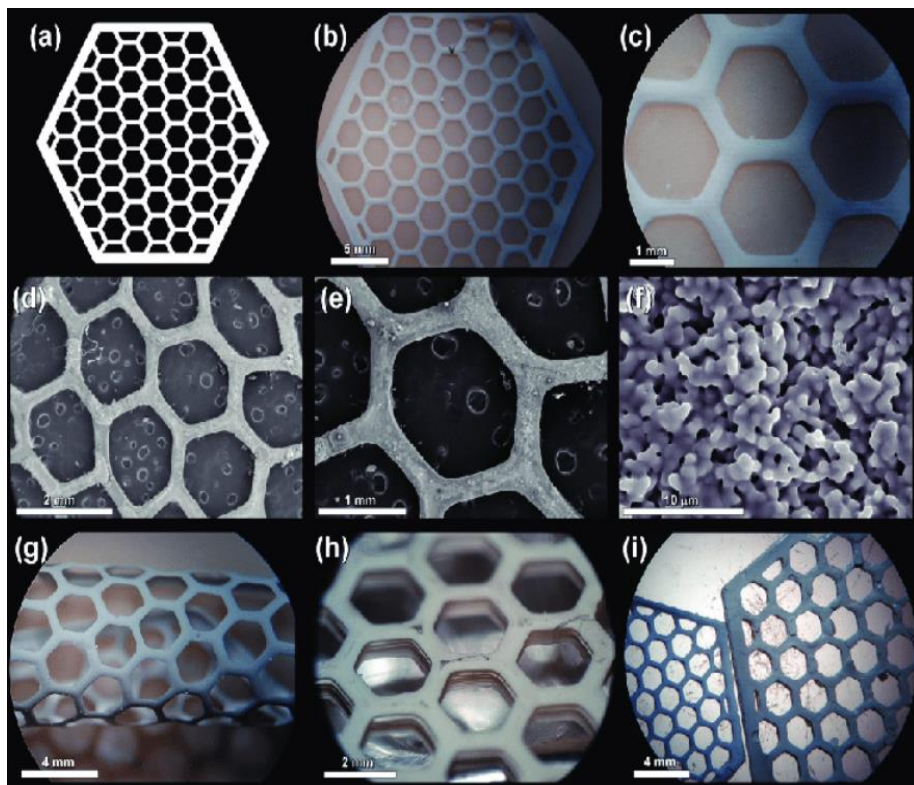
- Η δομή της κηρήθρας (Honeycomb)



ΕΙΚΟΝΑ 30. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΚΗΡΗΘΡΑΣ [ΠΗΓΗ 30]



ΕΙΚΟΝΑ 31. ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΤΙΒΟΥ ΤΗΣ ΚΗΡΗΘΡΑΣ ΣΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΟΛΑ [ΠΗΓΗ 31]



ΕΙΚΟΝΑ 32. ΤΟ ΜΟΤΙΒΟ ΤΗΣ ΚΗΡΗΘΡΑΣ ΕΜΠΝΕΥΣΜΕΝΟ ΑΠΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ [ΠΗΓΗ 32]

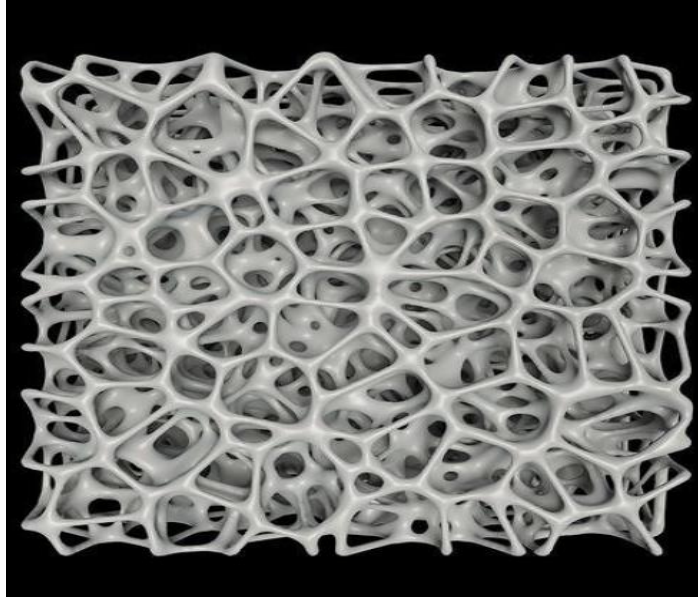
- Η δομή του σφουγγαριού



ΕΙΚΟΝΑ 33. «*CALLYSPONGIA PLICIFERA* VASE SPONGE BELIZE» [ΠΗΓΗ 33]



ΕΙΚΟΝΑ 34. SPONGE 7388 *CLATHRIA MIMA* SPONGE DETAIL, TAVEUNI, FIJI [ΠΗΓΗ 34]



ΕΙΚΟΝΑ 35. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΣΧΕΔΙΟ ΕΜΠΝΕΥΣΜΕΝΟ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΤΙΒΟ ΤΟΥ ΣΦΟΥΓΓΑΡΙΟΥ [ΠΗΓΗ 35]

- Η δομή του μανιταριού/μύκητες



ΕΙΚΟΝΑ 36. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ [ΠΗΓΗ 36]



ΕΙΚΟΝΑ 37. ΤΟ ΜΟΤΙΒΟ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΠΛΕΥΡΑΣ ΤΟΥ ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ [ΠΗΓΗ 37]



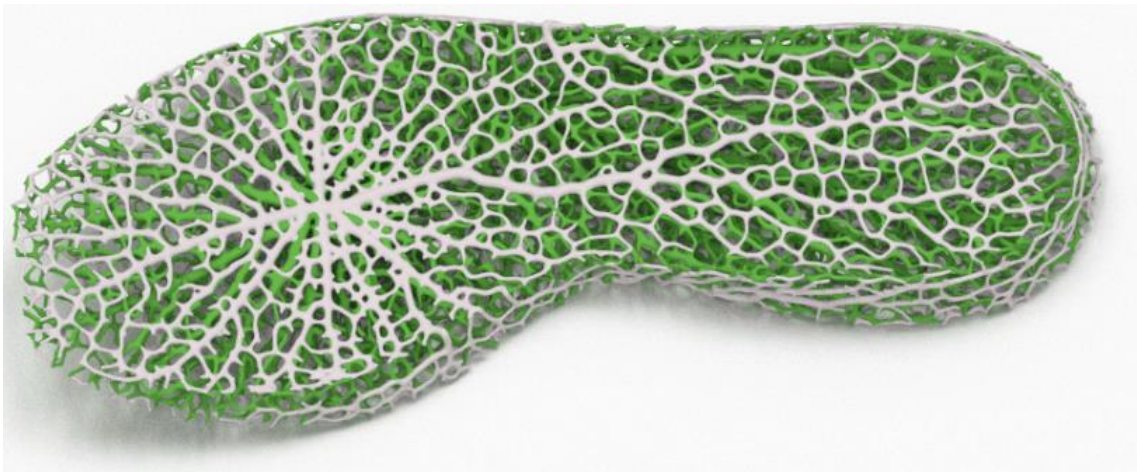
ΕΙΚΟΝΑ 38. ΣΟΛΑ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ ΕΜΠΝΕΥΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΤΙΒΟ ΜΥΚΗΤΑ/ΜΑΝΙΤΑΡΙΟΥ [ΠΗΓΗ 38]

- Οι ίνες των φύλλων





ΕΙΚΟΝΑ 39. ΟΙ ΙΝΕΣ ΕΝΟΣ ΦΥΛΛΟΥ [ΠΗΓΗ 39]



ΕΙΚΟΝΑ 40. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΣΧΕΔΙΟ ΜΕ ΜΟΤΙΒΟ ΕΜΠΝΕΥΣΜΕΝΟ ΑΠΟ ΤΙΣ ΙΝΕΣ ΤΩΝ ΦΥΛΛΩΝ [ΠΗΓΗ 40]

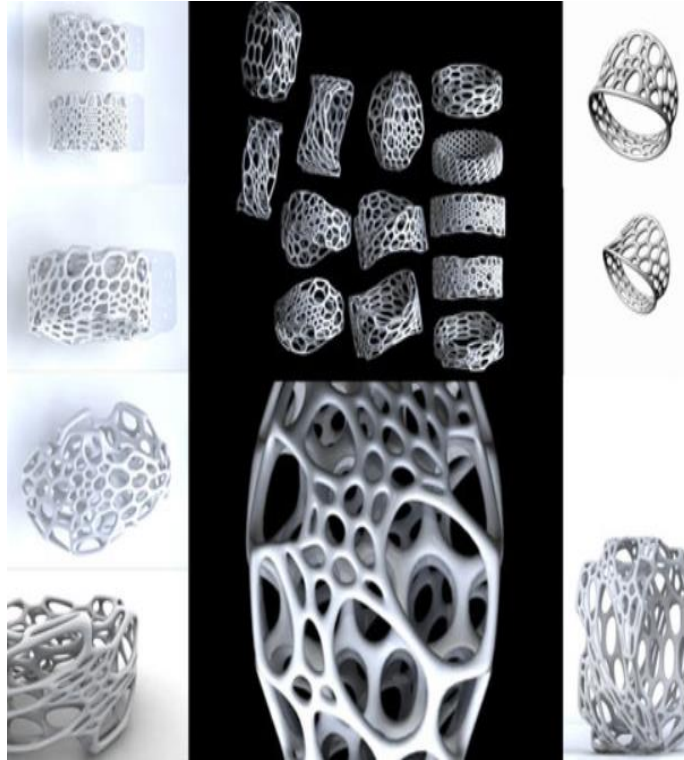


ΕΙΚΟΝΑ 41. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΟΛΑ ΜΕ ΜΟΤΙΒΟ ΙΝΩΝ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΟ [ΠΗΓΗ 41]

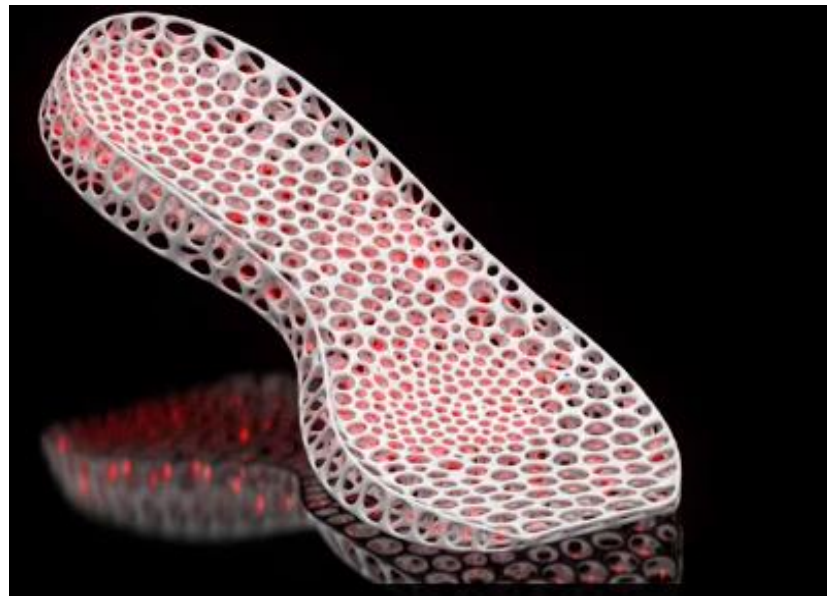
- Η δομή του νευρικού συστήματος



ΕΙΚΟΝΑ 42. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ [ΠΗΓΗ 42]



ΕΙΚΟΝΑ 43. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑ ΜΕ ΤΟ ΜΟΤΙΒΟ ΤΟΥ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ [ΠΗΓΗ 43]

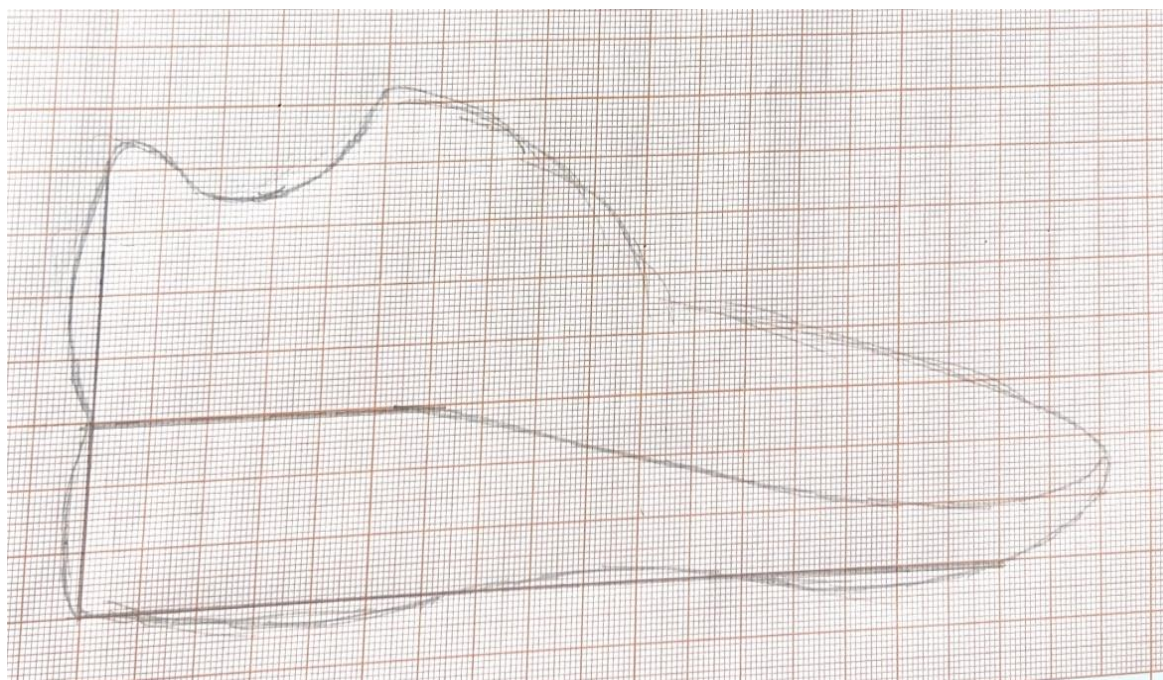
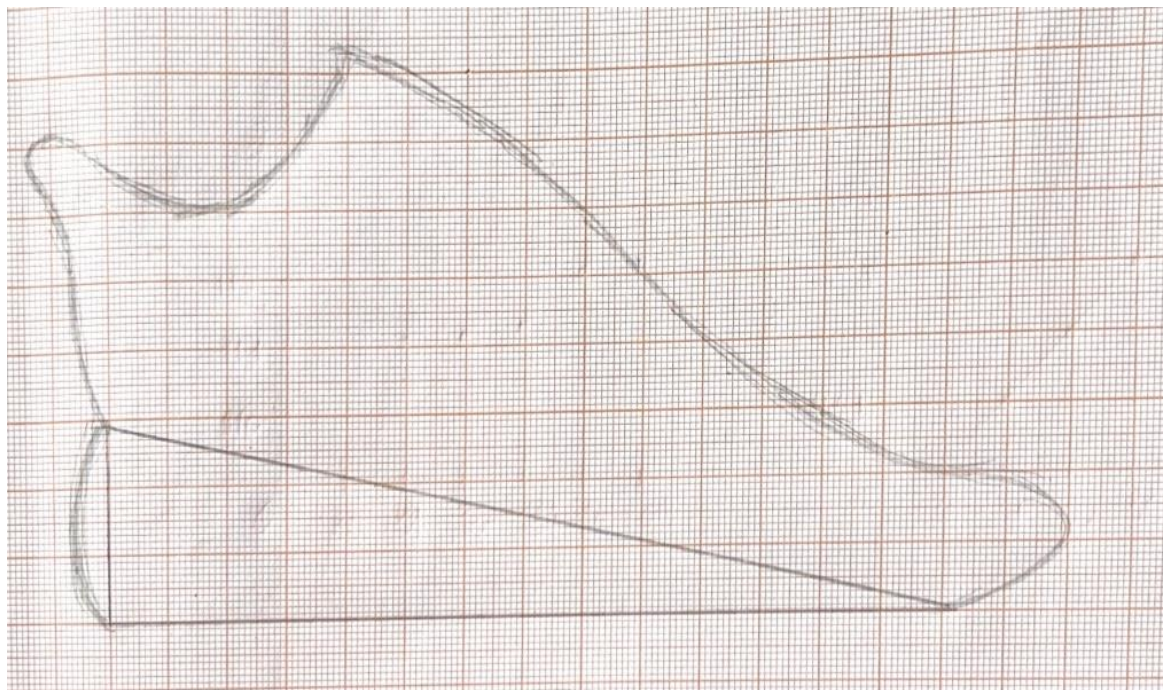


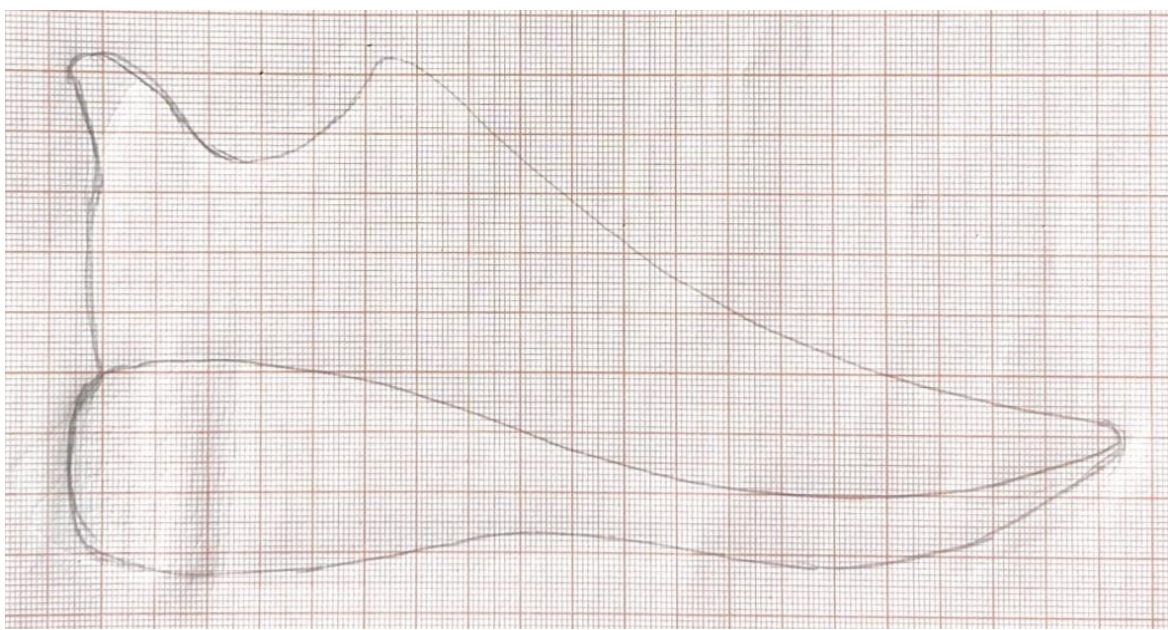
ΕΙΚΟΝΑ 44. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΣΟΛΑ ΥΠΟΔΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΜΟΤΙΒΟ ΕΜΠΝΕΥΣΜΕΝΟ ΑΠΟ ΤΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΝΕΥΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ [ΠΗΓΗ 44]

### 3.3 Ιδέες για τη δομή της σόλας

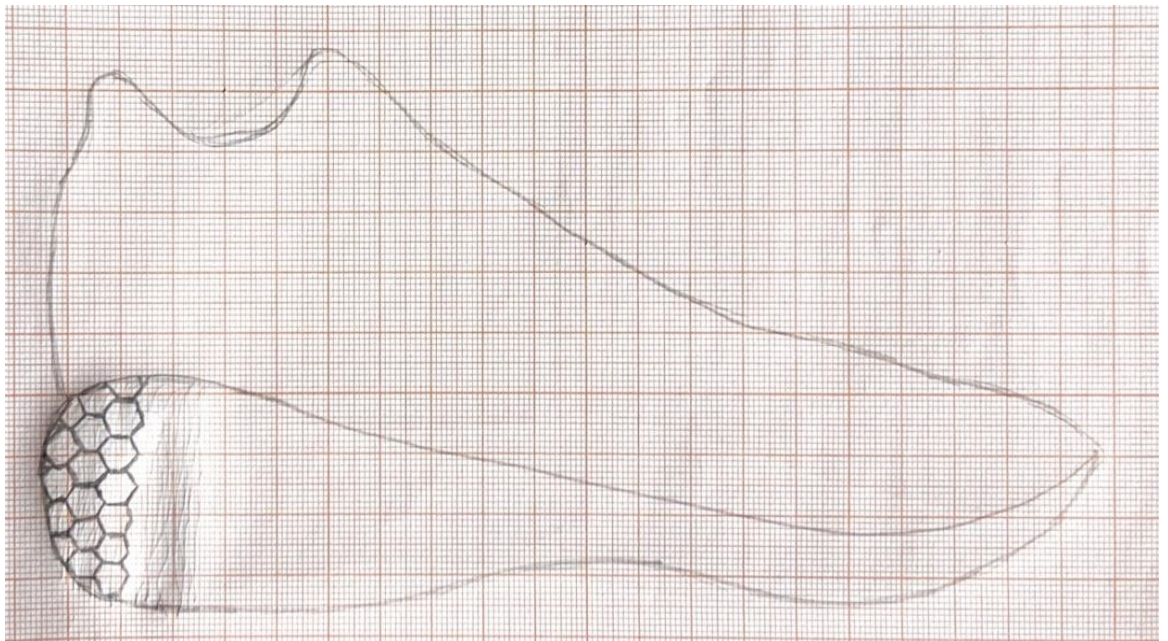
Σε αυτό το στάδιο έγιναν μερικά δοκιμαστικά σκίτσα της σόλας του παπουτσιού με σκοπό να απεικονιστούν οι περιπτώσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω.

- Αρχικά σχέδια υποδήματος και σόλας

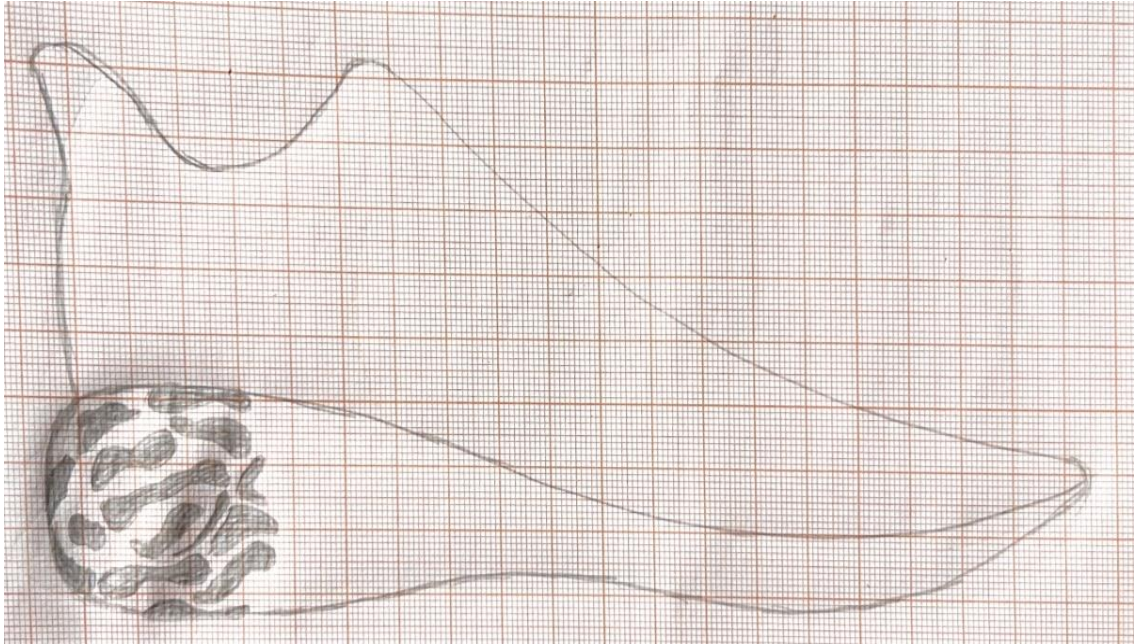




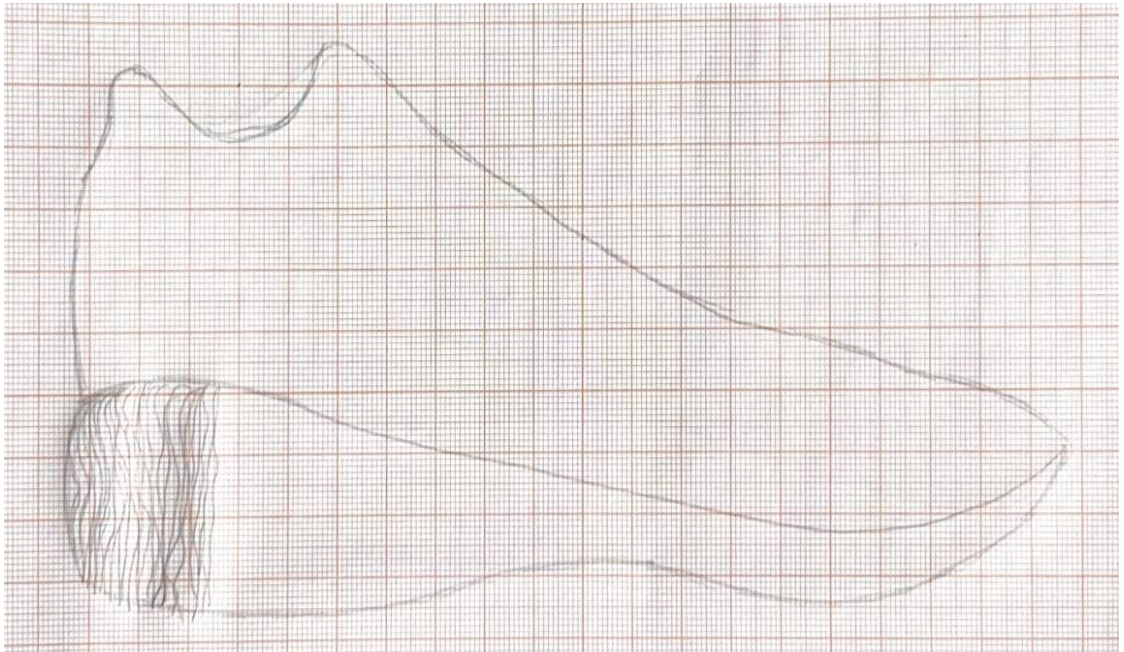
➤ Δοκιμαστικό σκίτσο με τη δομή κηρήθρας



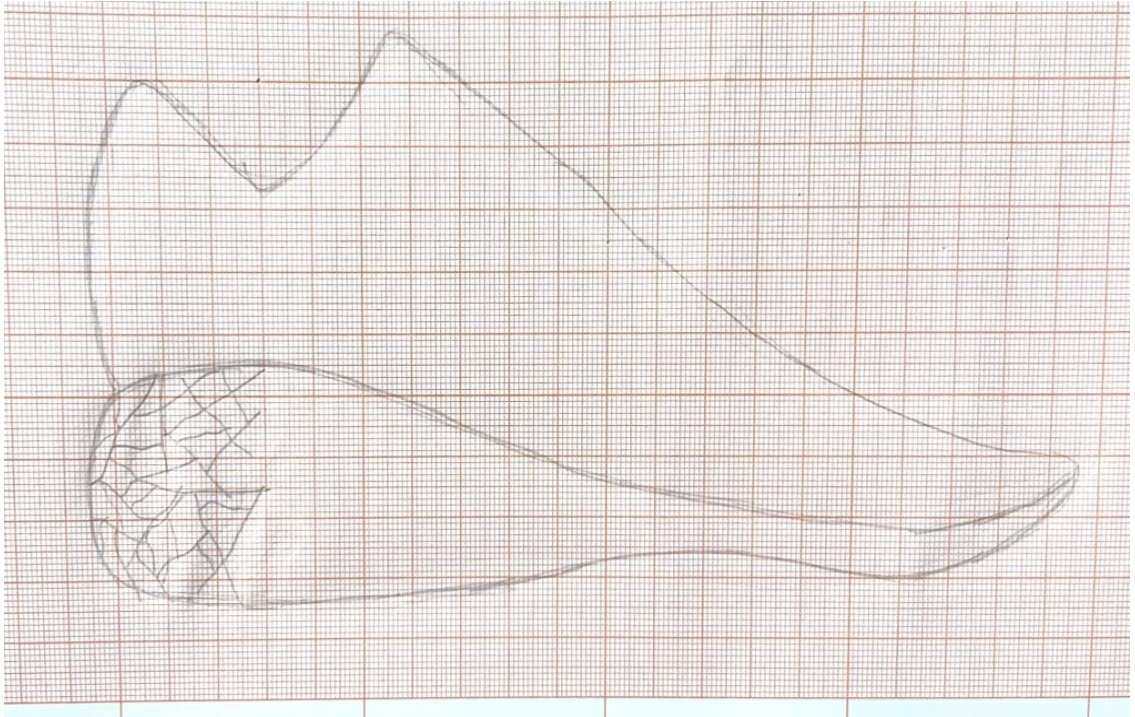
- Δοκιμαστικό σκίτσο με τη δομή σφουγγαριού



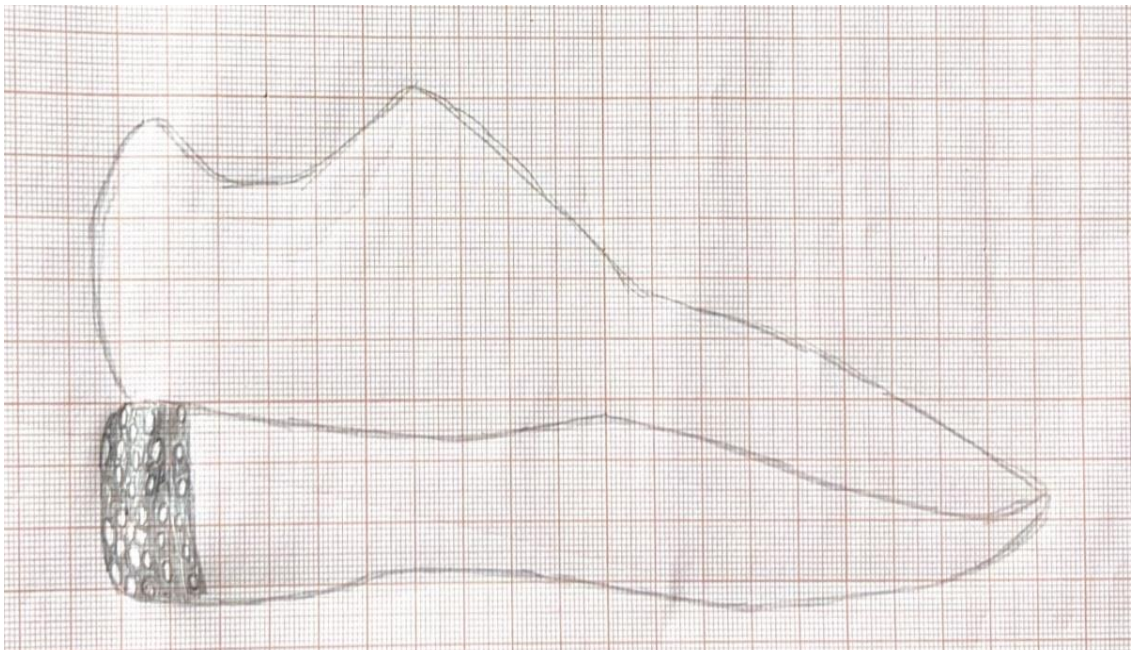
- Δοκιμαστικό σκίτσο με τη δομή μανιταριού/μύκητα



- Δοκιμαστικό σκίτσο με τη δομή των ινών των φύλλων



- Δοκιμαστικό σκίτσο με τη δομή του νευρικού συστήματος

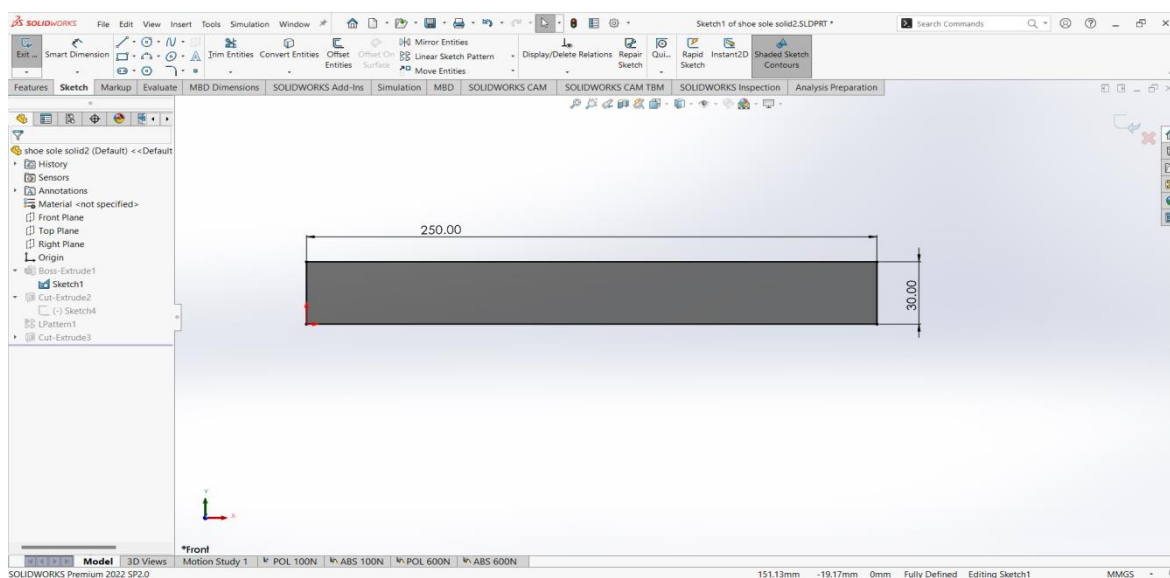


### 3.4 Επιλεγμένη μέθοδος

Για να καταλήξουμε σε μία ή περισσότερες προτάσεις για τον σχεδιασμό της σόλας πραγματοποιήσαμε δοκιμές για διαφορετικά υλικά και για διαφορετικές μορφές της σόλας.

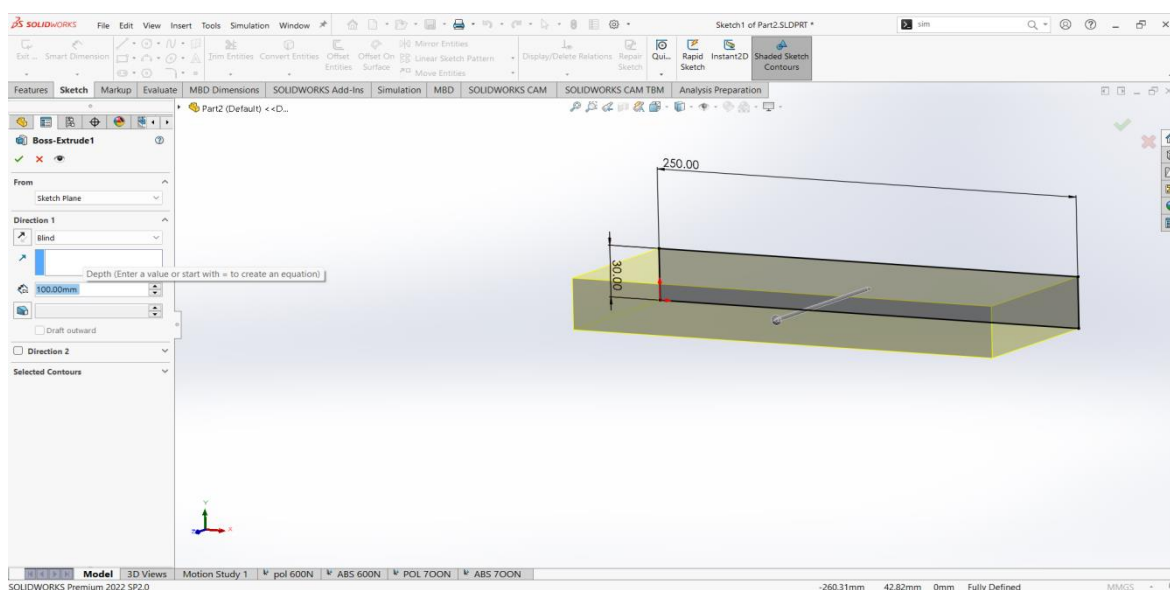
### ΔΟΚΙΜΗ 1

Αρχικά σχεδιάστηκε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks ένα δοκίμιο μήκους 250mm και ύψους 35mm στο οποίο εφαρμόστηκαν κάποιες δυνάμεις [Πηγή 45]. Το δοκίμιο αυτό αντιπροσωπεύει τη σόλα.



ΕΙΚΟΝΑ 45. ΑΡΧΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

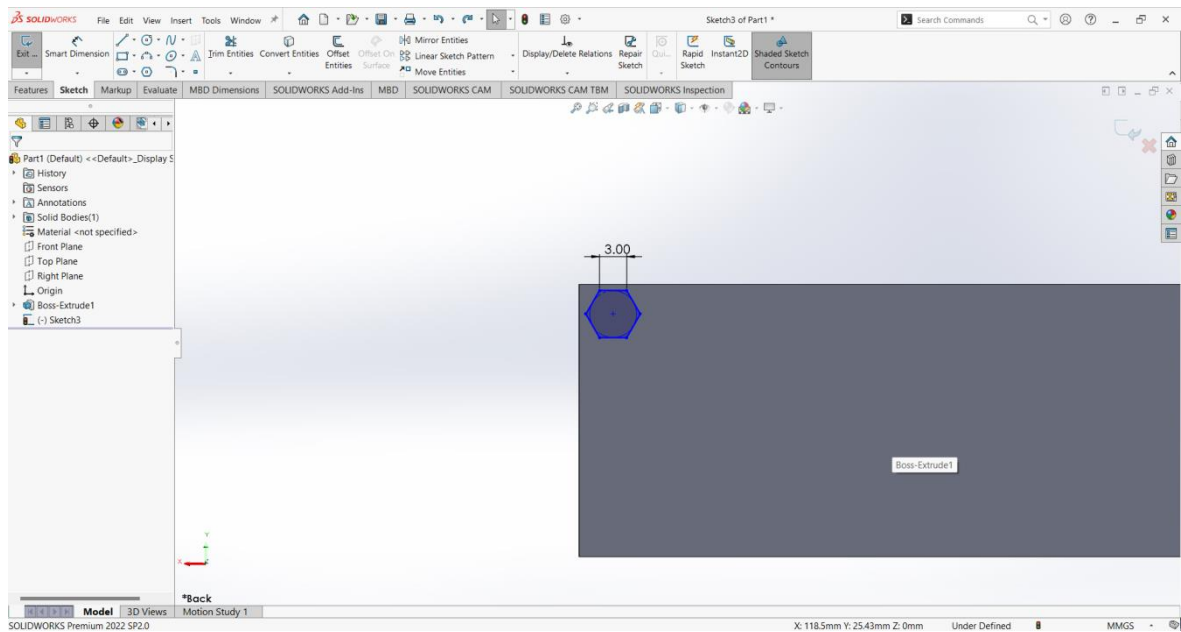
Έπειτα με την εντολή Boss-extrude δημιουργήθηκε η τρίτη επιφάνεια του δοκιμίου με πλάτος 100mm.



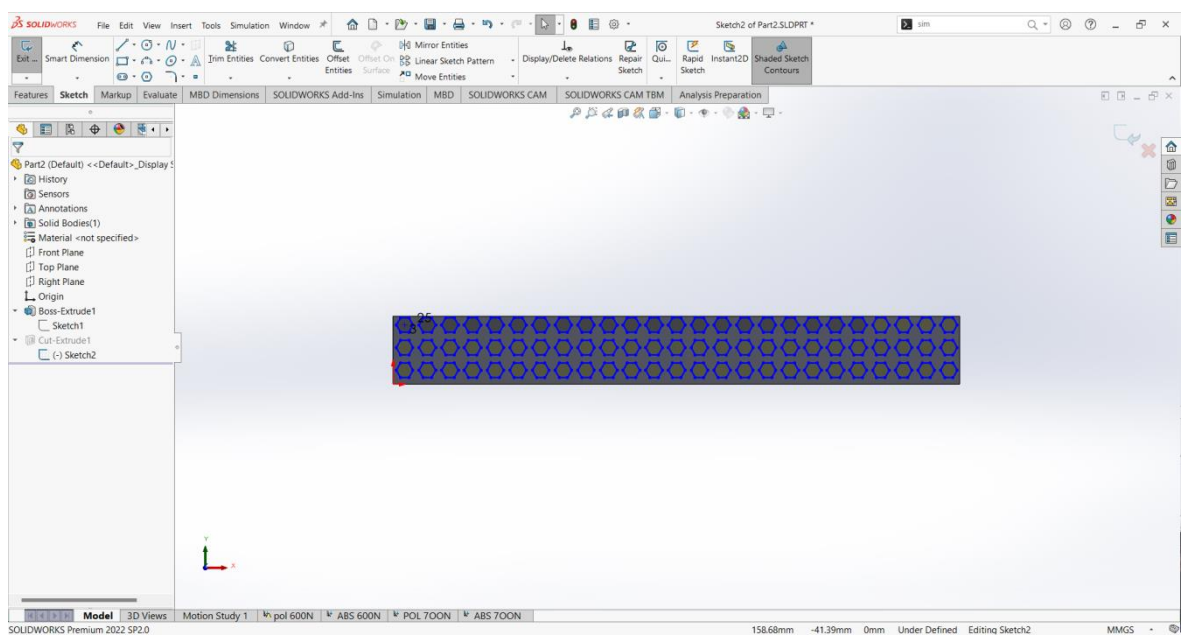
ΕΙΚΟΝΑ 46. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



Στην μπροστινή επιφάνεια του σχήματος σχηματίστηκε ένα πολύγωνο με μήκος πλευράς 3mm και στην συνέχεια με τη βοήθεια του εργαλείου linear pattern δημιουργήθηκε το ίδιο μοτίβο σε όλη την επιφάνεια.

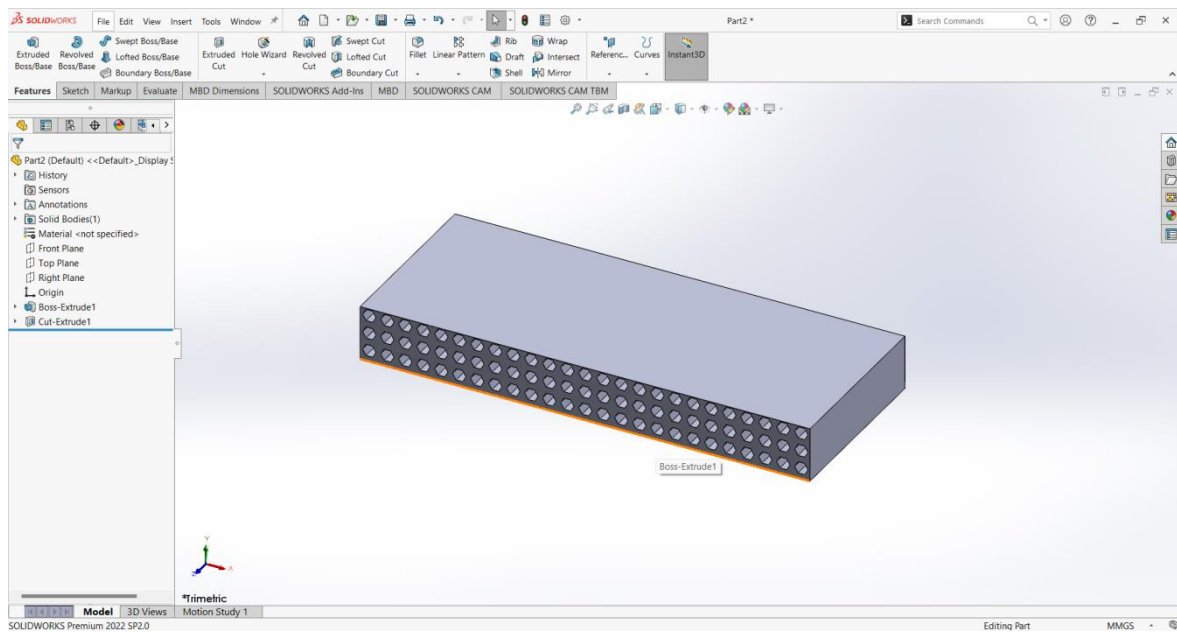


ΕΙΚΟΝΑ 47. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ

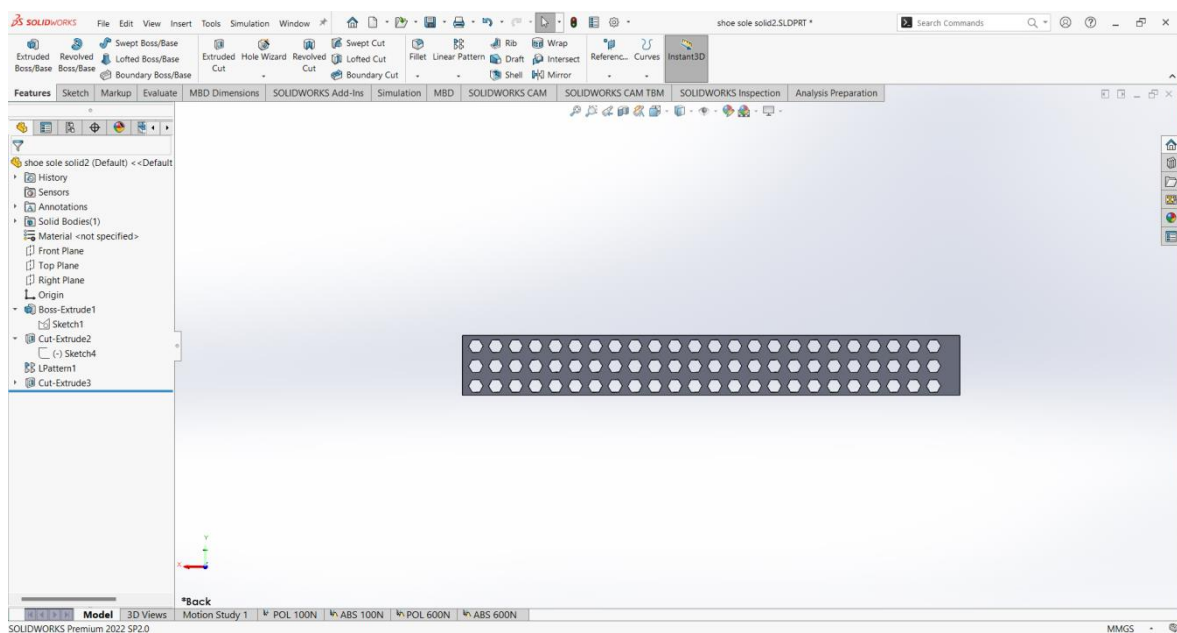


ΕΙΚΟΝΑ 48. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΤΙΒΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΠΟΛΥΓΩΝΟ

Με την εντολή Cut-Extrude κόψαμε τα πολύγωνα κατά μήκος όλης της επιφάνειας του σχήματος [Εικόνα 49, 50].



ΕΙΚΟΝΑ 49. ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΠΡΩΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ



ΕΙΚΟΝΑ 50. ΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν μερικές δοκιμές στο σχήμα ως προς την αντοχή στις καταπονήσεις.

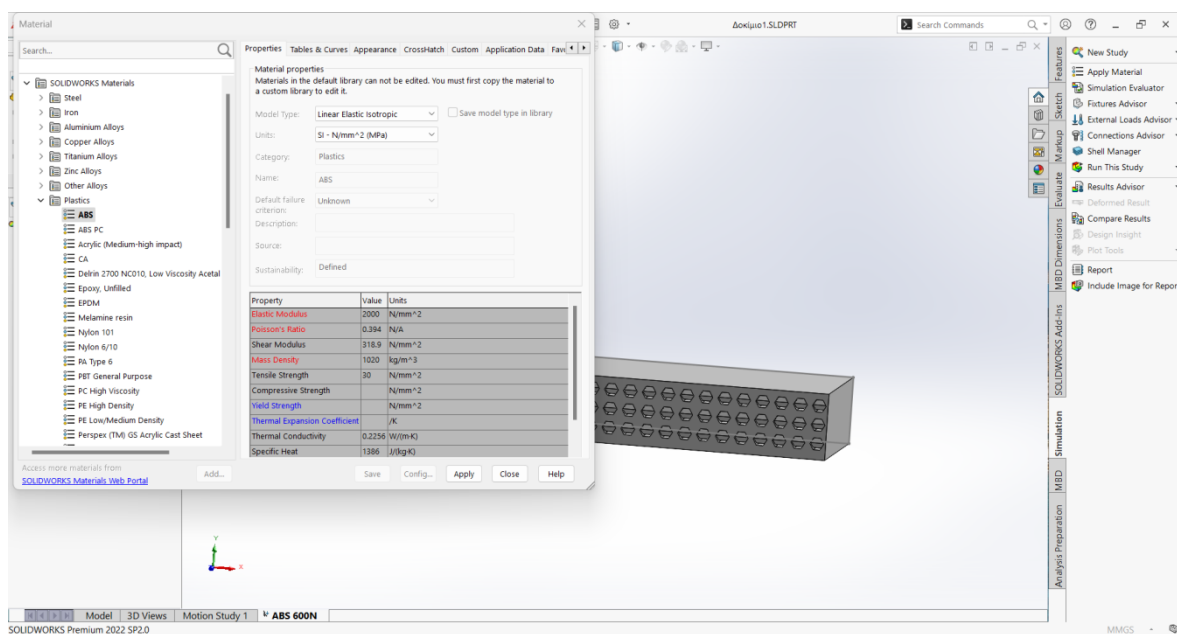
### 1<sup>η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Με χρήση του υλικού ABS, ένα ευρέως διαδεδομένο υλικό τρισδιάστατης εκτύπωσης, εφαρμόστηκε δύναμη 600N η οποία αντιστοιχεί σε 60 κιλά σωματικό βάρος. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 2.4, το ABS είναι ένα σκληρό υλικό και έχει μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό. Οι τιμές του κυμαίνονται από 45 έως 60 MPa.

Παρατηρούμε πως η μέγιστη τάση που δέχεται το δοκίμιο είναι  $\sigma=1.129 \text{ N/m}^2$  η οποία είναι πολύ μικρότερη από την αντοχή σε εφελκυσμό η οποία υπολογίζεται ως  $\sigma = F / A$ , όπου F είναι η εφαρμοζόμενη δύναμη 600N, και A η επιφάνεια διατομής.

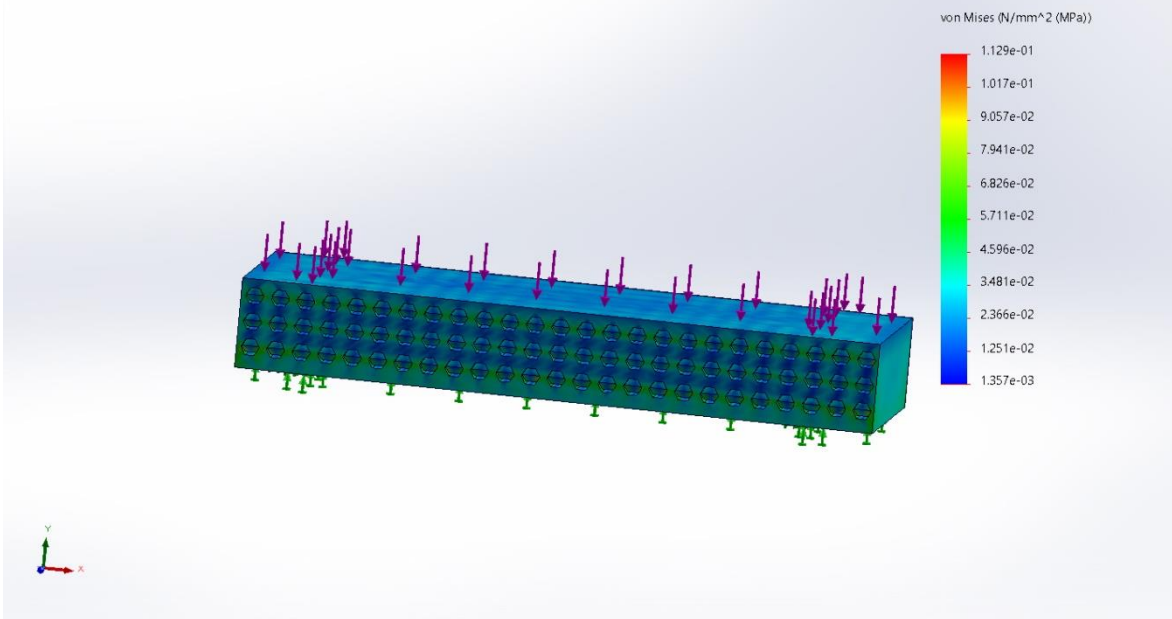
Επομένως παρατηρούμε πως η μέγιστη τάση  $\sigma=1.129 \text{ N/m}^2$  είναι μικρότερη από την αντοχή σε εφελκυσμό.

Παρατηρούμε έπειτα την μετατόπιση που δέχεται το δοκίμιο λόγω της εφαρμοζόμενης τάσης. Όταν η εφαρμοζόμενη δύναμη υπερβαίνει το όριο ελαστικότητας του υλικού τότε μπορεί να προκληθεί παραμόρφωση ή μέχρι και θραύση. Η μέγιστη τιμή της μετατόπισης  $r= 8.616 \cdot 10^4 \text{ mm}$  με μέγιστη παραμόρφωση  $\varepsilon= 4.649 \cdot 10^5 \text{ ppm}$ .



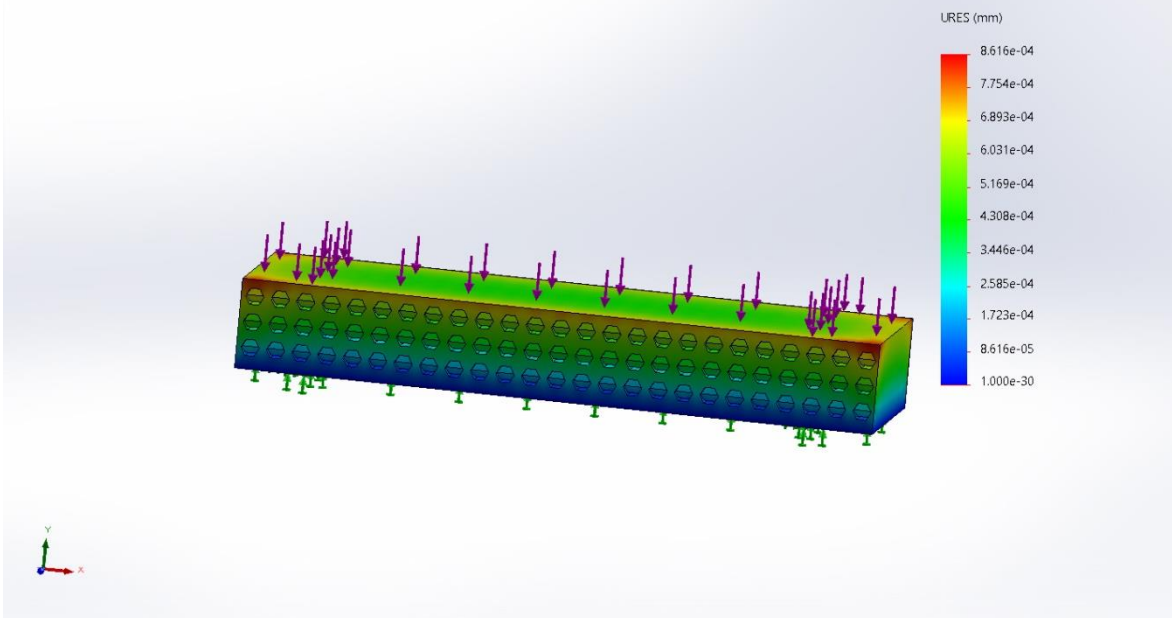
ΕΙΚΟΝΑ 51. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΟΛΑΣ ΜΕ ABS ΚΑΙ 600N

Model name: Δοκιμιο1ABS  
 Study name: ABS 600N (-Default-)  
 Plot type: Static nodal stress Stress1  
 Deformation scale: 1

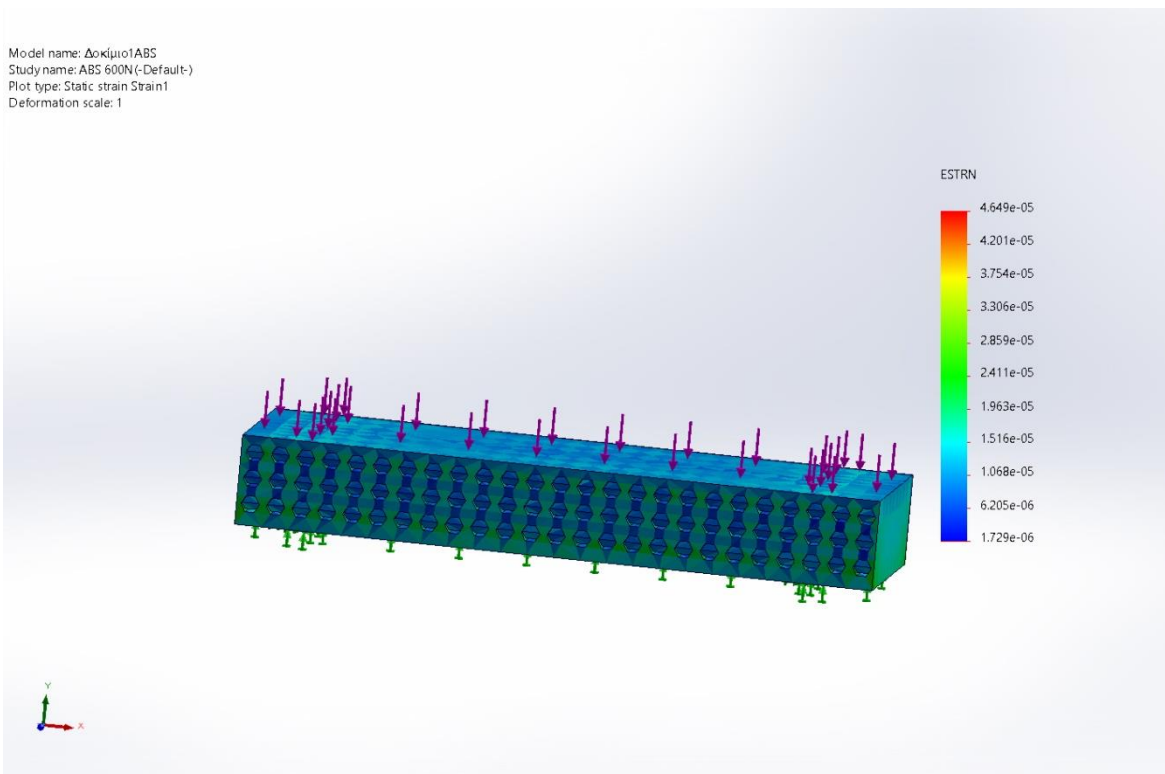


ΕΙΚΟΝΑ 52. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

Model name: Δοκιμιο1ABS  
 Study name: ABS 600N (-Default-)  
 Plot type: Static displacement Displacement1  
 Deformation scale: 1



ΕΙΚΟΝΑ 53. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

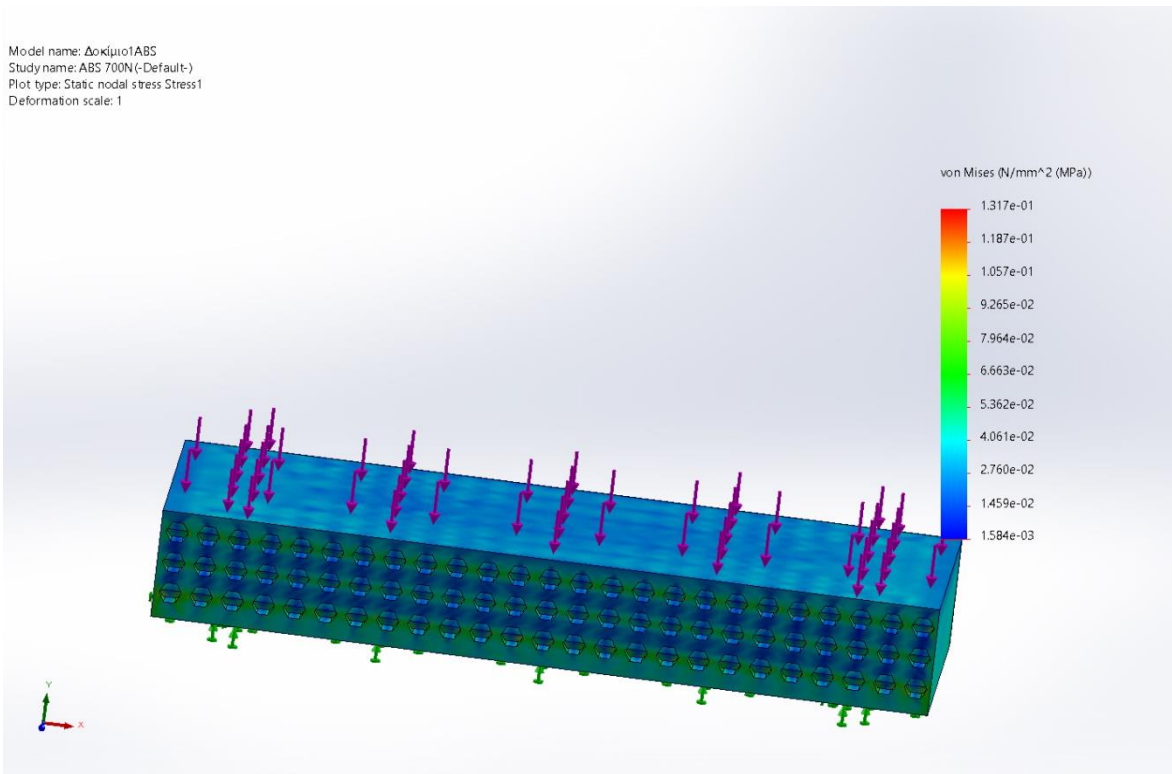


ΕΙΚΟΝΑ 54. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ABS ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 600N

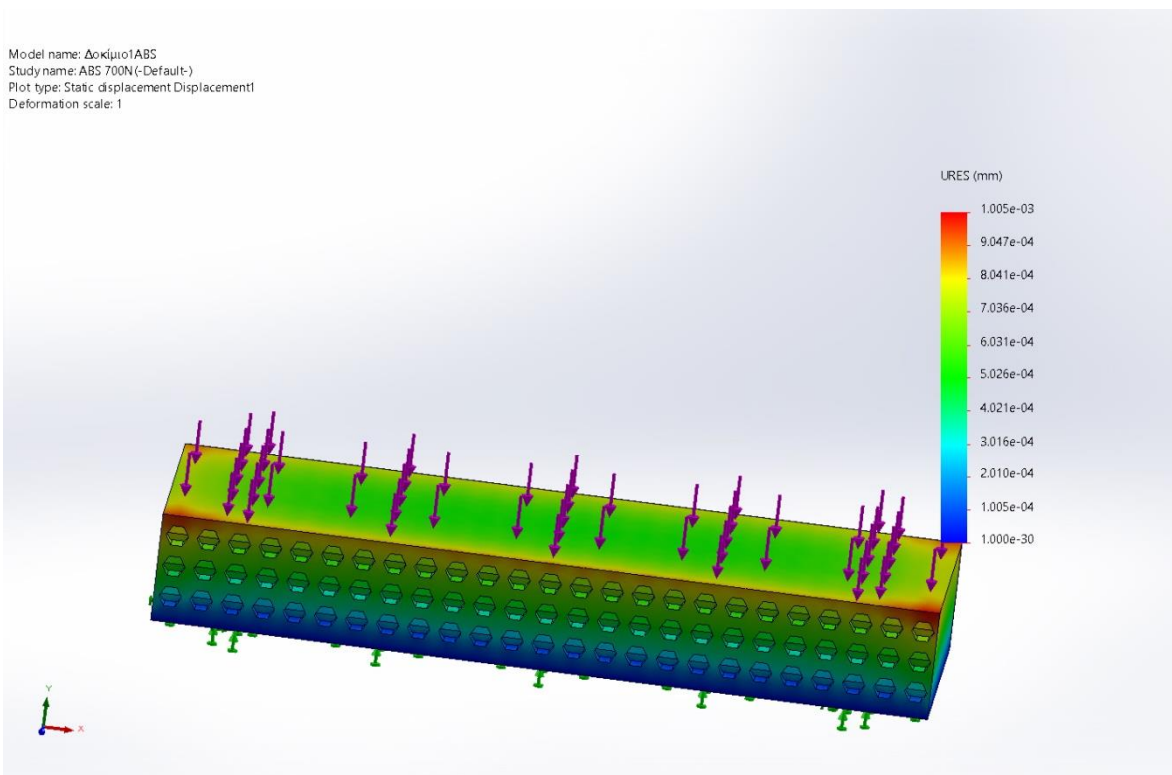
## 2<sup>Η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Με χρήση του υλικού ABS, εφαρμόστηκε δύναμη 700N, , η οποία αντιστοιχεί σε 70 κιλά σωματικό βάρος. Και εδώ παρατηρούμε πως η μέγιστη τάση που εφαρμόζεται  $\sigma=1.317 \text{ N/m}^2$  είναι μικρότερη από την αντοχή σε εφελκυσμό.

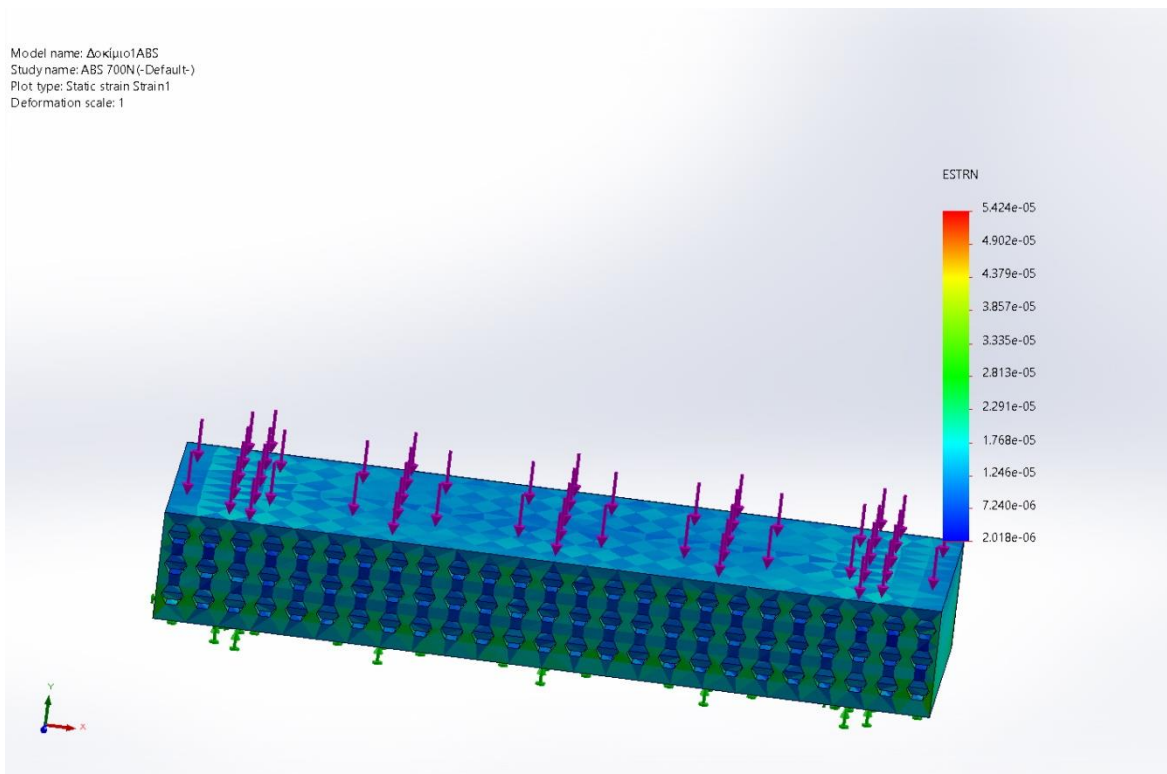
Καθώς αυξήθηκε η εφαρμοζόμενη δύναμη η μετατόπιση έχει μέγιστη τιμή  $r= 1.005 \cdot 10^3 \text{ mm}$  με παραμόρφωση  $\epsilon=5.424 \text{ ppm}$ .



ΕΙΚΟΝΑ 55. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N



ΕΙΚΟΝΑ 56. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

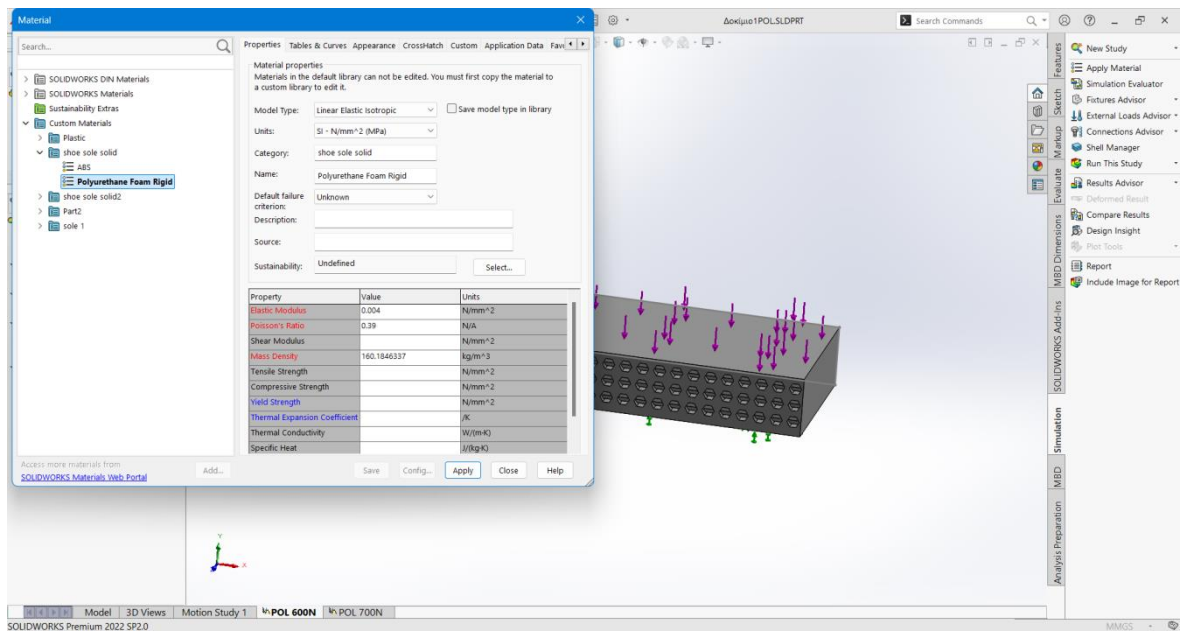


ΕΙΚΟΝΑ 57. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ABS ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 700N

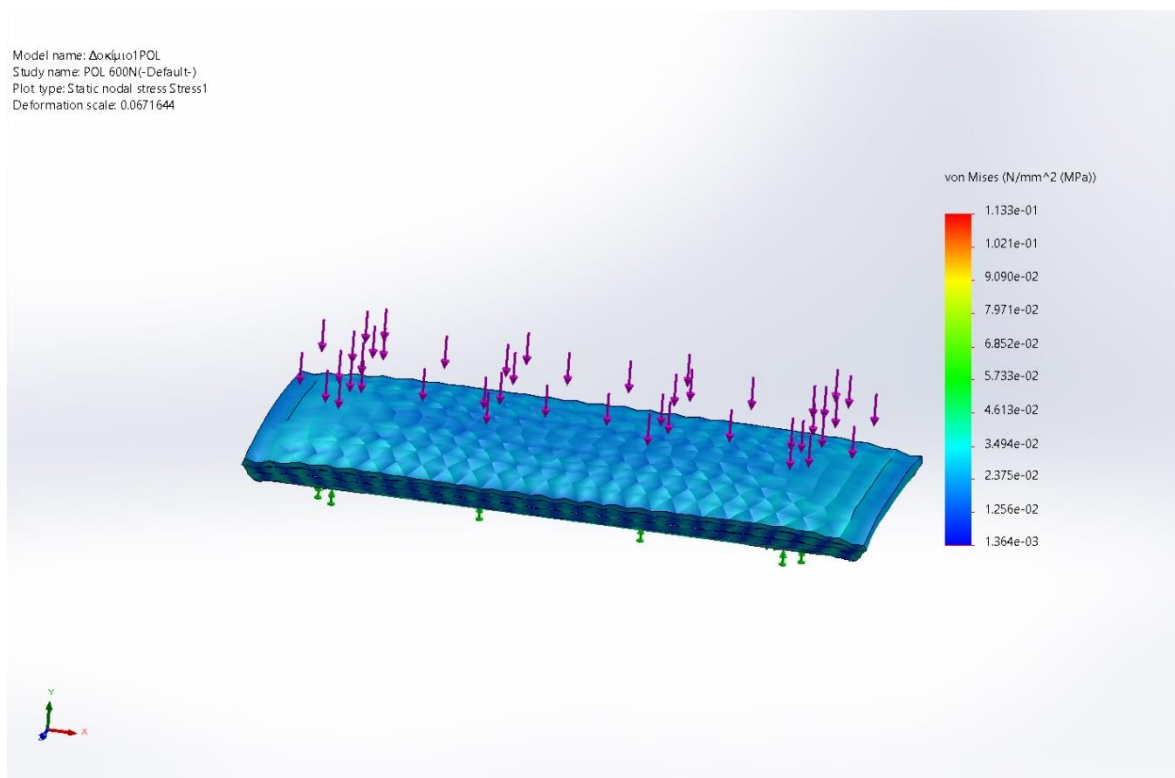
### 3<sup>Η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Στην 3<sup>η</sup> περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο άκαμπτος αφρός πολυουρεθάνης (Polyurethane Foam Rigid). Και εδώ ως πρώτη δοκιμή εφαρμόστηκε δύναμη 600N η οποία αντιστοιχεί σε 60 κιλά σωματικό βάρος. Η πολυουρεθάνη συνδυάζει τις ιδιότητες του καουτσούκ και του πλαστικού γι' αυτό και μπορεί να επανέρχεται στην αρχική της μορφή έπειτα από παραμόρφωση.

Η τιμή εφελκυσμού για το συγκεκριμένο υλικό κυμαίνεται από 28 έως 96 MPa με μέση τιμή περίπου ίση με 63,3 MPa. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή της τάσης  $\sigma=1.133 \text{ N/m}^2$  είναι και πάλι μικρότερη από την αντοχή σε εφελκυσμό. Παράλληλα, η μετατόπιση έχει τιμή  $r=4.300 \cdot 10^2 \text{ mm}$  τιμή παραμόρφωσης  $\varepsilon= 2.324 \text{ ppm}$ .



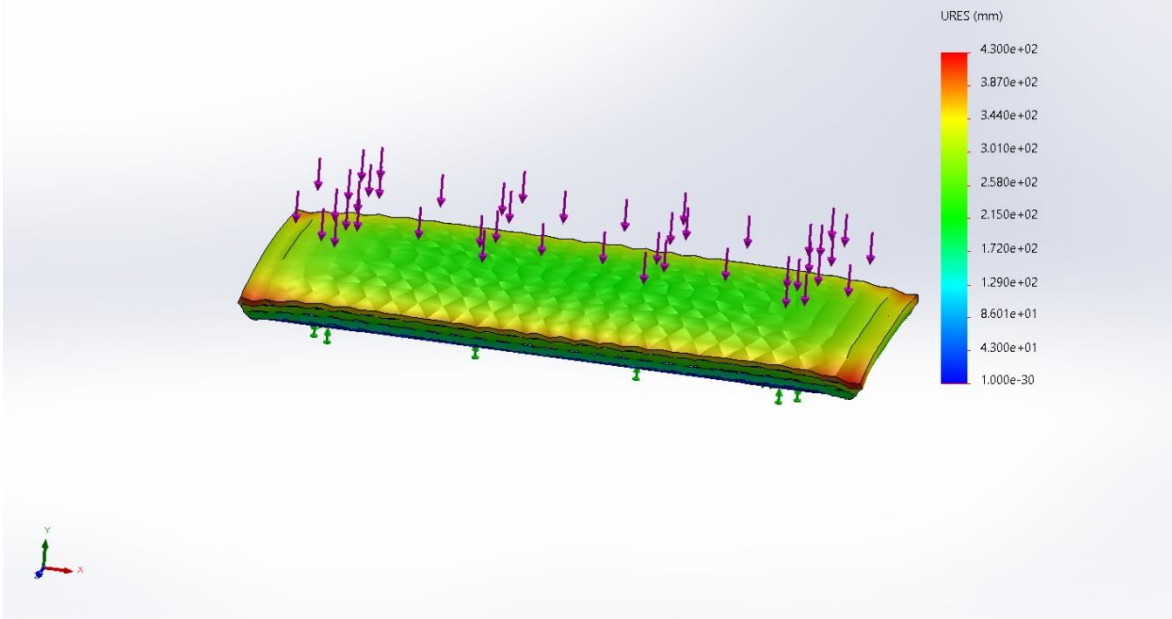
ΕΙΚΟΝΑ 58. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΟΛΑΣ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N



ΕΙΚΟΝΑ 59. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

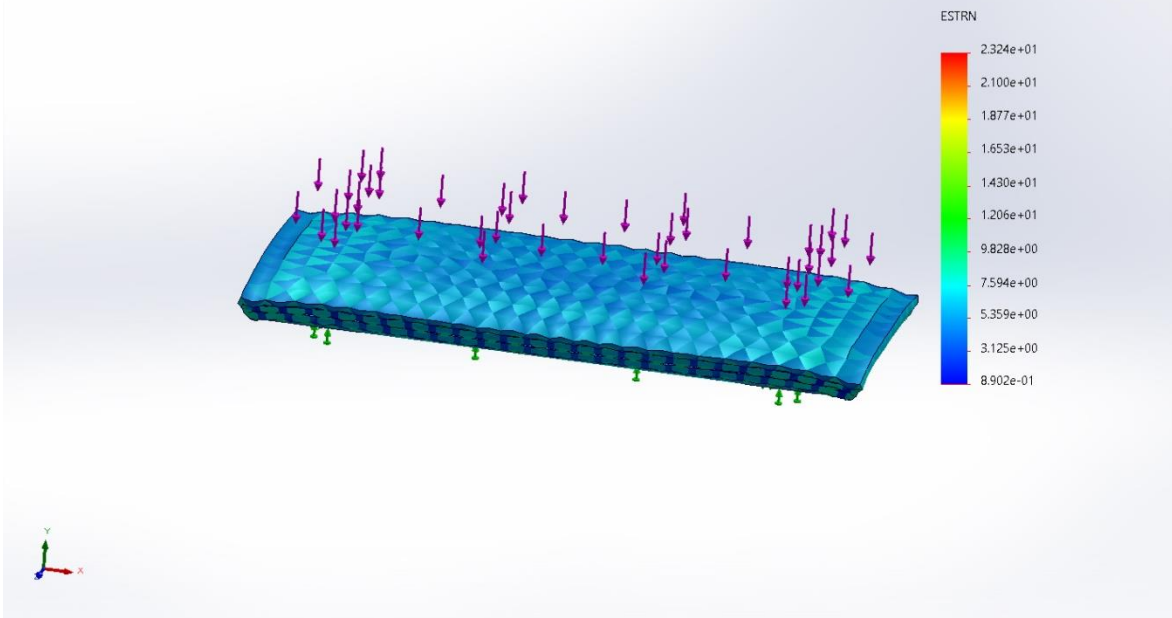


Model name: Δοκιμή1 POL  
 Study name: POL 600N (-Default-)  
 Plot type: Static displacement Displacement1  
 Deformation scale: 0.0671644



ΕΙΚΟΝΑ 60. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

Model name: Δοκιμή1 POL  
 Study name: POL 600N (-Default-)  
 Plot type: Static strain Strain1  
 Deformation scale: 0.0671644

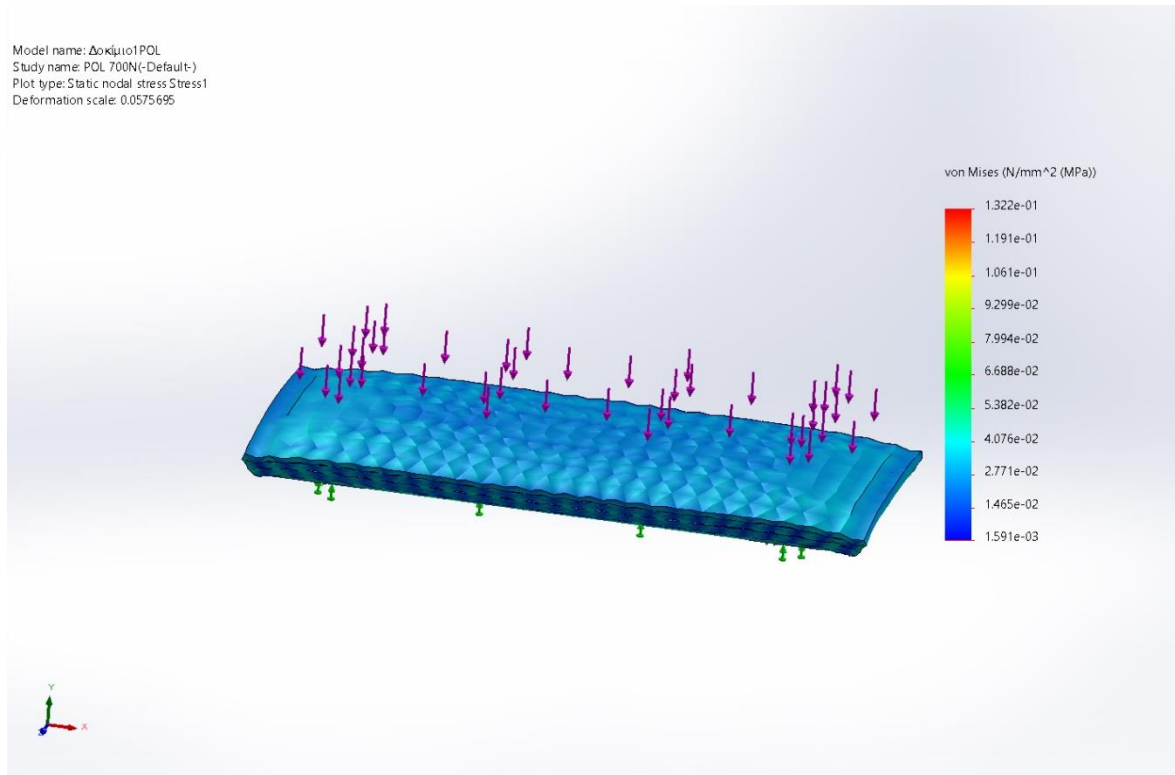


ΕΙΚΟΝΑ 61. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 600N

#### 4<sup>Η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

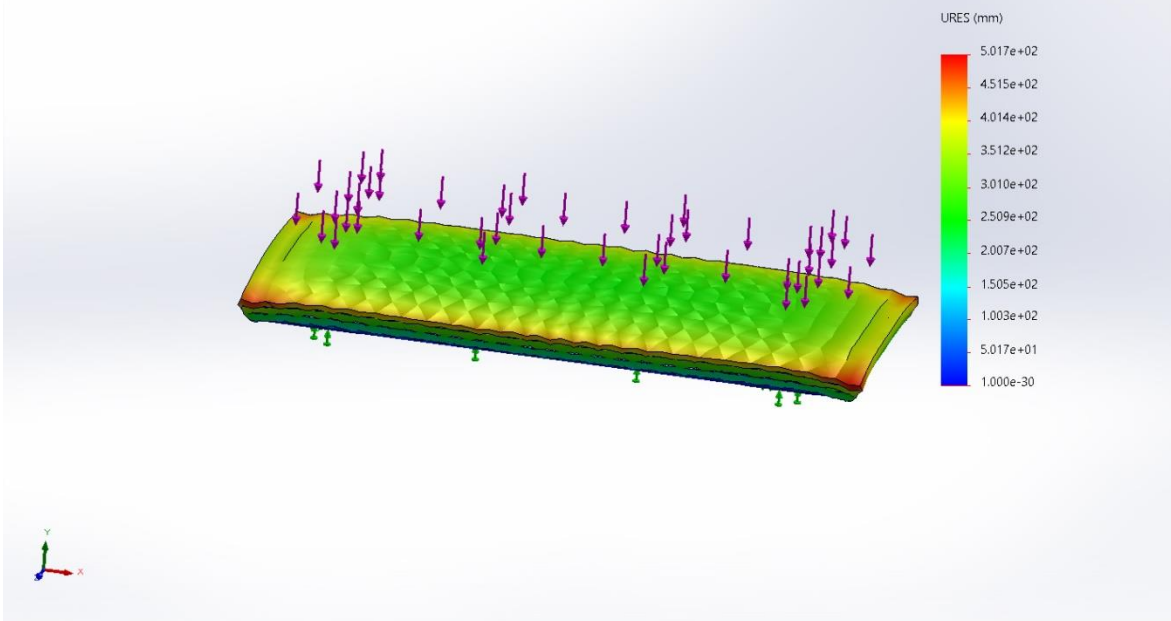
Στην 4<sup>η</sup> περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο άκαμπτος αφρός πολυουρεθάνης (Polyurethane Foam Rigid) με δύναμη 700N η οποία αντιστοιχεί σε 70 κιλά σωματικό βάρος.

Η μέγιστη τιμή της τάσης είναι  $\sigma=1.322 \text{ N/mm}^2$  είναι και μικρότερη από την αντοχή σε εφελκυσμό. Παράλληλα, η μετατόπιση  $r=5.017 \cdot 10^2 \text{ mm}$  με τιμή παραμόρφωσης  $\epsilon=2.711 \text{ ppm}$ .



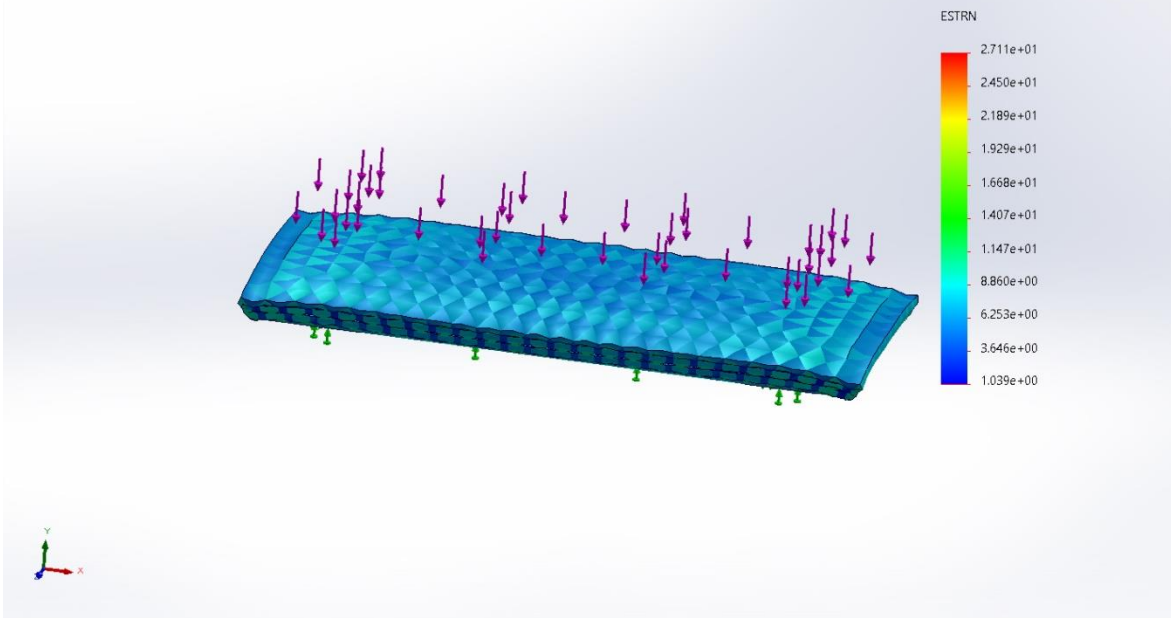
ΕΙΚΟΝΑ 62. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

Model name: Δοκιμή1 POL  
 Study name: POL 700N (-Default-)  
 Plot type: Static displacement Displacement1  
 Deformation scale: 0.0575695



ΕΙΚΟΝΑ 63. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

Model name: Δοκιμή1 POL  
 Study name: POL 700N (-Default-)  
 Plot type: Static strain Strain1  
 Deformation scale: 0.0575695

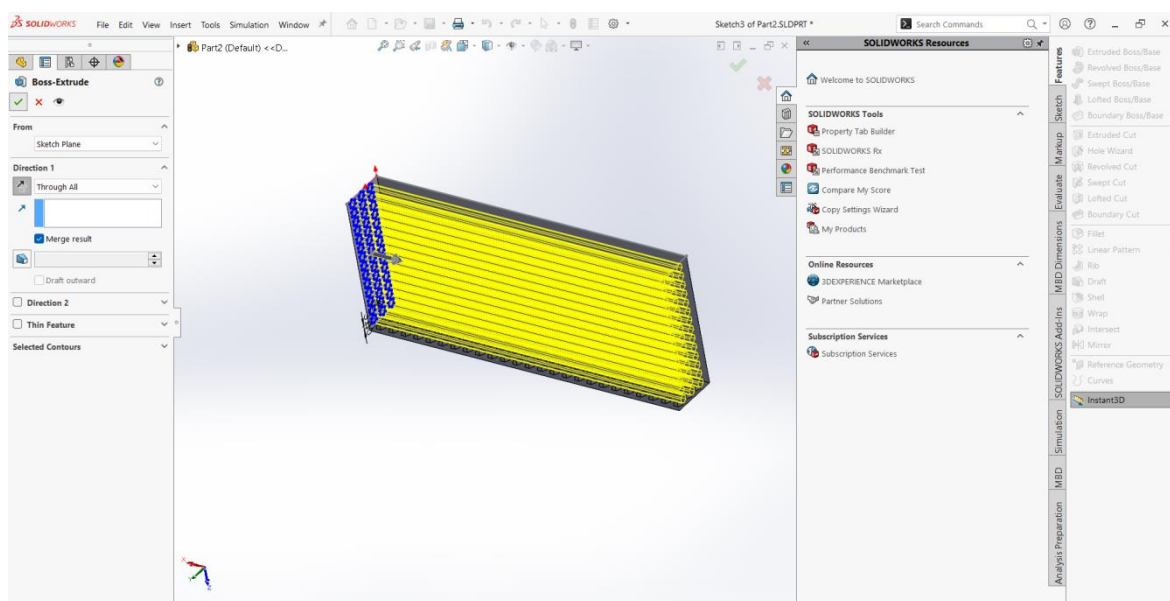


ΕΙΚΟΝΑ 64. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 700N

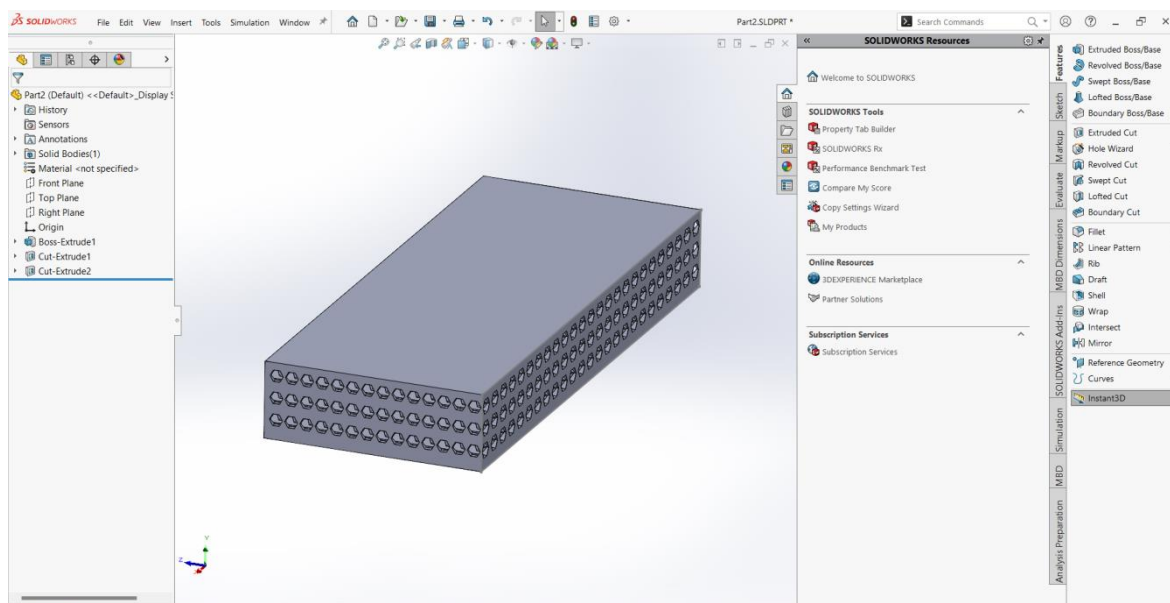
Οι παραπάνω ήταν οι δοκιμές για το πρώτο δοκίμιο που σχεδιάστηκε για τα υλικά ABS και Πολυουρεθάνη και για τις περιπτώσεις εφαρμοζόμενης δύναμης 600N και 700N.

## ΔΟΚΙΜΗ 2

Το δεύτερο δοκίμιο αφορά την ίδια διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω [Πηγή 45, 46, 47, 48] ως προς τα βήματα σχεδιασμού με μερικά πρόσθετα πολύγωνα στην μεγάλη επιφάνεια τα οποία θα δημιουργήσουν στο εσωτερικό μία μορφή πλέγματος και πάλι με τη βοήθεια του εργαλείου linear pattern [Πηγή 66].



ΕΙΚΟΝΑ 65. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΤΙΒΟΥ

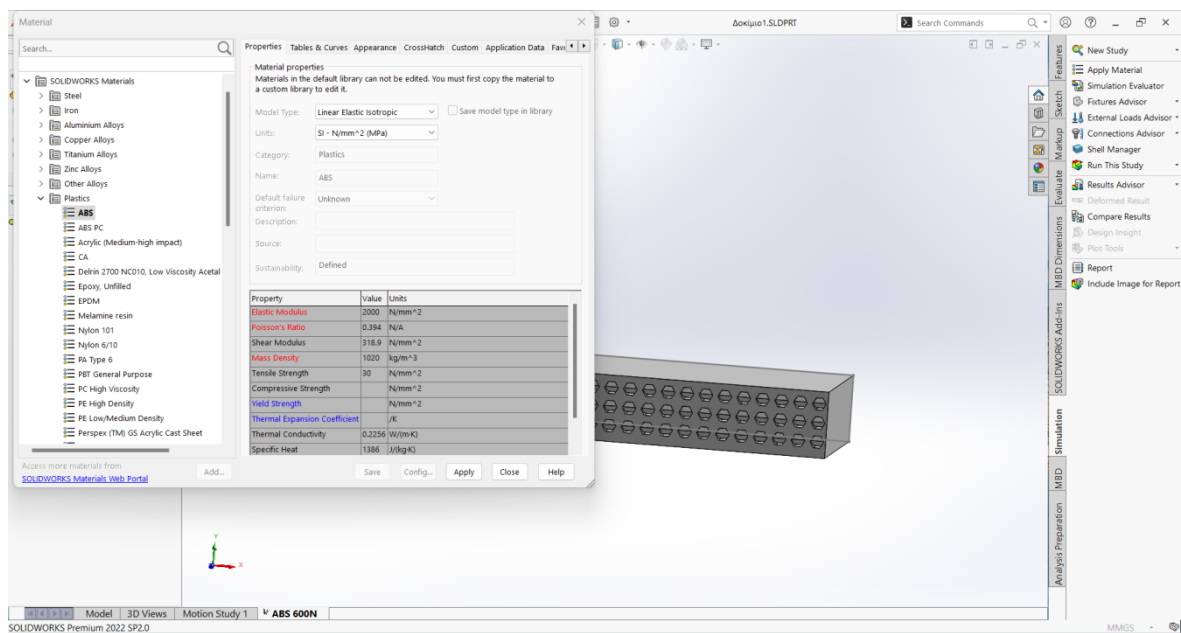


ΕΙΚΟΝΑ 66. ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

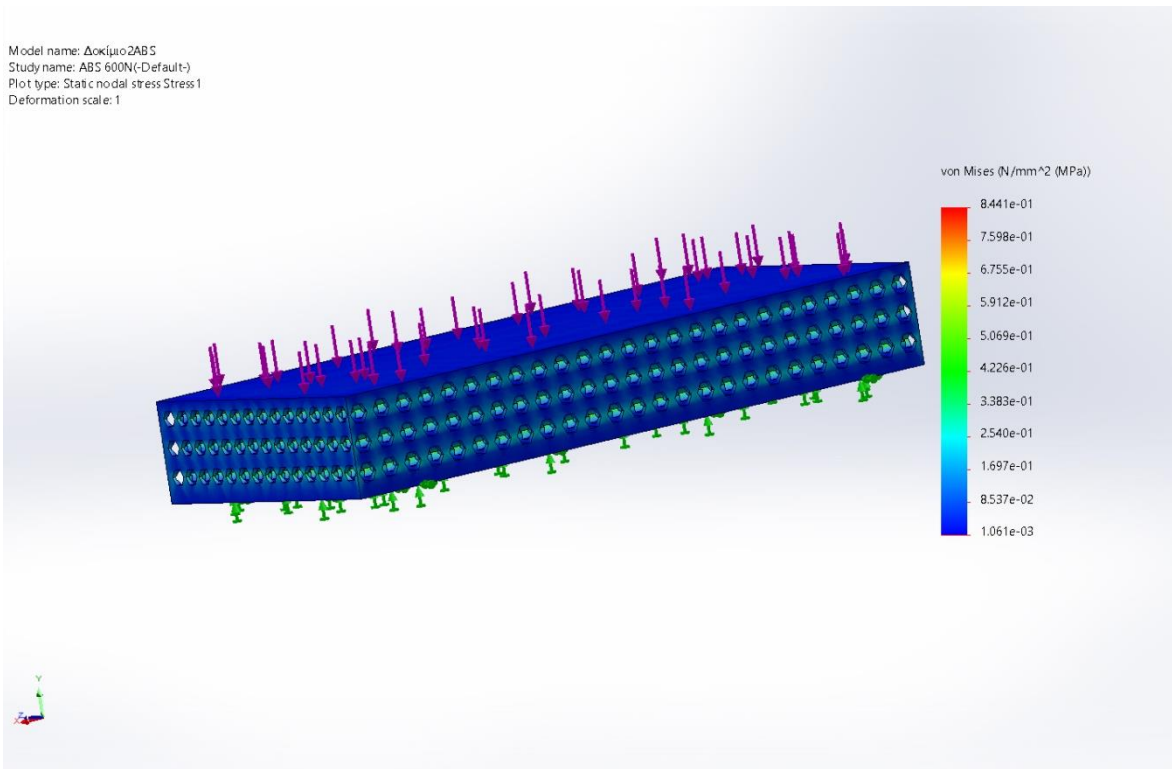
## 1<sup>Η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Με χρήση του υλικού ABS, εφαρμόστηκε δύναμη 600N η οποία αντιστοιχεί σε 60 κιλά σωματικό βάρος. Οι τιμές για τα όρια εφελκυσμού κυμαίνονται από 45 έως 60 MPa. Παρατηρούμε πως η μέγιστη τάση που δέχεται το δοκίμιο είναι  $\sigma=8.441 \text{ N/m}^2$  η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με του πρώτου δοκιμίου και μικρότερη από τα όρια εφελκυσμού.

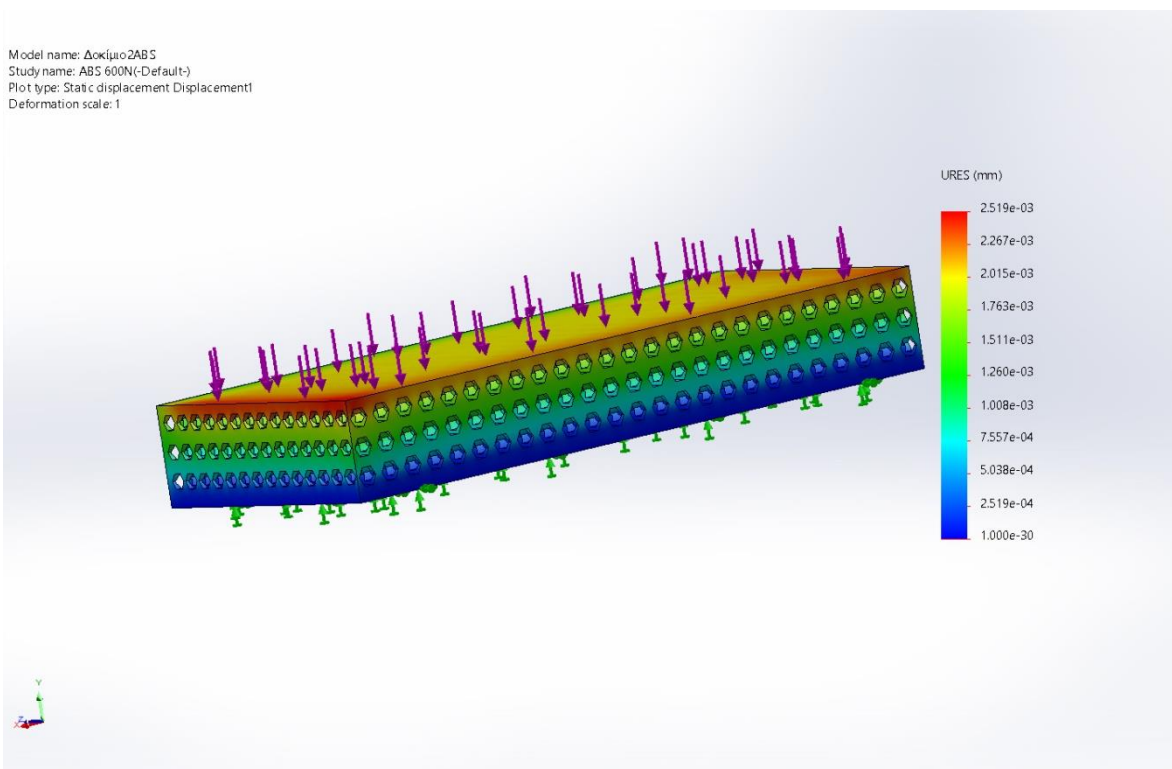
Η μετατόπιση που δέχεται το δοκίμιο λόγω της εφαρμοζόμενης τάσης είναι  $r = 2.519 \cdot 10^3 \text{ mm}$  με τιμή παραμόρφωση  $\varepsilon=2.985 \cdot 10^4 \text{ ppm}$ .



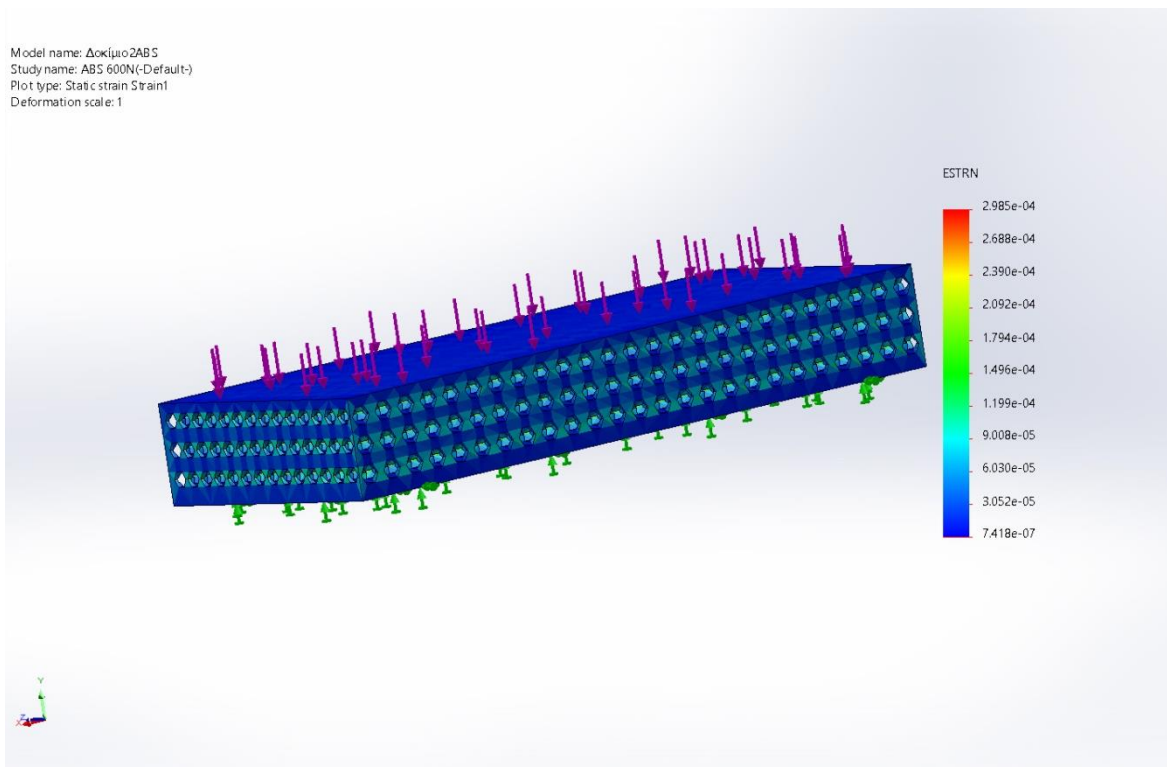
ΕΙΚΟΝΑ 67. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΟΛΑΣ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N



ΕΙΚΟΝΑ 68. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N



ΕΙΚΟΝΑ 69. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

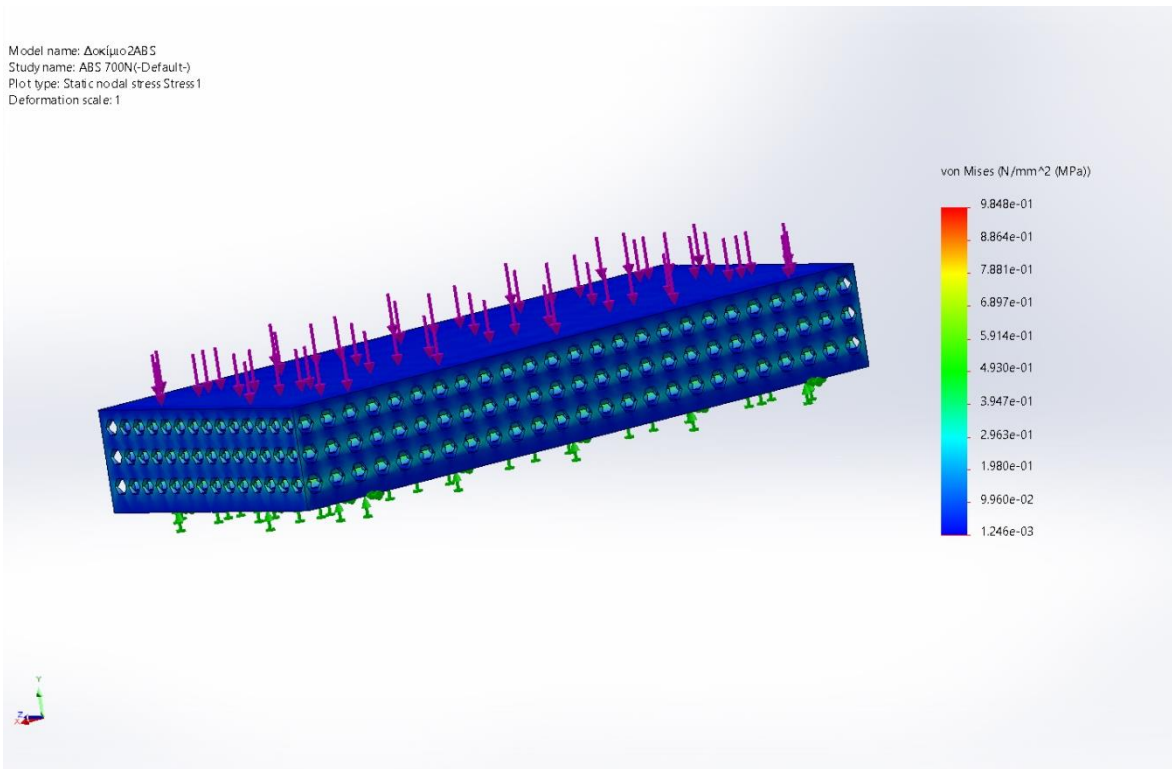


ΕΙΚΟΝΑ 70. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ABS ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 600N

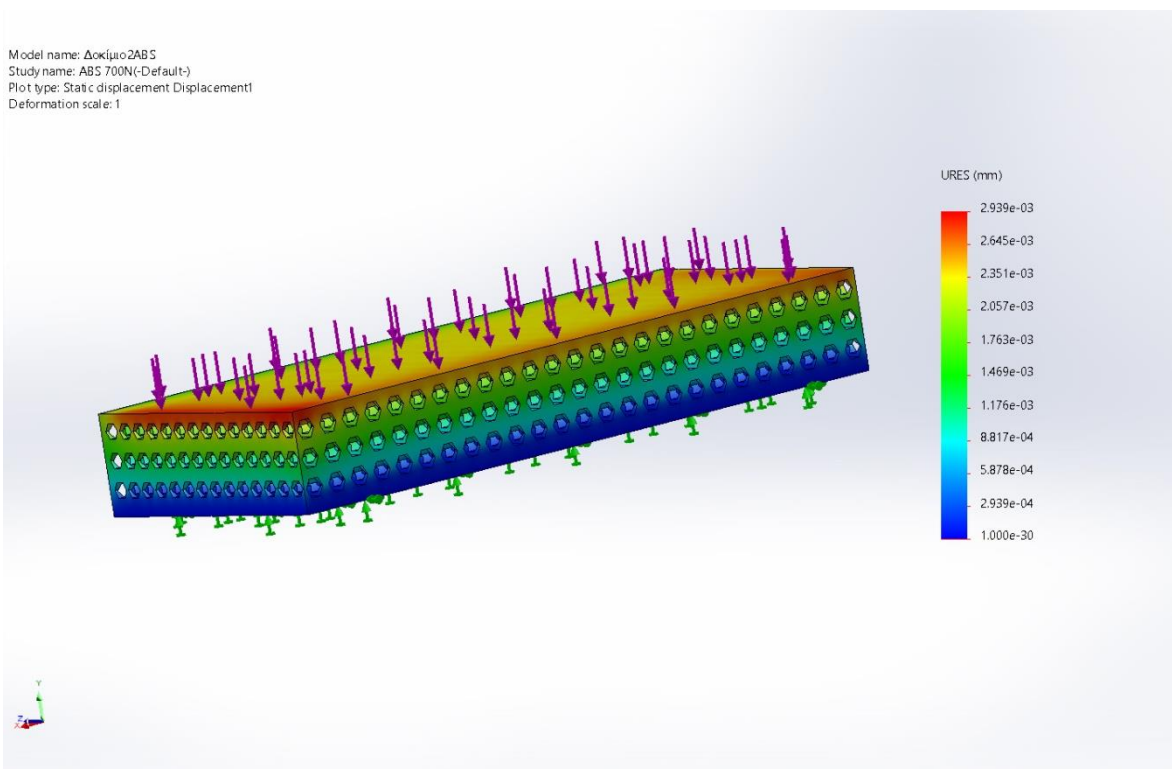
## 2<sup>Η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Με χρήση του υλικού ABS, εφαρμόστηκε έπειτα δύναμη 700N η οποία αντιστοιχεί σε 70 κιλά σωματικό βάρος.

Παρατηρούμε πως η μέγιστη τάση που εφαρμόζεται είναι  $\sigma=9.848 \text{ N/mm}^2$  με τιμή μετατόπισης  $r=2.939 \cdot 10^3 \text{ mm}$  και παραμόρφωση  $\varepsilon=3.483 \cdot 10^4 \text{ ppm}$ .

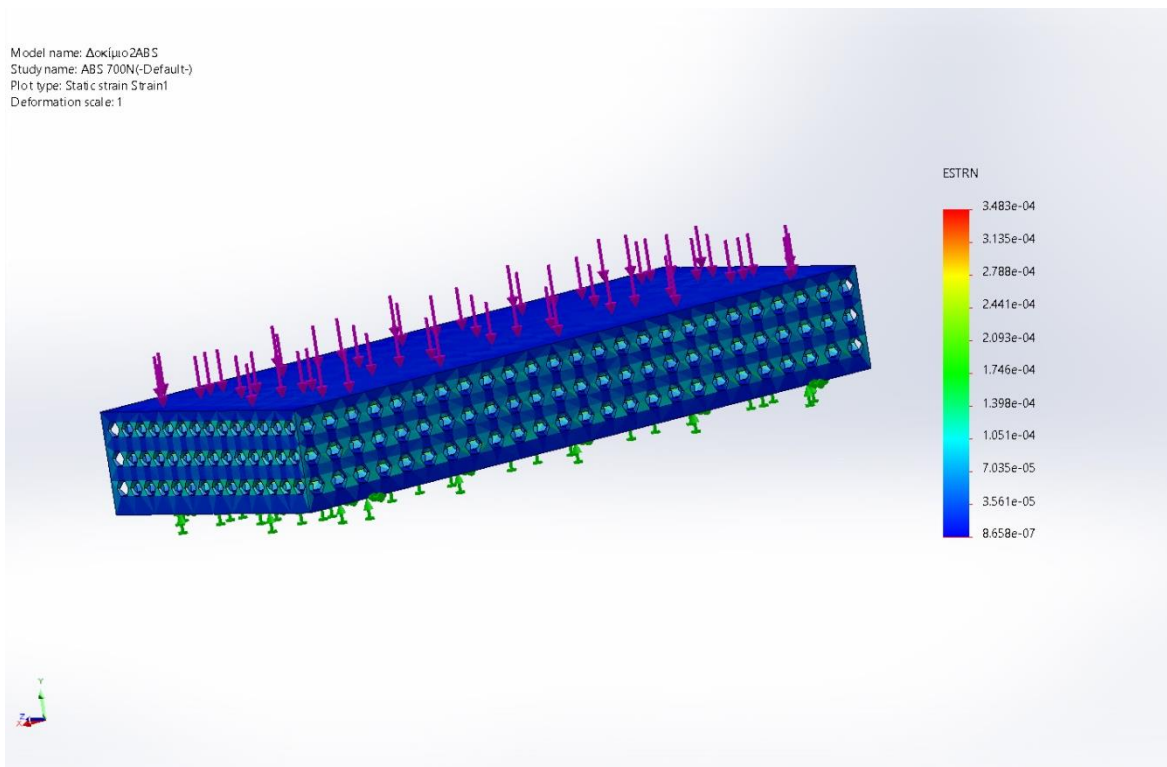


ΕΙΚΟΝΑ 71. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N



ΕΙΚΟΝΑ 72. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N



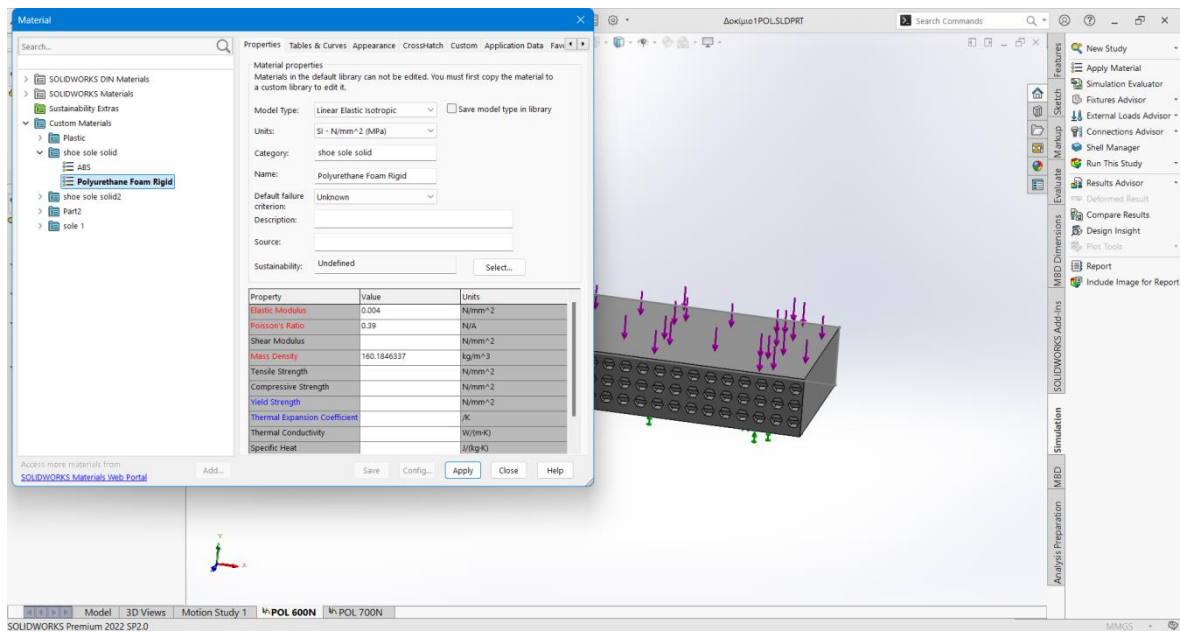


ΕΙΚΟΝΑ 73. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ABS ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 700N

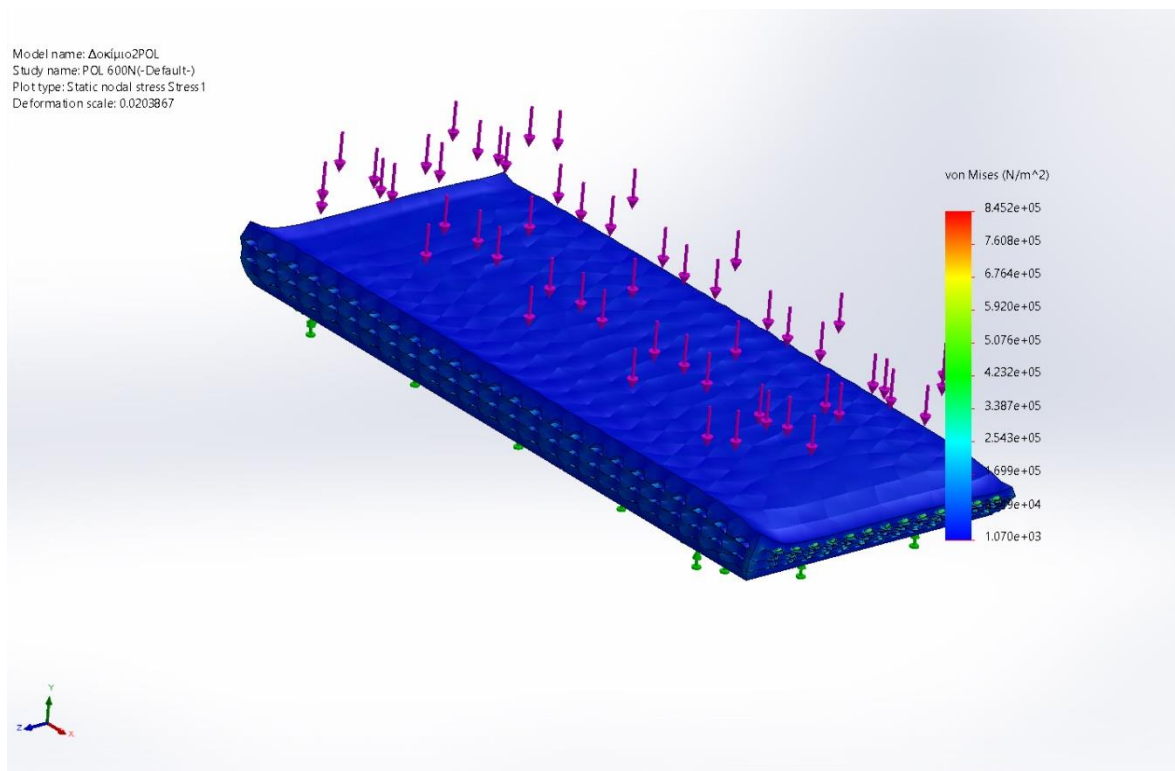
### 3<sup>Η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Με την χρήση του άκαμπτου αφρού πολυουρεθάνης (Polyurethane Foam Rigid) και με δύναμη 600N η οποία αντιστοιχεί σε 60 κιλά σωματικό βάρος προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα.

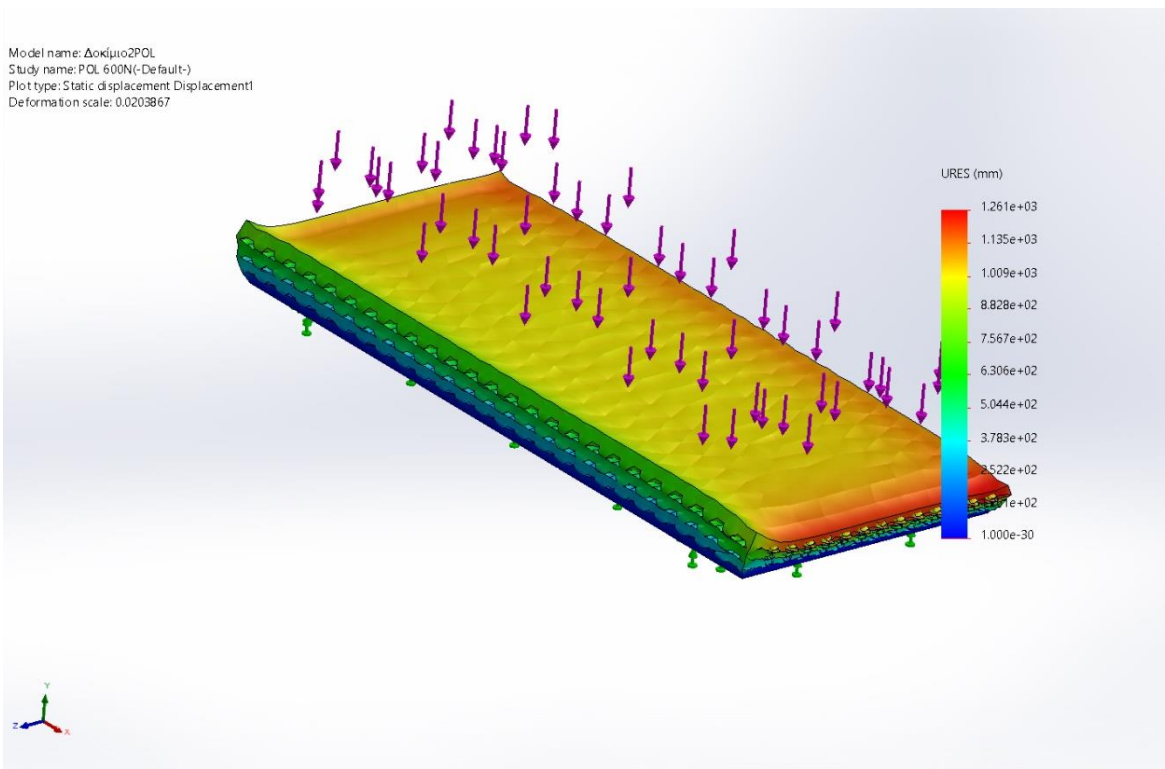
Η τιμή εφελκυσμού για το συγκεκριμένο υλικό κυμαίνεται από 28 έως 96 MPa με μέση τιμή περίπου ίση με 63,3 MPa. Η μέγιστη τιμή της τάσης είναι  $\sigma=8.452 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$  με τιμή μετατόπισης  $r=1.261 \cdot 10^3 \text{ mm}$  και τιμή παραμόρφωσης  $\varepsilon= 1.490 \cdot 10^2 \text{ ppm}$ .



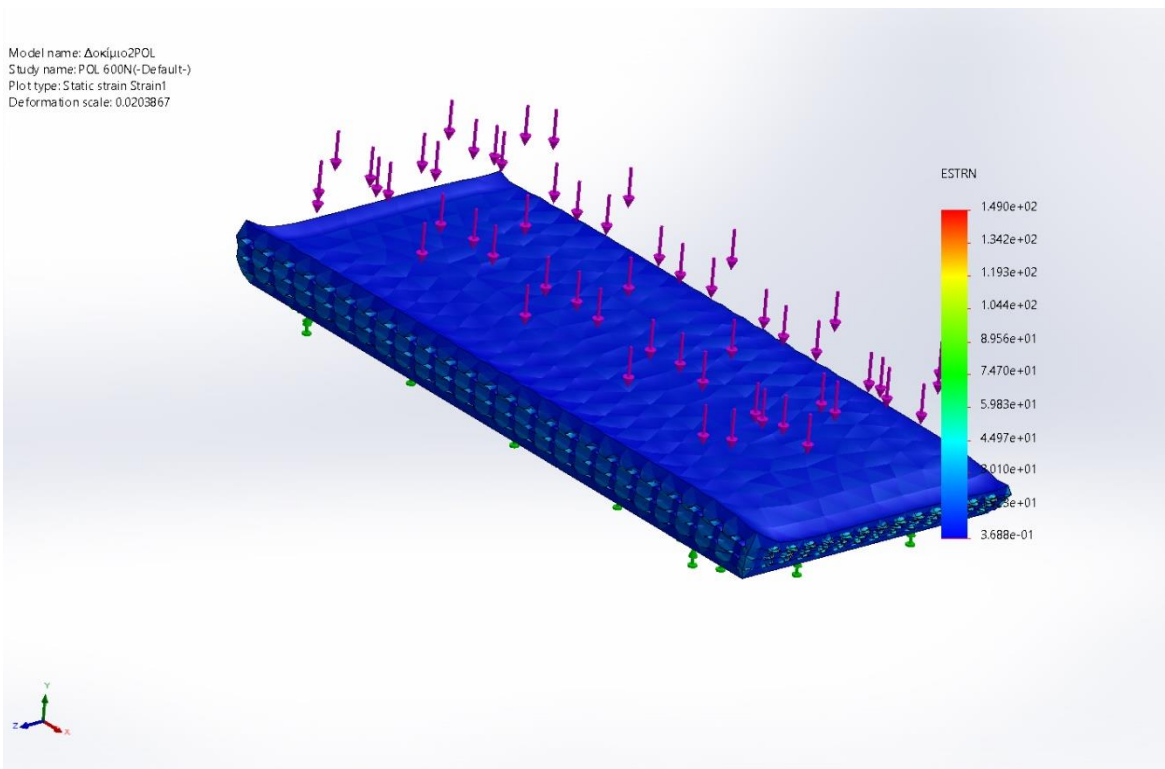
ΕΙΚΟΝΑ 74. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΟΛΑΣ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N



ΕΙΚΟΝΑ 75. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N



ΕΙΚΟΝΑ 76. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N



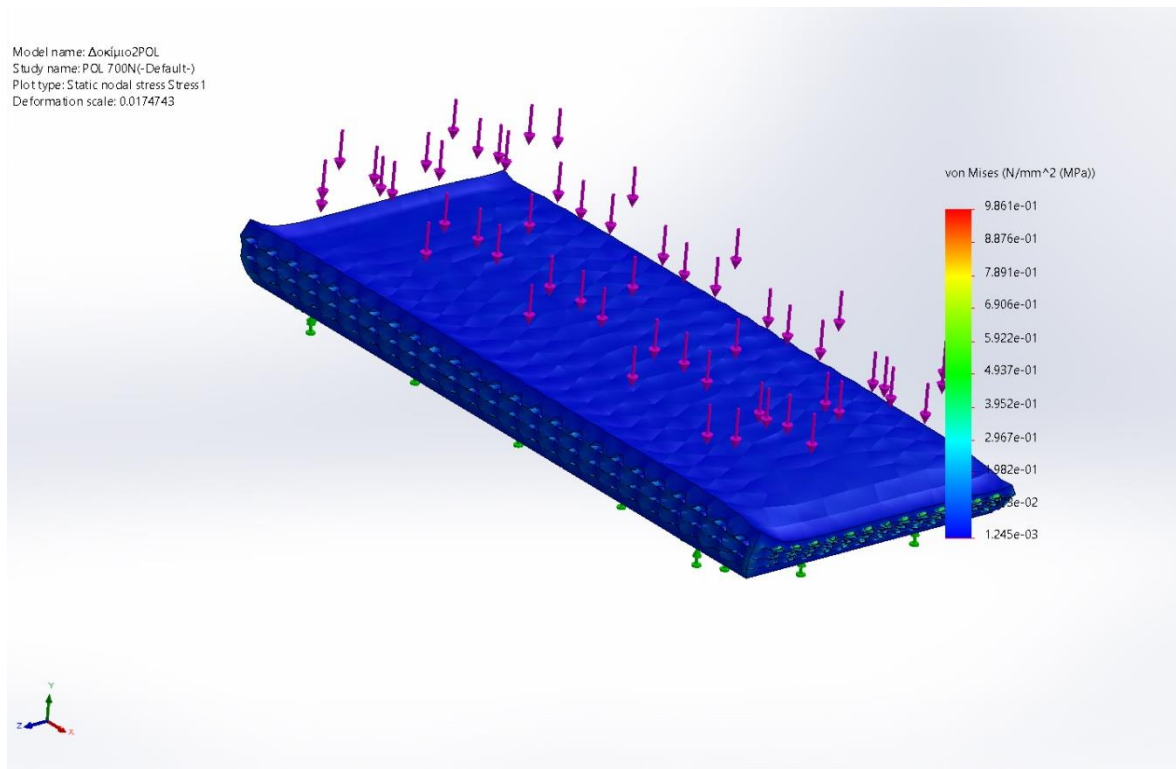
ΕΙΚΟΝΑ 77. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 600N

#### 4<sup>Η</sup> ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

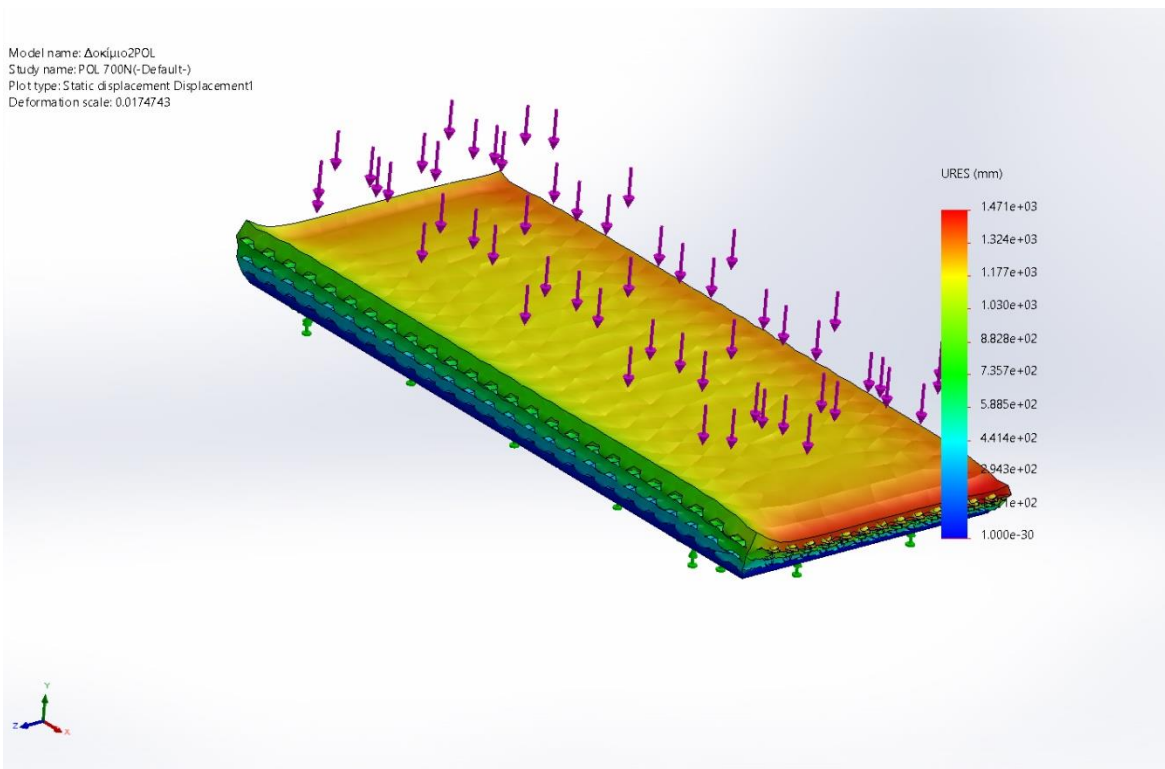
Με την χρήση του άκαμπτου αφρού πολυουρεθάνης (Polyurethane Foam Rigid) και με δύναμη 700N η οποία αντιστοιχεί σε 70 κιλά σωματικό βάρος προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα.

Με τιμή εφελκυσμού για το συγκεκριμένο υλικό κυμαίνεται από 28 έως 96 MPa με μέση τιμή περίπου ίση με 63,3 MPa, η μέγιστη τιμή της τάσης είναι  $\sigma=9.861 \text{ N/mm}^2$ .

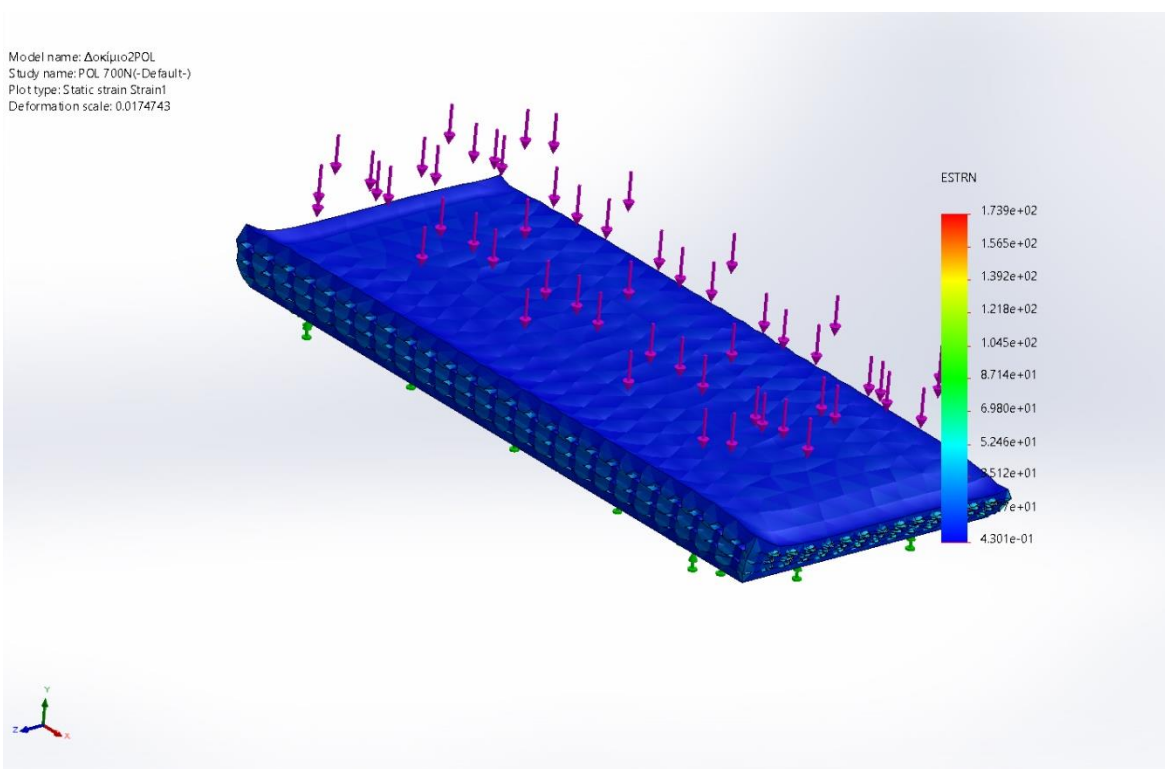
Η μετατόπιση είναι  $r = 1.471 \cdot 10^3 \text{ mm}$  και η τιμή της παραμόρφωσης είναι  $\varepsilon = 1.739 \cdot 10^2 \text{ ppm}$ .



ΕΙΚΟΝΑ 78. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N



ΕΙΚΟΝΑ 79. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N



ΕΙΚΟΝΑ 80. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 700N

### **3.5 Τελικά συμπεράσματα**

Η πρόοδος στην επιστήμη και την τεχνολογία δίνει τη δυνατότητα για ανάπτυξη νέων υλικών και κατεργασιών όσον αφορά διάφορους τομείς. Στην εργασία αυτή ασχοληθήκαμε με τον τομέα της κατασκευής υποδημάτων και συγκεκριμένα μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το βασικότερο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δίνει τη δυνατότητα παραγωγής πολλών διαφορετικών μοτίβων με περίπλοκες γεωμετρίες με μικρή φύρα και χωρίς την ανάγκη περαιτέρω εξοπλισμού, π.χ. καλούπια. Παρόλα αυτά δεν θεωρείται η πλέον επικρατέστερη μέθοδος παραγωγής καθώς έχει μεγάλο κόστος υλικών και απαιτεί περισσότερο χρόνο για το τελικό αποτέλεσμα.

Στην εργασία αυτή, μελετήθηκε η δυνατότητα σχεδίασης μίας αθλητικής σόλας για αθλητές δρόμου μεγάλων αποστάσεων. Επιλέχθηκαν για τις δοκιμές δύο υλικά τα οποία θα μπορούσαν σε να χρησιμοποιηθούν σε μία αθλητική σόλα και παράλληλα θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για την εκτύπωση κάποιου τρισδιάστατου μοντέλου. Τα υλικά αυτά είναι το πλαστικό ABS και ο αφρός πολουρεθάνης. Αρχικά σχεδιάστηκαν μερικά σκίτσα που απεικονίζουν τις μορφές που θα μπορούσε να έχει η σόλα. Στη συνέχεια μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks σχεδιάστηκαν δύο διαφορετικά δοκίμια στα οποία εφαρμόστηκαν δυνάμεις των 600N και 700N για καθένα από τα δύο υλικά. Αφού σχεδιάστηκε το κάθε δοκίμιο, ορίστηκε το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί και έπειτα ξεκίνησε η διαδικασία της προσομοίωσης. Παρατηρήθηκε πως με τη χρήση του υλικού ABS οι αντιδράσεις στις σόλες δεν ήταν μεγάλες, πράγμα φυσιολογικό αφού το ABS είναι σκληρό υλικό χωρίς μεγάλη ελαστικότητα. Με τη χρήση του αφρού πολουρεθάνης οι καταπονήσεις ήταν μεγαλύτερες καθώς το υλικό έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα και μπορεί να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση χωρίς να ρηγματώνεται. Μπορούμε να πούμε λοιπόν πως για τον σχεδιασμό μίας σόλας υποδήματος το ABS σαν υλικό παρά την υψηλή αντοχή του στις κρούσεις, θα ήταν αρκετά σκληρό για τον συγκεκριμένο σκοπό. Ενώ αντίθετα ο αφρός πολουρεθάνης με το πλεονέκτημα της ελαστικότητας θα μπορούσε να επιφέρει μεγαλύτερη άνεση και προστασία στον αθλητή.

Από τη μελέτη αυτή προκύπτουν ορισμένα συμπεράσματα τα οποία θα ήταν απαραίτητα σε μελλοντική σχεδίαση και εκτύπωση της σόλας. Φυσικά τα μοντέλα αυτά αποτελούν μία πρώτη προσέγγιση της σόλας και χρειάζεται να γίνει ακριβέστερη εξέταση ως προς τις παραμέτρους έως ότου φτάσει το μοντέλο στο σημείο της εκτύπωσης. Για να μπορέσει να υλοποιηθεί μία τέτοια ιδέα στην πραγματικότητα, θα πρέπει να γίνει ακριβής μέτρηση του πέλματος ενός αθλητή, να εξεταστούν όλα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ανατομίας του ποδιού του καθώς και του τρόπου με τον οποίο τοποθετούνται οι εφαρμοζόμενες δυνάμεις ανάλογα με τον τρόπο που στέκεται και κινείται.

Η λογική των δοκιμών που έγιναν έγκειται στην δημιουργία ενός πλασματικού μοντέλου προκειμένου να φανεί η διαδικασία που ακολουθείται όσον αφορά τις δοκιμές στις καταπονήσεις. Τα αποτελέσματα αυτά αποτελούν απλά δοκιμές οι οποίες για να μπορέσουν να γίνουν αντικείμενο μελλοντικής μελέτης θα πρέπει

να γίνει πιο εκτενής έλεγχος των παραμέτρων, όπως παραδείγματος χάριν επιλογή διαφορετικού υλικού, ή αλλαγή του μοτίβου της σόλας ώστε να μοιράζονται διαφορετικά τα φορτία που εφαρμόζονται. Τέλος, θα μπορούσαν τα διάφορα μέρη της σόλας να σχεδιάζονται ξεχωριστά ανάλογα με τις καταπονήσεις που δέχεται το κάθε σημείο και έτσι κάθε κομμάτι της σόλας να είναι έτοιμο να δεχτεί την καταπόνηση που του αντιστοιχεί.

---

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

---

[1] Μπάμπαλης Θανάσης (2013), Βιομηχανικός σχεδιασμός, ΤΕΙ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ανακτήθηκε 15/6/2024 από :

[http://www.wfdt.teilar.gr/material/Lessons/ID1\(2013\).pdf](http://www.wfdt.teilar.gr/material/Lessons/ID1(2013).pdf)

[2] Σουλαντίκα Ερμιόνη (2021), Μελέτη της χρήσης 3D printing στην κατασκευή υποδημάτων, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

[https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/54588/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%A3%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%BA%CE%B1\\_%CE%95%CF%81%CE%BC%CE%B9%CF%8C%CE%BD%CE%B7.pdf?sequence=2](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/54588/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A3%CE%BF%CF%85%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AF%CE%BA%CE%B1_%CE%95%CF%81%CE%BC%CE%B9%CF%8C%CE%BD%CE%B7.pdf?sequence=2)

[3] Benno Nigg (2007) New ideas and concepts in sports shoe development, ISBS-Conference Proceedings Archive, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

<https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/353>

[4] Ιστοσελίδα TOP4RUNNING ανακτήθηκε 20/6/2024 από:

<https://top4running.gr/pg/papoutsia-treksimatos-me-xamili-i-mideniki-ptosi>

[5] Ιστοσελίδα Science For Sport, ανακτήθηκε 17/6/2024 από:

<https://www.scienceforsport.com/barefoot-running-game-changer-or-fad/>

[6] Butdee S. (2002), Hybrid feature modeling for sport shoe sole design, ανακτήθηκε 22/6/2024 από:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835202000463>

[7] Wikipedia, Pronation of the foot, ανακτήθηκε 28/6/2024 από:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Pronation\\_of\\_the\\_foot](https://en.wikipedia.org/wiki/Pronation_of_the_foot)

[8] Ιστοσελίδα της Asics, ανακτήθηκε 2/7/2024 από:

<https://www.asics.com/nl/en-nl/asics-launches/gel-kyrios/>



[9] Στεργίου Μαρίνα (2016), *Αξιοποίηση τεχνολογιών 3D εκτύπωσης για τη σχεδίαση και ταχεία κατασκευή υποδημάτων*, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ανακτήθηκε 2/7/2024 από:

[https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/21934/Marina\\_Stergiou\\_dp\\_sdm14012\\_Thesis\\_Project\\_July2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/21934/Marina_Stergiou_dp_sdm14012_Thesis_Project_July2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[10] Πατίκας Δ. , *Ανάλυση βάρδισης*, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Σερρών Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS127/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%05.Kinetics%20S.pdf>

[11] Καρμοίρη Έλλη (2017), *Μελέτη και αξιοποίηση τεχνολογιών τρισδιάστατης (3D) εκτύπωσης για την σχεδίαση και την παραγωγή εξωτερικών σολών για αθλητικά παπούτσια* , Πανεπιστήμιο Αιγαίου, ανακτήθηκε 28/6/2024 από:

<https://hellanicus.lib.aegean.gr/handle/11610/20109>

[12] Βαρβαρούσης Δημήτριος (2017), *Βάρδιση και αθλητισμός*, ανακτήθηκε 2/7/2024 από:

<https://www.inewsgr.com/322/vadisi-kai-athlitismos.htm>

[13] Κέλλης Ελευθέριος (2015), *Βάρδιση και τρέξιμο* ,Αποθετήριο Κάλλιππος, ανακτήθηκε 2/7/2024 από

<https://repository.kallipos.gr/handle/11419/4952?locale=el>

[14] *Είδη αθλητικών παπουτσιών*, ανακτήθηκε 10/7/2024 από:

<https://opo.gr/b/eidi-athlitikon-papoutsion>

[15] Ιστοσελίδα Orthobaltic, *3D printed insoles*, ανακτήθηκε 10/7/2024 από:

<https://www.orthobaltic.eu/3d-printing.html>

[16] Ιστοσελίδα Meriam Webster Dictionary, *Midsole*, ανακτήθηκε 10/7/2024 από:

<https://www.merriam-webster.com/dictionary/midsole>

[17] Ιστοσελίδα Delikaris sport, *Η ανατομία ενός αθλητικού παπουτσιού για τρέξιμο*, ανακτήθηκε 12/7/2024 από:

[https://www.delikaris-sport.gr/el/%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%B1-%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%82-%CE%B1%CE%B8%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85-%CF%80%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%85%CF%84%CF%83%CE%B9%CE%BF%CF%85-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CF%81%CE%B5%CE%BE%CE%B9%CE%BC%CE%BF?srsId=AfmBOopXycS3\\_t18umVMGYsPORT6QC2rd5FXB28SQ8hn11\\_6Mc6qkVHI](https://www.delikaris-sport.gr/el/%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%B1-%CE%B5%CE%BD%CE%BF%CF%82-%CE%B1%CE%B8%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85-%CF%80%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%85%CF%84%CF%83%CE%B9%CE%BF%CF%85-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CF%81%CE%B5%CE%BE%CE%B9%CE%BC%CE%BF?srsId=AfmBOopXycS3_t18umVMGYsPORT6QC2rd5FXB28SQ8hn11_6Mc6qkVHI)

[18] Ιστοσελίδα RunningXpert , *Become an expert on running-shoes in 5 min*, ανακτήθηκε 18/7/2024 από: <https://www.runningxpert.com/eu/inspiration/guide-running-shoes>

[19] Ιστοσελίδα All3dp, *3D Printed Shoes: The Cream of the Crop*, ανακτήθηκε 20/7/2024 από: <https://all3dp.com/2/3d-printed-shoes/>

[20] Ιστοσελίδα All3dp, *3D Printed Insoles: Personalized Insoles for Superior Comfort*, ανακτήθηκε 20/7/2024 από:<https://all3dp.com/3d-printed-insoles/>

[21] Chaturvedi I. & Jandya A., & Wazir I.& Raina A.& Ul Hag M., *Biomimetics and 3D printing-Opportunities for design applications*, School of Mechanical Engineering, Shri Mata Vaishno Devi University, Katra, Jammu and Kashmir, , India, ανακτήθηκε 20/7/2024 από:  
<https://doi.org/10.1016/j.sintl.2022.100191>

[22] Ιστοσελίδα Adreco,*ABS plastic properties*, ανακτήθηκε 20/7/2024 από:  
<https://adrecoplastics.co.uk/abs-plastic-properties/>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

[ΠΗΓΗ 1] Μπάμπαλης Θανάσης (2013), Βιομηχανικός σχεδιασμός, ΤΕΙ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ανακτήθηκε 15/6/2024 από :

[http://www.wfdt.teilar.gr/material/Lessons/ID1\(2013\).pdf](http://www.wfdt.teilar.gr/material/Lessons/ID1(2013).pdf)

[ΠΗΓΗ 2] Ιστοσελίδα Science For Sport, ανακτήθηκε 17/6/2024 από:  
<https://www.scienceforsport.com/barefoot-running-game-changer-or-fad/>

[ΠΗΓΗ 3] *Κάτω όψη υποδήματος nike free* , ConceptKicks- Trust the process: Nike Free, ανακτήθηκε 18/7/2024 από: <https://www.conceptkicks.com/design/trust-the-process-nike-free>

[ΠΗΓΗ 4] *Αύξηση της δύναμης κάμψης*, ConceptKicks-“Trust the process: Nike Free”<https://www.conceptkicks.com/design/trust-the-process-nike-free>

[ΠΗΓΗ 5] *Απεικόνιση της τεχνολογίας MBT που προσδίδουν την αίσθηση του γυμνού ποδιού*, ανάκτηση 18/7/2024 από:  
[https://www.pinterest.de/pin/423549539932295637/?amp\\_client\\_id=CLIENT\\_ID%28\\_%29&mweb\\_unauth\\_id=%7B%7Bdefault.session%7D%7D&url=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.de%2Famp%2Fpin%2F423549539932295637%2F](https://www.pinterest.de/pin/423549539932295637/?amp_client_id=CLIENT_ID%28_%29&mweb_unauth_id=%7B%7Bdefault.session%7D%7D&url=https%3A%2F%2Fwww.pinterest.de%2Famp%2Fpin%2F423549539932295637%2F)

[ΠΗΓΗ 6] Shorten, M. R. (2024) *Energy return in footwear – revisited* (α)Αρχική κατάσταση πέλματος (β)Επαφή πέλματος με το έδαφος (γ)Απογείωση, *Footwear Science*, 1–14, ανακτήθηκε 19/7/2024 από:

<https://doi.org/10.1080/19424280.2024.2369995>

[ΠΗΓΗ 7] Benno Nigg (2007) *New ideas and concepts in sports shoe development*, ISBS-Conference Proceedings Archive, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

<https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/353>

[ΠΗΓΗ 8] Dickson M., & Fuss F., (2011), *Η τεχνολογία power bounce* ανακτήθηκε 20/7/2024 από : <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.05.059>

[ΠΗΓΗ 9] *Οι θέσεις του πέλματος καθώς ο αθλητής τρέχει/ περπατάει*, ανακτήθηκε 20/7/2024 από: <https://top4running.gr/pg/prinismos-kai-uptiasmos-katatidiarkeia-toutreximatos-pws-na-anagnoriset-tasyptomata-kai-na-ta-antimetopisete>

[ΠΗΓΗ 10] *Απεικόνιση των σημείων επαφής με το έδαφος κατά τον κύκλο βάρδισης*, ανακτήθηκε 20/7/2024 από: <https://www.runningbath.co.uk/pronation-guide/>

[ΠΗΓΗ 11] Benno Nigg (2007) *New ideas and concepts in sports shoe development*, ISBS-Conference Proceedings Archive, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

<https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/353>

[ΠΗΓΗ 12] *Κατασκευή σόλας σε σχήμα ντόνατ*, ανακτήθηκε 22/7/2024 από:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.asics.com%2Fnl%2Fen-nl%2Fasics-launches%2Fgel-kyrios%2F&psig=AOvVaw2pBFrICEUCtVy2tU6UfmJZ&ust=1726231710442000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhxqFwoTCPIUt7G4vYgDFQAAAAAdAAA AABAE>

[ΠΗΓΗ 13] Πατίκας Δ. , *Ανάλυση βάρδισης*, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Σερρών Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS127/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/05.Kinetics%20S.pdf>

[ΠΗΓΗ 14] *Η μετάβαση από βάρδιση σε τρέξιμο*, ανάκτηση 20/7/2024 από: <https://www.gigourtakis.gr/to-fysikotherapeftirio/exoplismos-fysikotherapeftiriou/exoplismos-ypsilis-technologias/tekscan-walkway-research-wv4-systima-analysis-vadisis/>

[ΠΗΓΗ 15] Πατίκας Δ. , *Ανάλυση βάρδισης*, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Σερρών Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS127/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/05.Kinetics%20S.pdf>

[ΠΗΓΗ 16] Πατίκας Δ. , *Ανάλυση βάρδισης*, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Σερρών Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS127/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/05.Kinetics%20S.pdf>

[ΠΗΓΗ 17] Πατίκας Δ. , *Ανάλυση βάρδισης*, Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής & Αθλητισμού, Σερρών Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ανακτήθηκε 16/6/2024 από:

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS127/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/05.Kinetics%20S.pdf>

[ΠΗΓΗ 18] *Τα μέρη του υποδήματος*, ανακτήθηκε 20/7/2024 από:

<https://geeksonfeet.com/blog/midsole/>

[ΠΗΓΗ 19] *Δοκιμή ελαστικότητας σόλας Adidas 4DFWD 2*, ανακτήθηκε 16/7/2024 από:

<https://runrepeat.com/adidas-4dfwd-2>

[ΠΗΓΗ 20] *Σόλα Running*, ανακτήθηκε 16/7/2024 από: <https://opo.gr/b/eidi-athlitikon-papoutsion>

[ΠΗΓΗ 21] *Σόλα στίβου με καρφιά*, ανακτήθηκε 16/7/2024 από: <https://opo.gr/b/eidi-athlitikon-papoutsion>

[ΠΗΓΗ 22] *Σύγκριση του Adidas 4DFWD 2 με ένα κοινό όσον αφορά την εφίδρωση*, ανακτήθηκε 17/7/2024 από: <https://runrepeat.com/adidas-4dfwd-2>

[ΠΗΓΗ 23] *Εσωτερική σόλα με οπές κατά της εφίδρωσης*, ανακτήθηκε 17/7/2024 από: <https://www.amazon.com/Insoles-CloudStep-Insoles%EF%BC%8CMemory-Insoles%EF%BC%8C4d-Technology/dp/B0D1GRSQG2>

[ΠΗΓΗ 24] *Εσωτερική σόλα υποδήματος*, ανακτήθηκε 17/7/2024 από: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.orthobaltic.eu%2F3d-printing.html&psig=AOvVaw1aRp7l2N2UNfpChqM8CRHj&ust=1726264946022000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhxfFwoTCJp-Zu0vogDFQAAAAAdAAAAABAE>

[ΠΗΓΗ 25] Συσκευή αποτύπωσης της εικόνας του ποδιού, ανακτήθηκε 17/7/2024 από: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fm.indiamart.com%2Fproduct%2Ffoot-scanner-12623545197.html&psig=AOvVaw1uUW4RuakACK-Nswxoj2j&ust=1726265082642000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhXqFwoTCMiC4uG0vogDFQAAAAAdAAAAABA3>

[ΠΗΓΗ 26] Η ενδιάμεση σόλα που φαίνεται από τομή του υποδήματος Adidas 4DFWD 2, , ανακτήθηκε 17/7/2024 από: <https://runrepeat.com/adidas-4dfwd-2>

[ΠΗΓΗ 27] Η εξωτερική σόλα του υποδήματος Adidas 4DFWD 2, ανακτήθηκε 17/7/2024 από: <https://www.adidas.gr/adidas-4dfwd-2-running-shoes/GX9269.html>

[ΠΗΓΗ 28] Τα μέρη του Adidas 4DFWD 2, ανακτήθηκε 17/7/2024 από: <https://runrepeat.com/adidas-4dfwd-2>

[ΠΗΓΗ 29] Η έννοια της βιομίμησης στην τεχνολογία της τρισδιάστατης εκτύπωσης, ανακτήθηκε 17/7/2024 από:

[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.morgen-filament.de%2F3d-printed-surfboard-researchers-test-different-bio-inspired-core-structures%2F&psig=AOvVaw2k7ZUzVCPH86iV\\_cPhMn8e&ust=1726257750365000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhXqFwoTCIj1nriZvogDFQAAAAAdAAAAABA5](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.morgen-filament.de%2F3d-printed-surfboard-researchers-test-different-bio-inspired-core-structures%2F&psig=AOvVaw2k7ZUzVCPH86iV_cPhMn8e&ust=1726257750365000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhXqFwoTCIj1nriZvogDFQAAAAAdAAAAABA5)

[ΠΗΓΗ 30] Τρισδιάστατη απεικόνιση της κηρήθρας, ανακτήθηκε 26/7/2024 από: <https://www.azom.com/news.aspx?newsID=58416>

[ΠΗΓΗ 31] Χρήση του μοτίβου της κηρήθρας σε εσωτερική σόλα, ανακτήθηκε 17/7/2024 από:

<https://www.walmart.com/ip/1-Pair-Diabetic-Insoles-Soft-Lightweight-Therapeutic-Shoe-Inserts-for-Foot-Support-Men-Women-Universal/5379466306>

[ΠΗΓΗ 32] Το μοτίβο της κηρήθρας εμπνευσμένο από στοιχεία της φύσης, ανακτήθηκε 20/7/2024 από:

[https://www.researchgate.net/figure/3D-printing-of-ceramic-structures-a-honeycomb-like-model-used-as-a-digital-mask-b-c\\_fig2\\_266202872](https://www.researchgate.net/figure/3D-printing-of-ceramic-structures-a-honeycomb-like-model-used-as-a-digital-mask-b-c_fig2_266202872)

[ΠΗΓΗ 33] *Callyspongia plicifera* Vase sponge Belize, ανακτήθηκε 26/7/2024 από: <https://www.ryanphotographic.com/sponges.htm>

[ΠΗΓΗ 34] SPONGE 7388 *Clathria mima* sponge detail, Taveuni, Fiji, ανακτήθηκε 26/7/2024 από: <https://www.ryanphotographic.com/sponges.htm>

[ΠΗΓΗ 35] Τρισδιάστατο σχέδιο εμπνευσμένο από το μοτίβο του σφουγγαριού, ανακτήθηκε 17/7/2024 από:

<https://www.cgtrader.com/3d-models/science/medical/osteoporosis-3d>

[ΠΗΓΗ 36] Απεικόνιση της δομής του μανιταριού, ανακτήθηκε 26/7/2024 από:

<https://grocycle.com/parts-of-a-mushroom/>

[ΠΗΓΗ 37] Το μοτίβο της εσωτερικής πλευράς του μανιταριού, ανακτήθηκε 20/7/2024 από: <https://photos.com/featured/underside-of-mushrooms-gregory-adams.html>

[ΠΗΓΗ 38] Σόλα υποδήματος εμπνευσμένη από το μοτίβο μύκητα/μανιταριού, ανακτήθηκε 17/7/2024 από: <https://www.udel.edu/udaily/2018/april/sustainable-fashion-mushroom-based-shoe/>

[ΠΗΓΗ 39] Οι ίνες ενός φύλλου, ανακτήθηκε 22/7/2024 από: [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpngtree.com%2Ffree-backgrounds-photos%2Ffiber-leaf-pictures&sig=AOvVaw0fmu6oBywf\\_jkrVEwXn1PB&ust=1726255743485000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhxqFwoTCPCB2PSRvogDFQAAAAAdAAAAABAE](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fpngtree.com%2Ffree-backgrounds-photos%2Ffiber-leaf-pictures&sig=AOvVaw0fmu6oBywf_jkrVEwXn1PB&ust=1726255743485000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBcQjhxqFwoTCPCB2PSRvogDFQAAAAAdAAAAABAE)

[ΠΗΓΗ 40] Τρισδιάστατο σχέδιο με μοτίβο εμπνευσμένο από τις ίνες των φύλλων, , ανακτήθηκε 22/7/2024 από: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=7048>

[ΠΗΓΗ 41] Τρισδιάστατη σόλα με μοτίβο ινών στο σχέδιο ανακτήθηκε 22/7/2024 από: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=7048>

[ΠΗΓΗ 42] Απεικόνιση του νευρικού συστήματος σε μικροσκόπιο, ανακτήθηκε 22/7/2024 από: [https://www.smiletemplates.com/images/orange-microscopic-nervous-system-on-a-dark-background/230152/#google\\_vignette](https://www.smiletemplates.com/images/orange-microscopic-nervous-system-on-a-dark-background/230152/#google_vignette)

[ΠΗΓΗ 43] Τρισδιάστατα σχέδια με το μοτίβο του νευρικού συστήματος, ανακτήθηκε 22/7/2024 από: <https://design-milk.com/deconstruction-cell-cycle-by-nervous-system/>

[ΠΗΓΗ 44] Τρισδιάστατη σόλα υποδήματος με μοτίβο εμπνευσμένο από τη δομή του νευρικού συστήματος, ανακτήθηκε 22/7/2024 από: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/blog/?p=7048>

[ΠΗΓΗ 45]. ΑΡΧΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

[ΠΗΓΗ 46]. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

[ΠΗΓΗ 47]. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΥ ΠΟΛΥΓΩΝΟΥ

[ΠΗΓΗ 48]. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΤΙΒΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΠΟΛΥΓΩΝΟ

[ΠΗΓΗ 49]. ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΠΡΩΤΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

[ΠΗΓΗ 50]. ΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

[ΠΗΓΗ 51]. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΟΛΑΣ ΜΕ ABS ΚΑΙ 600N

[ΠΗΓΗ 52]. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

[ΠΗΓΗ 53]. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

[ΠΗΓΗ 54]. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ABS ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 600N

[ΠΗΓΗ 55]. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

[ΠΗΓΗ 56]. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

[ΠΗΓΗ 57]. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ABS ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 700N

[ΠΗΓΗ 58]. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΡΩΤΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΟΛΑΣ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ 600N

[ΠΗΓΗ 59]. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

[ΠΗΓΗ 60]. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

[ΠΗΓΗ 61]. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 600N

[ΠΗΓΗ 62]. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

[ΠΗΓΗ 63]. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

[ΠΗΓΗ 64]. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 1 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 700N

[ΠΗΓΗ 65]. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΤΙΒΟΥ

[ΠΗΓΗ 66]. ΤΕΛΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΔΕΥΤΕΡΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ

[ΠΗΓΗ 67]. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΟΛΑΣ ΜΕ ABS ΚΑΙ 600N

[ΠΗΓΗ 68]. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

[ΠΗΓΗ 69]. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

[ΠΗΓΗ 70]. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ABS ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 600N

[ΠΗΓΗ 71]. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

[ΠΗΓΗ 72]. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ABS ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

[ΠΗΓΗ 73]. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ABS ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 700N

[ΠΗΓΗ 74]. ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΔΕΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΣΟΛΑΣ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ 600N

[ΠΗΓΗ 75]. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

[ΠΗΓΗ 76]. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 600N

[ΠΗΓΗ 77]. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 600N

[ΠΗΓΗ 78]. ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΣΕ ΘΛΙΨΗ ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

[ΠΗΓΗ 79]. ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΗ 700N

[ΠΗΓΗ 80]. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΟΛΑΣ 2 ΜΕ ΑΦΡΟ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΥΝΑΜΗΣ 700N