



Πολυτεχνείο
Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής
& Διοίκησης

Χανιά 2022

Διπλωματική Εργασία

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΟΔΙΟΥ ΜΕ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ
ΚΥΨΕΛΩΤΗΣ ΔΟΜΗΣ

PROSTHETIC LEG DESIGN WITH HONEYCOMB
STRUCTURE GEOMETRY

ΚΟΛΟΜΒΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΠΙΛΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Περιεχόμενα

Περίληψη:	4
1. Ιστορική Αναδρομή Προσθετικών Μελών	5
1.1 Πρώτα προσθετικά μέλη	5
1.2 Προσθετικά μέλη στη νεότερη ιστορία.....	6
1.3 Αξιοσημείωτα γεγονότα για την εξέλιξη της προσθετικής.....	8
1.4 Νεότερη ιστορία των κάτω προσθετικών άκρων	10
1.5 Η προσθετική σήμερα	12
2. Θεωρία Κυψελωτής Δομής.....	14
2.1 Ορισμός.....	14
2.2 Ιστορική αναδρομή της κυψελωτής δομής	16
2.2.1 Κυψελωτή δομή στη φύση.....	16
2.2.2 Σημαντικά πρόσωπα για την εξέλιξη της κυψελωτής δομής.....	17
2.2.3 Η κυψελωτή δομή σε κατασκευές	18
2.3 Πλεονεκτήματα στην χρήση κυψελωτών δομών	20
2.4 Χρήση κυψελωτών δομών στην σύγχρονη τεχνολογία	20
3. Σχεδιασμός προσθετικού ποδιού στο περιβάλλον NX Siemens.....	23
3.1 Εισαγωγή στην σχεδίαση προσθετικού ποδιού.....	23
3.1.1 Ανάλυση του τρόπου σχεδιασμού του προσθετικού ποδιού	23
3.1.2 Τρόπος λειτουργίας του μηχανικού ποδιού και πηγή έμπνευσης του σχεδίου	24
3.2 Σχεδιασμός κύριων μερών	27
3.2.1 Σχεδιασμός ποδιού	27
3.2.2 Σχεδιασμός καλαμιού	31
3.2.3 Σχεδιασμός μηρού.....	37
3.3 Σχεδιασμός αρθρώσεων	42
3.3.1 Σχεδιασμός μηχανισμού αστραγάλου	42
3.3.2 Σχεδιασμός μηχανισμού γονάτου	42

3.4 Σχεδιασμός βοηθητικών μερών	46
3.4.1 Σχεδιασμός quick release clamp	46
3.4.2 Λοιπά μέρη quick release clamp	47
3.5 Συναρμολογήσεις (Assemblies)	48
3.5.1 Συναρμολόγηση αστραγάλου	48
3.5.2 Συναρμολόγηση γονάτου	52
3.5.3 Συναρμολόγηση Quick release clamp	55
3.5.4 Full Assembly - Συναρμολόγηση προσθετικού ποδιού	58
3.6 Motion Simulation	63
4. 3D Εκτύπωση Προσθετικού Ποδιού	69
4.1. Μετατροπή του αρχείου .prt σε κώδικα 3D printing	69
4.2 Αστοχίες κατά την εκτύπωση	74
4.3 Τελικό αποτέλεσμα εκτύπωσης	75
5. Συμπεράσματα	78
Βιβλιογραφία	79

Περίληψη:

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός τρισδιάστατου μοντέλου προσθετικού ποδιού, εφαρμόζοντας παράλληλα την έννοια της κυψελωτής δομής, στο περιβάλλον του CAD/CAM λογισμικού NX της Siemens και η εκτύπωση του μοντέλου μέσω 3D Printing. Αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή στα προσθετικά μέλη καθώς και στα σημαντικά πρόσωπα της ιστορίας για την ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας. Στην συνέχεια γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην έννοια της κυψελωτής δομής, αναφέρονται οι διάφοροι τομείς εφαρμογής της μέχρι και σήμερα και τα διάφορα πλεονεκτήματά της. Αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας και σχεδιασμού του προσθετικού ποδιού, καθώς και η κίνηση που μπορεί να κάνει βάση του σχεδιασμού του (Motion Simulation). Τέλος παρουσιάζεται η διαδικασία εκτύπωσης του ποδιού μέσω ενός 3D εκτυπωτή.

1. Ιστορική Αναδρομή Προσθετικών Μελών

1.1 Πρώτα προσθετικά μέλη

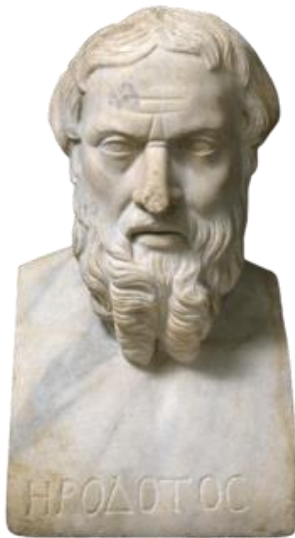
Το πρώτο καταγεγραμμένο προσθετικό μέλος στην ιστορία χρονολογείται μεταξύ του 29^{ου} και 28^{ου} αιώνα π.Χ. στην αρχαία πόλη της Περσίας, του σημερινού Ιράν, *Shahr-i Sōkhta* (μετάφραση: «(Η) καμένη πόλη»). Βρέθηκε στον τάφο μιας γυναίκας και πρόκειται για ένα προσθετικό μάτι, φτιαγμένο πιθανώς από μια αλοιφή πίσσας καλυμμένη από μία λεπτή επίστρωση χρυσού.



Εικόνα 1. Ξύλινο δάχτυλο ποδιού, Αρχαία Αίγυπτος

Ένα δεύτερο αξιοσημείωτο προσθετικό μέλος είναι το ξύλινο προσθετικό δάχτυλο ποδιού που φαίνεται και στην εικόνα. Χρονολογείται περίπου στο 1000 π.Χ. στην εποχή του Νέου Βασιλείου στην αρχαία Αίγυπτο και ανήκει σε μία γυναίκα, η οποία έπασχε από γάγγραινα. Έπειτα από ακρωτηριασμό του μολυσμένου άκρου τοποθετήθηκε ένα ξύλινο για να αποκατασταθεί η ισορροπία της.

Μία άλλη αναφορά φαίνεται να είναι αυτή ενός σιδερένιου προσθετικού ποδιού από την ανατολική Ασία, περί του 1200 π.Χ., το οποίο άνηκε στην πολεμίστρια και Βασίλισσα Βισπάλα. Η Βασίλισσα Βισπάλα έχασε το πόδι της από ακρωτηριασμό στη μάχη. Μετά από την επούλωση της πληγής τοποθετήθηκε ένα προσθετικό σιδερένιο πόδι στην θέση του.



*Εικόνα 2. Ηρόδοτος, Ιστορικός
Αρχαία Ελλάδα
484 π.Χ. – 425 π.Χ.*

Αναφορές προσθετικών μελών φαίνεται να υπάρχουν και στην Αρχαία Ελλάδα, συγκεκριμένα από τον ιστορικό Ηρόδοτο, όπου στο 9^ο βιβλίο της συλλογής «Ηρόδοτου Ιστορίαι», συγκεκριμένα στο 37^ο κεφάλαιο, κάνει αναφορά στον μάντη Ηγησίστρατο. Ο Ηγησίστρατος, για να ξεφύγει από τους Σπαρτιάτες που τον είχαν αιχμαλωτίσει, έπρεπε να ακρωτηριάσει ο ίδιος το πόδι του, για να χωρέσει από ένα τούνελ. Για να αποκαταστήσει το ακρωτηριασμένο του πόδι, έφτιαξε ένα ξύλινο.

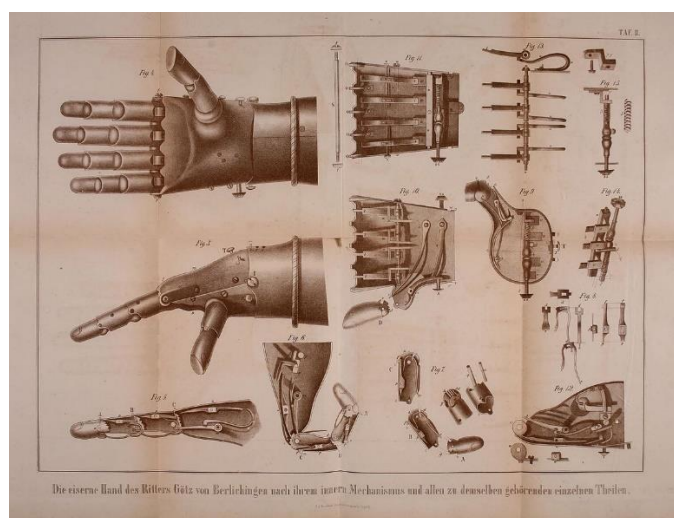
2 Προσθετικά μέλη στη νεότερη ιστορία

Ο Ιταλός χειρουργός Giovanni Tommaso Minadoi, που δούλεψε κατά τον 16^ο αιώνα στην Ασία, ισχυρίστηκε πως είχε παρατηρήσει έναν άνθρωπο ο οποίος είχε χάσει και τα δύο του χέρια, όμως με την βοήθεια μιας σιδερένιας συσκευής μπορούσε να βγάλει το καπέλο του, να ανοίξει την τσάντα του και να υπογράψει το όνομά του.

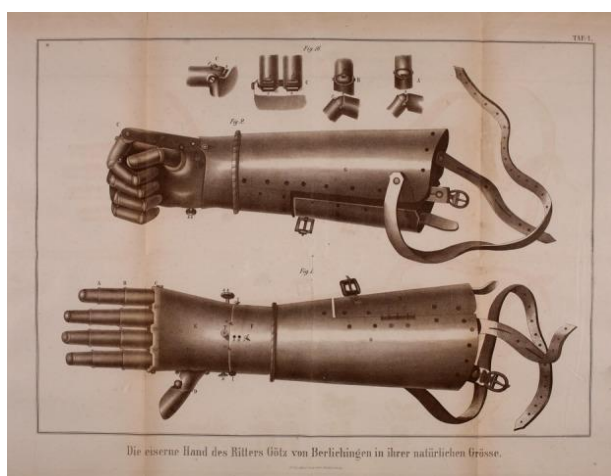
Ο Γερμανός ιππότης Götz von berlichingen, ήταν γνωστός ως διαβόητος μισθοφόρος στις αρχές του 16^{ου} αιώνα. Ο ίδιος φαίνεται να έχασε το χέρι του στην ηλικία των 23 χρόνων στο πεδίο της μάχης. Το χέρι του αντικαταστάθηκε με ένα σιδερένιο, γεγονός στο οποίο στηρίχθηκε η φήμη του έκτοτε. Το πρώτο μοντέλο ήταν απλής κατασκευής και τον βοηθούσε μόνο στο να κρατάει το σπαθί του. Στην συνέχεια της ζωής του αντικατέστησε το πρώτο μοντέλο για ένα πιο εξελιγμένο, το οποίο μέσω μηχανισμών ελατηρίων, παρόμοιας λογικής με αυτή των μηχανισμών της χειροπέδης, του έδινε την ελευθερία περισσότερων θέσεων της παλάμης και κατ' επέκταση περισσότερων δραστηριοτήτων, όπως για παράδειγμα το κράτημα μιας πέννας ή των ηνίων ενός αλόγου.



Εικόνα 3. Το πρώτο προσθετικό χέρι του Götz von Berlichingen



Εικόνα 4. Τα σχέδια για το δεύτερο χέρι του Götz von Berlichingen



Εικόνα 5. Το δεύτερο χέρι του Götz von Berlichingen

1.3 Αξιοσημείωτα γεγονότα για την εξέλιξη της προσθετικής



Εικόνα 6. Εικονογράφηση του Ambroise Paré από τον Άγγλο χαράκτη William Holl the Younger (1807-1871)

Στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, ο γιατρός Ambroise Paré έφερε σημαντικές πρωτοτυπίες στην χειρουργική ακρωτηριασμού, με το να εφεύρει μάλιστα νέα χειρουργικά όργανα, και στην ανάπτυξη προσθετικών άκρων. Ήταν ο πρώτος που εισήγαγε την τεχνολογία του μεντεσέ σε προσθετικό χέρι, καθώς και την τεχνοτροπία του κλειδώματος του γονάτου στο προσθετικό πόδι. Αυτές οι καινοτομίες, καθώς και οι τεχνικές του για την σύνδεση των προσθετικών μελών χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα.

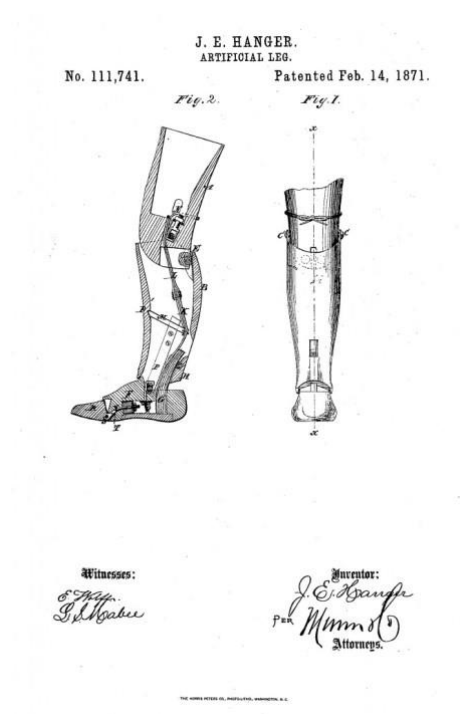


Εικόνα 7. Το προσθετικό πόδι του Verduyn

Το 1696, ο Δανός χειρουργός Pieter Verduyn εφηύρε το πρώτο προσθετικό πόδι κάτω του γονάτου χωρίς κλείδωμα στο γόνατο, το οποίο επέτρεπε κίνηση του γονάτου. Ο Λονδρέζος James Potts εφηύρε το 1800 ένα προσθετικό πόδι που αποτελούταν από μια κνήμη και μια θήκη για τον μηρό, και τα δύο φτιαγμένα από ξύλο, και ένα ευλύγιστο πόδι το οποίο συνδεόταν με μία ατσάλινη άρθρωση γονάτου μέσω χορδών. Το αποτέλεσμα ήταν ανώτερο των ήδη υπάρχων, τόσο στην σαφήνεια του σχεδίου, όσο και στην γενική καλαισθησία. Το συγκεκριμένο σχέδιο φαίνεται να υιοθετήθηκε το 1839 από τις Η.Π.Α και ήταν η πλέον διαδεδομένη πρακτική μέχρι και τον εμφύλιο πόλεμο της Αμερικής.



Εικόνα 8. Το προσθετικό πόδι που σχεδίασε ο James Potts, γνωστό και ως "Anglesey leg" στον εκθεσιακό χώρο National Trust - Plas Newydd House & Gardens, στο Ηνωμένο Βασίλειο



Εικόνα 9. Το προσθετικό πόδι του James Hanger γνωστό και ως "Hanger Limb" Πατέντα: 14 Φεβρουαρίου, 1871

Ο εμφύλιος πόλεμος στην Αμερική είχε ως αποτέλεσμα την σφοδρή αύξηση ακρωτηριασμών, πράγμα το οποίο οδήγησε στην αντίστοιχη ανάπτυξη του πεδίου της προσθετικής. Ο James Hanger, ένας στρατιώτης του συνομοσπονδιακού στρατού, ήταν ο πρώτος ακρωτηριασμένος του πολέμου. Αυτό τον ώθησε στην εφεύρεση το 1861 ενός προσθετικού ποδιού φτιαγμένο από βαρελοσανίδες και μέταλλο, το οποίο περιείχε αρθρώσεις με μεντεσέ στο γόνατο και στον αστράγαλο. Το συγκεκριμένο προσθετικό πόδι ονομάστηκε "Hanger Limb" και ήταν το πιο εξελιγμένο της κατηγορίας του. Ο James Hanger δημιούργησε την εταιρεία Hanger inc. η οποία ηγείται του κλάδου σήμερα.

Ο Νεοϋορκέζος Dubois L. Parmelee έκανε το 1863 μια σημαντική ανακάλυψη όσο αφορά την εφαρμογή του προσθετικού ποδιού, σε ακρωτηριασμό πάνω από το γόνατο, με τον ακρωτηριασμένο μηρό. Η τοποθέτηση γινόταν με την χρήση ατμοσφαιρικής πίεσης, και με την βοήθεια καουτσούκ γινόταν ακριβή προσαρμογή στο ακρωτηριασμένο άκρο.

1.4 Νεότερη ιστορία των κάτω προσθετικών άκρων

Όπως και στο παράδειγμα του James Hanger, φαίνεται πως οι πόλεμοι ανά τους καιρούς συμβαδίζουν με την ανάπτυξη της τεχνολογίας της προσθετικής. Μετά τον 1^ο παγκόσμιο πόλεμο ο γενικός χειρουργός του στρατού των Η.Π.Α έκανε τα πρώτα βήματα στην ανάπτυξη της μοντέρνας προσθετικής με την δημιουργία ενός ομίλου, γνωστού σήμερα ως τον Όμιλο Ορθωτικής και Προσθετικής Αμερικής (American Prosthetics and Orthotics Association). Σημαντική ανάπτυξη όμως παρατηρήθηκε μετά την λήξη του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου, καθώς υπήρξε χρηματοδότηση στρατιωτικών εταιρειών από την Αμερικάνικη κυβέρνηση με σκοπό την εξέλιξη των προσθετικών. Ένα από τα αποτελέσματα αυτής της κίνησης σήμερα είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην προσθετική, όπως το πλαστικό, το αλουμίνιο και άλλα σύνθετα υλικά.

Την δεκαετία του 1950, στην προσπάθεια αποτροπής της ολίσθησης του ισχιακού κυρτώματος στη θήκη υποδοχής του ακρωτηριασμένου μηρού, Βρετανοί εφευρέτες παρουσίασαν την θήκη “H”. Στα μέσα της ίδιας δεκαετίας οι μηχανικοί James Foort και C.W Radcliffe, PhD, στο πανεπιστήμιο Berkeley της Καλιφόρνια, μετέτρεψαν το πρωτότυπο και επινόησαν ένα σύστημα εφαρμογής του μηρού στην θήκη μέσω σφιγκτήρων. Ονόμασαν το νέο σχέδιο “Quadrilateral socket”.



Εικόνα 10. θήκη υποδοχής Quadrilateral

Το 1975, ο Μεξικανός εφευρέτης Ysidro M. Martinez έφερε μια ριζοσπαστική αλλαγή στο προσθετικό πόδι κάτω του γονάτου. Όντας και ο ίδιος ακρωτηριασμένος, ο στόχος του δεν ήταν η προσομοίωση της φυσικής κίνησης του ποδιού αλλά η βελτιστοποίηση του βήματος. Η λύση του στο πρόβλημα ήταν να δώσει στον ασθενή έλεγχο πάνω στην επιτάχυνση και στην επιβράδυνση, ενώ παράλληλα μείωσε την πίεση και την τριβή που υπήρχε στο εναπομείναν άκρο.

Ο John Sabolich, CPO, παρατηρώντας ότι η θήκη quadrilateral παρουσίαζε σοβαρά βιομηχανικά μειονεκτήματα, εφήυρε στις αρχές τις δεκαετίας του 1980 μία θήκη μέσω της Μεθόδου Ευθυγράμμισης Ελεγχόμενης Τροχαντερικής Προσαγωγής με περίγραμμα (Contoured Adducted Trochanteric-Controlled Alignment Method) (CAT-CAM). Σκοπός της θήκης CAT-CAM ήταν να κλειδώσει το ισχιακό κύρτωμα εσωτερικά της θήκης για να αποτραπεί οποιαδήποτε πλευρική μετακίνηση της θήκης.

Ένα επόμενο σημαντικό βήμα στο πεδίο της προσθετικής ήταν τα προσθετικά γόνατα με μικροεπεξεργαστή (microprocessor-controlled prosthetic knee joints). Τα πρώτα μοντέλα παρουσιάστηκαν την δεκαετία του 1990 από την εταιρεία γερμανικής προέλευσης Otto bock με το μοντέλο της C-Leg. Η τεχνολογία αυτή βοήθησε αισθητά τους ασθενείς να έχουν έναν πιο φυσικό τρόπο βήματος. Έχουν την ικανότητα προσαρμογής στο μοτίβο βήματος του κάθε ασθενή μέσω αυτόματης

ανίχνευσης, έως και 17 μοιρών, της κάμψης της άρθρωσης του γονάτου καθώς και της γωνιακής ταχύτητας. Οι εσωτερικοί μικροεπεξεργαστές επεξεργάζονται ερεθίσματα από αισθητήρες κατά τη διάρκεια της κίνησης και ρυθμίζουν την αντίσταση του γονάτου αντίστοιχα.



Εικόνα 11. Προσθετικό γόνατο C-leg της Otto Bock

1.5 Η προσθετική σήμερα

Στην σημερινή εποχή τα προσθετικά άκρα χρησιμοποιούν πολύ πιο ελαφριά και ανθεκτικά υλικά, όπως συνθέσεις από εξειδικευμένα πλαστικά και ανθρακόνημα. Το αποτέλεσμα είναι ένα συνολικά πιο ελαφρύ, ευέλικτο και στιβαρό προσθετικό μέλος, το οποίο παράλληλα προσεγγίζει καλύτερα την όψη ενός φυσικού άκρου. Η τεχνολογία είναι ακμάζουσα καθώς παρατηρείται αισθητή διαφορά στο βάρος ενός προσθετικού σε σύγκριση με το ίδιο πριν από 5 με 10 χρόνια. Σημαντικό προσόν αποτελεί και η ύπαρξη της αυτοματοποίησης στα προσθετικά άκρα καθώς είναι ικανά να προσαρμόζονται αυτόματα στις ανάγκες καθημερινών δραστηριοτήτων, όπως είναι η λαβή του χεριού.

Τα σύγχρονα προσθετικά άκρα μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες :

- Κοσμητικά

Περιορισμένης ικανότητας, παράλληλα όμως φθηνότερα σε κόστος παραγωγής. Προτιμώνται από άτομα που βασίζονται στα υπόλοιπα άκρα τους για τις καθημερινές τους δραστηριότητες καθώς μπορούν να πιάσουν παθητικά μόνο ελαφριά αντικείμενα.

- Χειριζόμενα από το σώμα

Με την χρήση μηχανισμών, συγγενικές ομάδες μυών έχουν την ικανότητα να κουνήσουν το προσθετικό άκρο. Παρόλο που δίνουν μια καλή ελευθερία κίνησης και αίσθηση φυσικότητας, μπορούν να πραγματοποιήσουν μια κίνηση την φορά και μπορούν να προκαλέσουν κόπωση στο άτομο αρκετά σύντομα κατά την χρήση τους.

- Μυοηλεκτρικά



*Εικόνα 12: Bebionic Hand EQD,
μυοηλεκτρικό προσθετικό χέρι της
Ottobock*

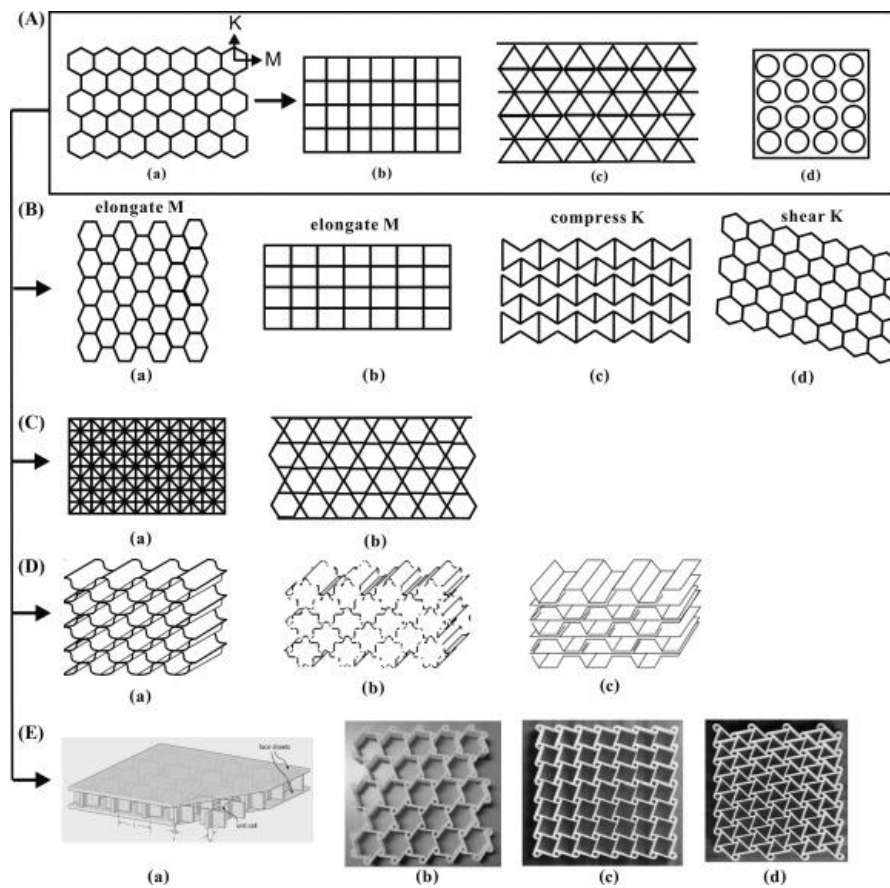
Τα άκρα αυτά χρησιμοποιούν βιονική τεχνολογία. Λαμβάνουν ασθενή ηλεκτρικά σήματα από τους εναπομείναντες μυς του ακρωτηριασμένου άκρου και με την χρήση μίας επαναφορτιζόμενης μπαταρίας ενισχύουν αυτά τα σήματα και τα χρησιμοποιούν για να τροφοδοτήσουν τα μοτέρ που χειρίζονται την κίνηση του προσθετικού άκρου.

Χρησιμοποιούνται κυρίως για άνω προσθετικά άκρα και αποτελούν την τελευταία λέξη της τεχνολογίας στην προσθετική. Η χρήση τους επιτρέπει μεγάλη ελευθερία κινήσεων και ξεκούραση στο άτομο καθώς δεν χρειάζεται ιδιαίτερη κίνηση από αυτόν για την χρήση τους. Αντίστοιχα το κόστος τους είναι μεγάλο και σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες προσθετικών είναι πιο βαριά.

2. Θεωρία Κυψελωτής Δομής

2.1 Ορισμός

Κυψελωτή δομή ορίζεται μια σειρά από ανοιχτές κυψελίδες, σχηματισμένες από πολύ λεπτά φύλλα ενός υλικού, τα οποία είναι προσκολλημένα μεταξύ τους. Η κυψελίδες αυτές είναι συνήθως σε σχήμα εξάγωνου, όμως υπάρχει πληθώρα άλλων πιθανών σχημάτων.



Εικόνα 13: Περιοδικές κυψέλες με διαφορετικά σχήματα κυψελίδων. (A-a) Κανονική εξαγωνική κυψελίδα, (A-b) τετραγωνική κυψελίδα, (A-c) τριγωνική κυψελίδα, (A-d) κυψελίδα στήλης, (B-a) κυψελίδα OX, (B-b) ορθογωνική κυψελίδα, (B-c) εισέχουσα εξαγωνική κυψελίδα, (B-d) Ασυμμετρική κυψελίδα, (C-a) τετραγωνική υπερκυψελίδα κατασκευασμένη από μείγμα τετραγώνων και τριγώνων, (C-b) κυψελίδα Kagome, (D-a) flex-core κυψελίδα, (D-b) double-flex κυψελίδα, (D-c) ενισχυμένη εξαγωνική κυψελίδα (E-a) αποκομμένη τετραγωνική κυψελίδα, (E-b) τριχειρόμορφη κυψελίδα (E-c) τετραχειρόμορφη κυψελίδα (E-d) εξαχειρόμορφη κυψελίδα. Το K και το M υποδηλώνουν δύο τυχαίους διανυσματικούς άξονες στο χώρο.

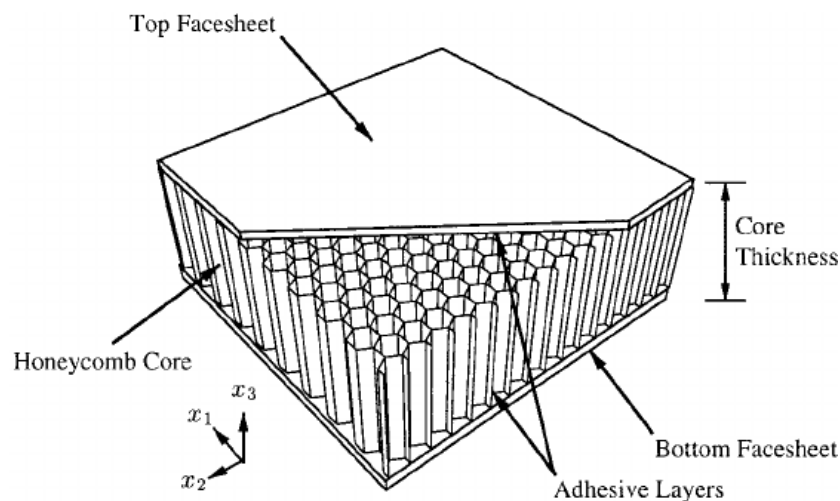


Εικόνα 14: Κυψέλη μέλισσας

Οι κυψελωτές δομές έχουν εμπνευστεί από τις κυψέλες των μελισσών, από όπου και παίρνουν το όνομα τους. Μπορούν να δημιουργηθούν από οποιοδήποτε λεπτό και επίπεδο υλικό, και στο παρελθόν έχουν δημιουργηθεί πάνω από 500 διαφορετικά είδη κυψελωτών δομών. Η πρώτη εφαρμογή κυψελωτής δομής έγινε από τους κινέζους

πριν από περίπου 2 χιλιετίες, για την δημιουργία χάρτινων στολιδιών.

Σε κατασκευές προτιμάται γενικά η εφαρμογή της κυψελωτής δομής σε μορφή sandwich. Η τεχνική ονομασία είναι σάντουιτς πάνελ κερήθρας (Honeycomb core sandwich panel) και δημιουργείται προσκολλώντας 2 λεπτά και άκαμπτα φύλλα με ένα πυρήνα κυψελωτής δομής χαμηλής πυκνότητας, λιγότερης αντοχής και ακαμψίας. Εναλλάσσοντας τις διάφορες μεταβλητές, όπως είναι το πάχος και το υλικό των 2 φύλλων και τα χαρακτηριστικά της εσωτερικής κυψελωτής δομής, είναι δυνατό να επιτευχθούν διάφορες ιδιότητες και επιδόσεις, όπως υψηλή αναλογία δύναμης προς βάρους.



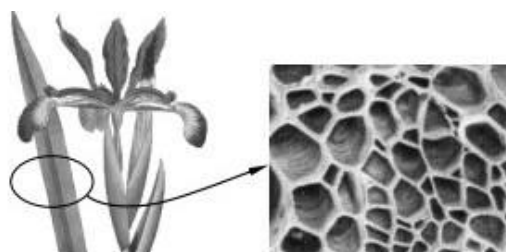
Εικόνα 15: Honeycomb core sandwich panel (πάνελ κερήθρας)

2.2 Ιστορική αναδρομή της κυψελωτής δομής

2.2.1 Κυψελωτή δομή στη φύση

Η κυψελωτή δομή εμφανίζεται αποδεδειγμένα από την αρχαιότητα στην κυτταρική δομή της φύσης. Ανακαλύψεις έχουν δείξει πως η κυψελωτή δομή σε μορφή σάντουιτς υπάρχει στην μικροδομή της φύσης σαν βασική αρχή λόγω της αποτελεσματικότητας της σε σχέση με την εφαρμογή ελάχιστου βάρους.

Πριν από 500 – 10 εκατομμύρια χρόνια έχει παρατηρηθεί ύπαρξη κυψελωτής δομής σε φυτά, όπως στην διατομή ενός φύλλου κρίνου, στην διατομή φτερών από πτηνά, πράγμα το οποίο βοηθάει και στην πτήση τους, καθώς και στις διατομές κρανίων από θηλαστικά. Συγκεκριμένα, στο ηθμοειδές του κρανίου, στα κροταφικά οστά και στην σπογγώδη περιοχή της άνω γνάθου, όπου βρίσκεται μυελός, έχουν χαρακτηριστικά κυψελωτής δομής.



Εικόνα 16: Διατομή φύλλου ενός κρίνου



Η φυσική κερήθρα της μέλισσας, η οποία χρονολογείται περίπου 50 εκατομμύρια χρόνια πριν, είναι δομικά βέλτιστη όσο αφορά την χρήση υλικού, κάτι το οποίο οφείλεται στην πυκνή εξαγωνική και κυλινδρική δομή της και την ελαχιστοποίηση της επιφανειακής ενέργειας.

Εικόνα 17: Κερήθρα

2.2.2 Σημαντικά πρόσωπα για την εξέλιξη της κυψελωτής δομής



Εικόνα 18: Αρχιμήδης (287 - 212 π.Χ.)

Υπάρχουν αναφορές από τον Διόδωρο Σικελιώτη (90 – 20 π.Χ.) πως ο Δαίδαλος, εφευρέτης της αρχαίας Ελλάδας, είχε δημιουργήσει μια κηρήθρα από χρυσό χρησιμοποιώντας ένα καλούπι από κερί. Η σημαντική όμως φιγούρα της Αρχαίας Ελλάδος για την ανάπτυξη της κυψελωτής δομής φαίνεται να ήταν ο Αρχιμήδης (287 –

212 π.Χ.). Ο Αρχιμήδης το 230 π.Χ. θέτει τα θεμέλια για τις μηχανικές επιστήμες και ανακαλύπτει τον κανόνα του μοχλού, ο οποίος αποτέλεσε ένα πρώτο βήμα στην κατανόηση της αποτελεσματικότητας των δομών σάντουιτς.

Ο Ιταλός επιστήμονας Γαλιλαίος Γαλιλέι το 1638 μ.Χ., ερευνώντας την κάμψη των υλικών επισήμανε την ανώτερη καμπτική ιδιότητα που έχουν οι κούφιοι σωλήνες σε σχέση με τους συμπαγείς. Μάλιστα έκανε αναφορά σε παραδείγματα της φύσης όπου παρατηρείται αυξημένη ανθεκτικότητα χωρίς την πρόσθεση υλικού.

Το 1665 μ.Χ. ο Άγγλος φυσικός και αρχιτέκτονας Robert Hooke ανακάλυψε ότι η κυτταρική δομή του φελλού είναι παρόμοια με αυτήν της εξαγωνικής κηρήθρας.

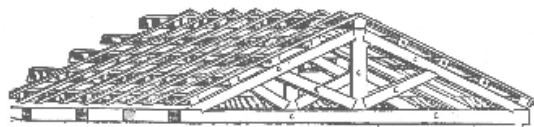
Ο όρος sandwich χρησιμοποιήθηκε στις ατμομηχανές στις αρχές του 19^{ου} αιώνα για να περιγράψει μια δομή όπου ένας ξύλινος πυρήνας περιτριγυρίζεται από τον σιδερένιο σκελετό της μηχανής. Η συγκεκριμένη πατέντα ανήκει στον Άγγλο Robert Stephenson την οποία και κατοχύρωσε το 1833. Την χρησιμοποίησε στην ατμάμαξα που έφτιαξε και ονόμασε “Planet”.

Ο Octave Chanute το 1894, άνοιξε τον δρόμο για την σημερινή αεροναυπηγική εφαρμόζοντας την δομή sandwich με ξύλινους στύλους και διαγώνια σύρματα ενδιάμεσα από αυτούς. Ο ίδιος δεν κατοχύρωσε ποτέ την πατέντα του, όμως

μοίρασε την γνώση του με την ελπίδα της δημιουργίας του πρώτου μέσου αερομεταφοράς του ανθρώπου, κάτι το οποίο θα μείωνε την απόσταση μεταξύ των πολιτισμών και θα βοηθούσε στην περαιτέρω ανάπτυξη της ανθρωπότητας. Το 1915 ο Γερμανός σχεδιαστής αεροσκαφών Hugo Junkers κατοχυρώνει την πρώτη πατέντα για σάντουιτς πάνελ κερήθρας σε αεροσκάφος. Συγκεκριμένα ισχυρίστηκε ότι με την χρήση τετράγωνων, ορθογώνιων, τριγωνικών η εξαγωνικών κούφιων σωμάτων μπορούν να υποστηριχθούν φύλλα μετάλλου πάνω σε ένα αεροσκάφος. Το σκάφος του F13 είναι γνωστό ως το πρωτότυπο για τα σύγχρονα πολιτικά αεροσκάφη.

2.2.3 Η κυψελωτή δομή σε κατασκευές

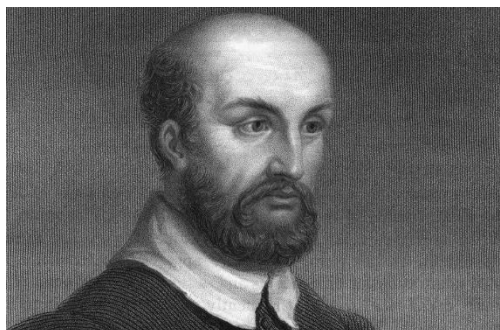
Η κυψελωτή δομή φαίνεται να χρησιμοποιείται σε κατασκευές από τα αρχαία χρόνια έως και σήμερα επί το πλείστον στη μορφή της τριγωνικής κυψελίδας. Καλύπτει τομείς όπως η αρχιτεκτονική, η δόμηση πόλεως, ακόμα και η αεροναυπηγική. Μια πρώτη εφαρμογή φαίνεται να είναι τα ζευκτά, τα οποία χρονολογούνται γύρω στο 2500 π.Χ. , τα πρώτα χρόνια της εποχής του χαλκού, τα οποία χρησιμοποιούνταν σαν μια πρωτόγονη λύση για την ανύψωση των κτηρίων στις όχθες των ποταμών. Στην Αρχαία Ελλάδα χρησιμοποιούσαν τα ζευκτά κυρίως για την δημιουργία στεγών φτιαγμένων από ξύλο.



Εικόνα 19: Παράδειγμα στέγης με ζευκτό

Μια αξιοσημείωτη εφαρμογή της πρακτικής της αραιής κατασκευής στα πρώτα χρόνια μ.Χ., συγκεκριμένα το 105 μ.Χ., είναι η γέφυρα του Τραϊανού, η οποία εκτεινόταν πάνω από τον Δούναβη και ήταν η πρώτη του είδους της. Είχε μήκος 1.135 μέτρων και ήταν φτιαγμένη από ξύλο και πέτρα. Κατασκευαστής της ήταν ο

Απολλόδωρος ο Δαμασκηνός και αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της Ρωμαϊκής αρχιτεκτονικής.



Εικόνα 20: Ιταλός αρχιτέκτονας Andrea Palladio (1508-1580 μ.Χ.)

Στα τέλη του 16^{ου} αιώνα, ο Ιταλός αρχιτέκτονας Andrea Palladio θεωρείται ο εφευρέτης της εφαρμογής της τεχνολογίας του ζευκτού στην κατασκευή γεφυρών καθώς και των διαφόρων παραλλαγών του με κυρίαρχο σχήμα το τρίγωνο. Οι παραλλαγές αυτές καθορίζονται από την τοποθέτηση του βασικού πυρήνα και βασικό υλικό τους ήταν το ξύλο.



Εικόνα 21: Τμήμα της γέφυρας Britannia όπως και στα πάνελ σάντουιτς, η χρήση του ελάχιστου δυνατού υλικού με την βέλτιστη μηχανική ιδιότητα. Η αρχική ιδέα ήταν τα τρένα να περνάνε πάνω από την γέφυρα, όμως μετά από πειραματισμό και έχοντας φτάσει σε ένα τελικό πρότυπο προϊόν, ο βέλτιστος τρόπος διέλευσης των τρένων ήταν εντός των σωληνοειδών γεφυρών. Οι δύο αυτές γέφυρες αποδείχτηκαν πολύ σημαντικές για τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα στην κατασκευή σύγχρονων γεφυρών.

2.3 Πλεονεκτήματα στην χρήση κυψελωτών δομών

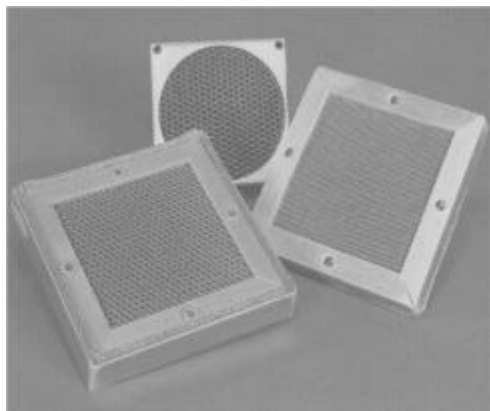
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το κύριο προνόμιο της χρήσης κυψελωτών δομών, συγκεκριμένα των πάνελ σάντουιτς, είναι η ελαχιστοποίηση στην χρήση υλικού και κατ' επέκταση των εξόδων κατασκευής. Υπάρχουν όμως επιπλέον πλεονεκτήματα στην χρήση των κυψελωτών δομών, όπως:

- Αξιοσημείωτη αναλογία δύναμης προς βάρους
- Αντοχή σε διάβρωση
- Υψηλή ανθεκτικότητα
- Αντοχή σε φωτιά και μύκητες καθώς και η ικανότητα επίδοσης σε υψηλές θερμοκρασίες
- Αδυναμία απορρόφησης υγρασίας
- Εύκολες στην κατεργασία και διαμορφώσιμες

Οι παραπάνω ιδιότητες κάνουν την χρήση των δομών σάντουιτς ευρέως γνωστές και αναγκαίες σε πολλούς κλάδους της σημερινής αγοράς, είτε σε μικρή είτε σε μεγάλη κλίμακα. Παρακάτω αναλύονται κάποιοι από τους τομείς που χρησιμοποιούν αυτή την τεχνοτροπία σήμερα.

2.4 Χρήση κυψελωτών δομών στην σύγχρονη τεχνολογία

Θωράκιση από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές



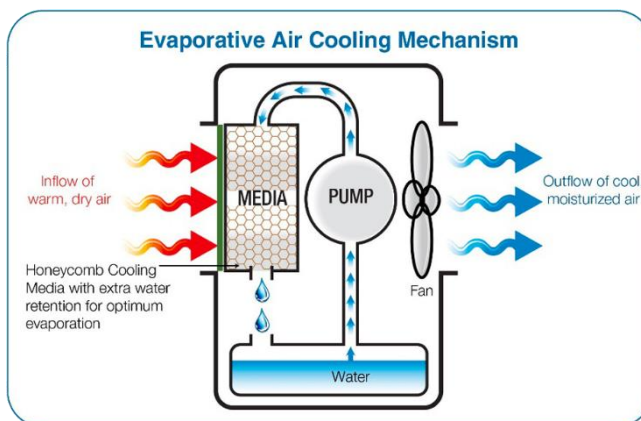
Σε συστήματα θωράκισης από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές όπου τα κουτιά είναι ερμητικά κλειστά, χρειάζεται να υπάρχει μια διέξοδος για εξαερισμό. Για την λύση αυτού του προβλήματος προτιμάται συχνά η χρήση πάνελ εξαερισμού με κυψελίδες (Honeycomb air vent panels).

Εικόνα 22: Πάνελ εξαερισμού με κυψελίδες

Η αποτελεσματικότητα τους στην μείωση των παρεμβολών είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με την χρήση ενός πλέγματος από τρύπες και είναι ανάλογη με το μέγεθος των κυψελών. Παρομοίως ανάλογο είναι το επίπεδο εξαερισμού.

Συστήματα ψύξης

Ένα άλλο παράδειγμα χρήσης της κυψελωτής δομής είναι σε συστήματα ψύξης. Για παράδειγμα στα κλιματιστικά νερού. Με την χρήση ενός φίλτρου κυψελωτής δομής επιτυγχάνεται η μεταφορά κρύου αέρα σε ένα χώρο. Συγκεκριμένα ο ζεστός αέρας περνάει μέσα από ένα υγρό φίλτρο κυψελωτής δομής φτιαγμένο από κυτταρίνη, το οποίο απορροφά την θερμότητα του αέρα με αποτέλεσμα το νερό να εξατμίζεται. Ο δροσερός υδρατμός που δημιουργείται εξαπλώνεται στον χώρο μέσω ενός ανεμιστήρα. Έτσι, μέσω ενός συστήματος ανατροφοδότησης πραγματοποιείται η ψύξη του χώρου.

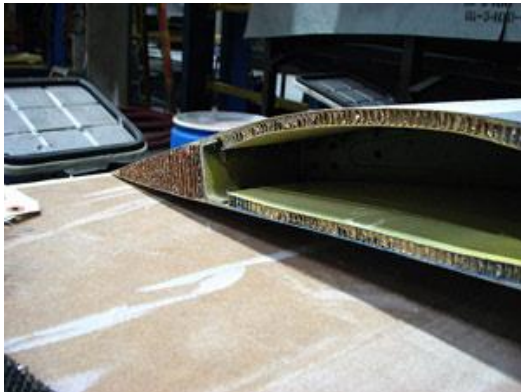


Εικόνα 23: Τρόπος λειτουργίας κλιματιστικού νερού

Αυτοκινητοβιομηχανία

Κυψελωτές δομές από αλουμίνιο χρησιμοποιούνται και στην σχεδίαση αυτοκινήτων. Σε πολλά μέρη ενός αυτοκινήτου, όπως είναι το πάτωμα, η αεροτομή ή γενικότερα στο σασί, χρησιμοποιείται η τεχνολογία της κυψελωτής δομής για την εξοικονόμηση υλικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του συνολικού βάρους το οποίο συνεπάγεται την εξοικονόμηση καυσίμου αλλά και την αύξηση των επιδόσεων. Παράλληλα δεν υπάρχει μείωση στην αντοχή του σκελετού του αυτοκινήτου. Εφαρμογή της κυψελωτής δομής από αλουμίνιο έχει γίνει και στο σασί φόρμουλας αλλά και σε στρατιωτικά οχήματα.

Αεροναυπηγική



Εικόνα 24: Τομή φτερού Boeing 747

αεροσκαφών να βασίζονται σε αυτή. Σήμερα κάθε αεροπλάνο παγκοσμίως έχει κάποιο μέρος το οποίο είναι φτιαγμένο από πυρήνες κυψελωτής δομής. Η αποτελεσματικότητα της χρήσης κυψελωτών δομών στην μείωση του συνολικού βάρους και οι αναλογίες όσο αφορά τις μηχανικές ιδιότητες είναι αξεπέραστες από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία. Η κυψελωτή δομή έχει βρει παράλληλα χρήση και σε ελικόπτερα αλλά και σε τομείς του διαστήματος. Για παράδειγμα, οι αντίξοες συνθήκες που καλείται να αντιμετωπίσει ένας δορυφόρος στο διάστημα, όπως οι ακραίες αλλαγές θερμοκρασίας, καθιστούν την χρήση κυψελωτών δομών απαραίτητη για να φέρουν εις πέρας τον σκοπό τους.

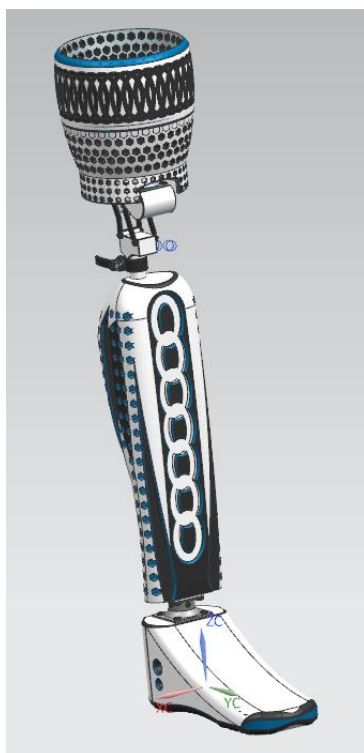
Η εφαρμογή των πυρήνων κυψελωτής δομής σε αεροσκάφη ξεκίνησε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Το αποτέλεσμα ήταν η σημαντική μείωση του βάρους των αεροσκαφών και η αύξηση της διάρκειας της πτήσης. Η τεχνοτροπία αυτή αποτελεί βασική αρχή στην κατασκευή αεροσκαφών από την δεκαετία του 1950, με αποτέλεσμα στην αρχή του 21^{ου} αιώνα η πλειονότητα των πολιτικών αλλά και των στρατιωτικών

3. Σχεδιασμός προσθετικού ποδιού στο περιβάλλον NX Siemens

3.1 Εισαγωγή στην σχεδίαση προσθετικού ποδιού

3.1.1 Ανάλυση του τρόπου σχεδιασμού του προσθετικού ποδιού

Συνδυάζοντας το στοιχείο της κυψελωτής δομής αναλύονται παρακάτω τα βήματα για την σχεδίαση ενός προσθετικού ποδιού πάνω από το γόνατο με κυψελωτή δομή. Στόχος είναι η μείωση του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί διατηρώντας παράλληλα την επιθυμητή μηχανική ιδιότητα. Ο σχεδιασμός έγινε στο πρόγραμμα CAM/CAD NX της Siemens , όπου σχεδιάστηκαν τα επιμέρους μέλη προς συναρμολόγηση και έγινε και η προσομοίωση της κίνησης του τελικού σχεδίου, δηλαδή του προσθετικού ποδιού. Η συναρμολόγηση έγινε από κάτω προς τα πάνω (Bottom-Top). Παρακάτω αναλύεται η σχεδίαση του κάθε μέλους, τα επιμέρους sub-assemblies, το τελικό assembly και το motion simulation για το προσθετικό πόδι.

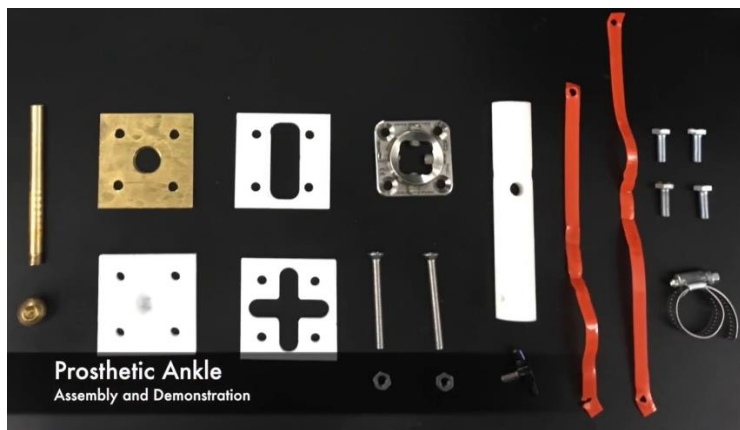


Εικόνα 25: Το τελικό αποτέλεσμα της σχεδίασης και της συναρμολόγησης του προσθετικού ποδιού

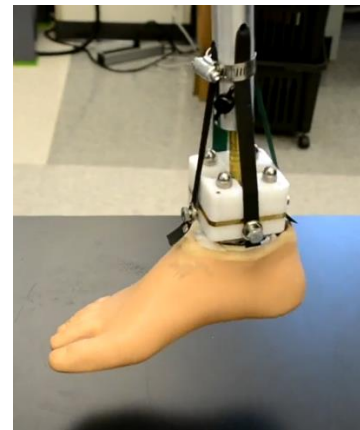
3.1.2 Τρόπος λειτουργίας του μηχανικού ποδιού και πηγή έμπνευσης του σχεδίου

3.1.2.1 Μοντελοποίηση και λειτουργία του αστραγάλου

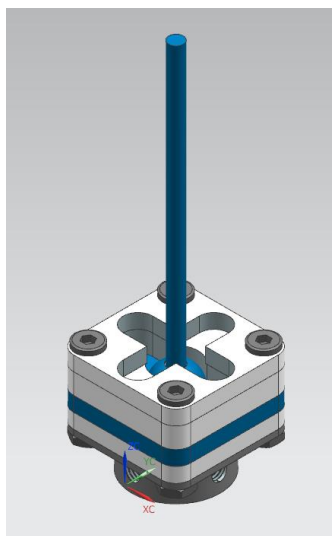
Η κίνηση του προσθετικού ποδιού στηρίζεται στις αρθρώσεις του γονάτου και του αστραγάλου. Για τον αστράγαλο η πηγή έμπνευσης είναι το μοντέλο “Multi-Axis Prosthetic (MAP) Ankle” από το ίδρυμα “Weldon School of Biomedical Engineering”.



Εικόνα 26: Μέρη του πρωτότυπου (MAP) Ankle



Εικόνα 27: Assembly του (MAP) Ankle με προσθετικό πόδι



Εικόνα 2814: Μοντέλο αστραγάλου

Ο τρόπος λειτουργίας του αστραγάλου έχει ως εξής: Ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω, η βάση που φαίνεται και στην εικόνα ενώνει τον μηχανισμό του αστραγάλου με το πόδι και κινούνται ως μια ενιαία μονάδα. Οι 4 πλάκες από πάνω συγκρατούν και οδηγούν τον βασικό μηχανισμό μετάδοσης κίνησης του αστραγάλου που είναι η ράβδος που φαίνεται στην εικόνα, η οποία καταλήγει στην μια της άκρη σε μια σφαίρα για να προσομοιώσει την κίνηση ενός κανονικού αστραγάλου και στην άλλη άκρη καταλήγει σε μια εσοχή του καλαμιού του προσθετικού ποδιού για να μεταφερθεί η κίνηση.

3.1.2.2 Μοντελοποίηση του προσθετικού ποδιού



Πηγή έμπνευσης για την σχεδίαση του ποδιού, του καλαμιού και του μηρού αποτελεί η εικόνα που φαίνεται δίπλα. Εφαρμόζοντας την έννοια της κυψελωτής δομής και με μερικές περαιτέρω αλλαγές έχουμε το τελικό αποτέλεσμα, που φαίνεται και στο κεφάλαιο 3.1.1. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το πόδι συνδέεται με τον μηχανισμό του αστραγάλου και ο μηχανισμός του αστραγάλου συνδέεται με το καλάμι. Στην συνέχεια το καλάμι συνδέεται με τον μηχανισμό του γονάτου με την βοήθεια ενός ακόμα εξαρτήματος και ο μηχανισμός του γονάτου συνδέεται με τον μηρό.

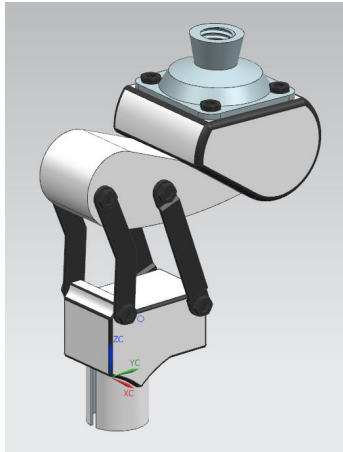
Εικόνα 29: Έμπνευση για την μοντελοποίηση του προσθετικού ποδιού

3.1.2.3 Μοντελοποίηση του γονάτου

Για τον μηχανισμό του γονάτου πηγή έμπνευσης είναι το μοντέλο “proto 1” της “Indian Institute of Technologies – Madras”.



Εικόνα 30: Έμπνευση για την μοντελοποίηση του προσθετικού ποδιού



Εικόνα 31: Μοντέλο γονάτου

Ο μηχανισμός έχει στην βάση του μία εσοχή με την οποία συνδέεται το καλάμι με το γόνατο. Στην συνέχεια μέσω 4 συνδέσμων μεταδίδεται η κίνηση ουσιαστικά από τον μηρό, που είναι συνδεδεμένος στην κορυφή του μηχανισμού στο γόνατο, και κατ' επέκταση στο υπόλοιπο προσθετικό πόδι.

3.1.2.4 Μοντελοποίηση του Quick release clamp

Για να στηριχθεί σωστά ο μηχανισμός του γονάτου πάνω στο καλάμι χρησιμοποιούμε ένα ακόμα εξάρτημα, το Quick release clamp το οποίο είναι εμπνευσμένο από το παραδοσιακό μπλοκάζ της σέλας ενός ποδηλάτου.



Εικόνα 32: Έμπνευση για το μοντέλο του Quick Release clamp

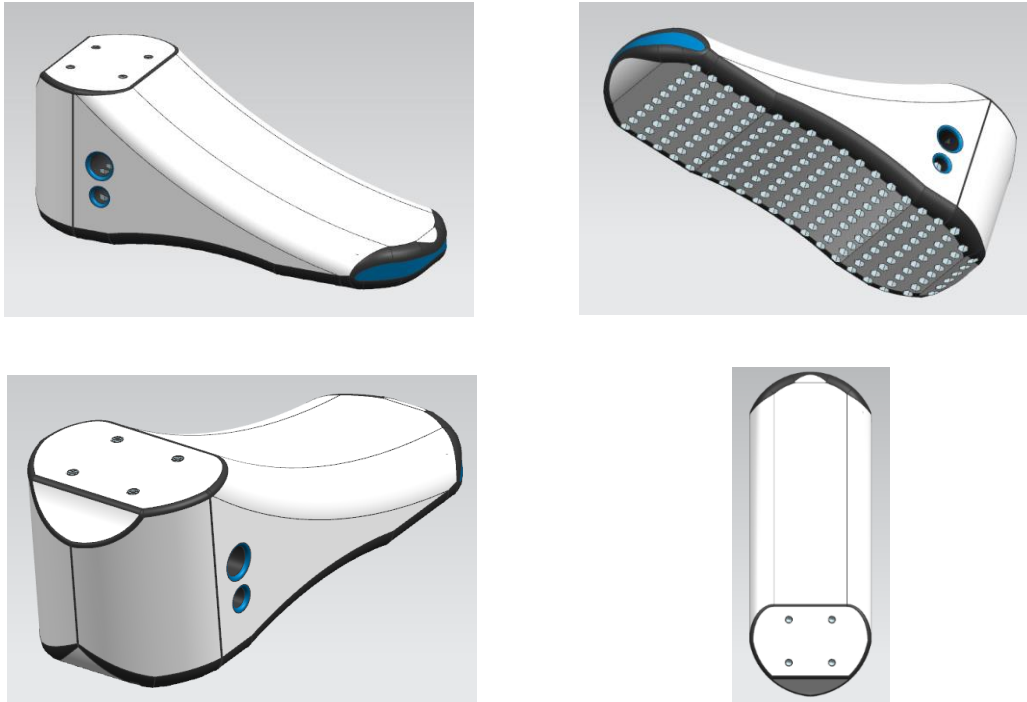


Εικόνα 33: Μοντέλο Quick release clamp

Ο μηχανισμός του Quick release clamp εφαρμόζει πάνω στην βάση του μηχανισμού του γονάτου ο οποίος στηρίζεται σε ένα εξόγκωμα που έχει σχεδιαστεί στο καλάμι. Σκοπός του είναι η σταθερότητα της σύνδεσης μεταξύ των δύο μερών.

3.2 Σχεδιασμός κύριων μερών

3.2.1 Σχεδιασμός ποδιού



Εικόνα 34: Τεμάχιο Ποδιού

Κύριες Διαστάσεις :

Ύψος : 10 cm

Πλάτος : 10 cm

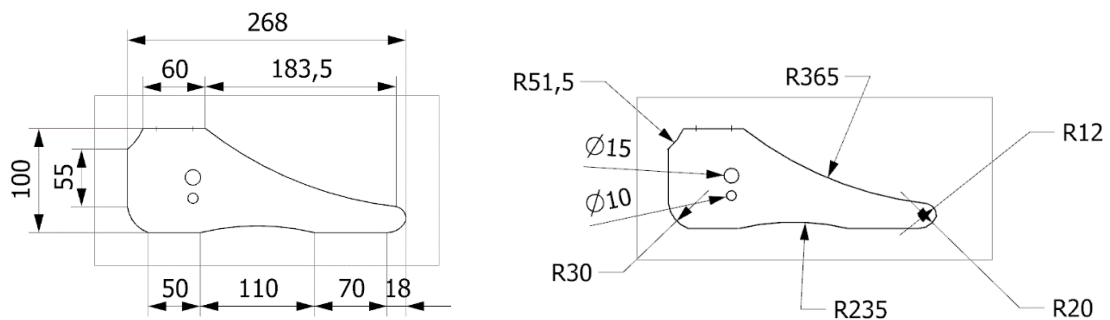
Μήκος : 26,7 cm (Νούμερο 43)

Ο σχεδιασμός του ποδιού χωρίζεται σε 4 στάδια :

- 1) Σχεδιασμός του βασικού περιγράμματος για Extrude
- 2) Σχεδιασμός περιγράμματος κάτοψης για Extrude / Subtract
- 3) Εφαρμογή κυψελωτής δομής
- 4) Αποπεράτωση - Τελειώματα

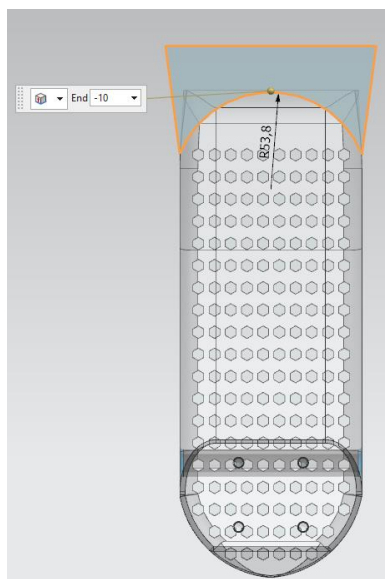
1) Σχεδιασμός του βασικού περιγράμματος για Extrude

Σχεδιάζουμε το παραπάνω περίγραμμα με τις παραμέτρους που φαίνονται παρακάτω, χρησιμοποιώντας γραμμές (Line), τόξα (Arc) και κύκλους (Circle). Κάνουμε αρχικά Extrude κατά 10cm χωρίς να συμπεριλάβουμε τους κύκλους. Παίρνουμε έτσι την αρχική γεωμετρία του ποδιού.



Εικόνα 35: Διαστασιολόγηση Ποδιού (mm)

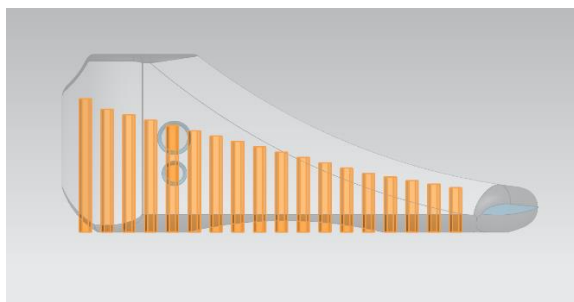
2) Σχεδιασμός περιγράμματος κάτοψης για Extrude / Subtract



Σχεδιάζουμε το περίγραμμα κάτοψης, όπως φαίνεται στην εικόνα, και κάνουμε Extrude με Subtract από την αρχική γεωμετρία επιλέγοντας το πάνω τραπέζιο και τα δύο τρίγωνα χαμηλά. Δημιουργούμε έτσι μια αρχική καμπυλότητα. Τοποθετούμε παράλληλα και τα εξάγωνα που θα χρησιμοποιήσουμε στην πορεία για την εφαρμογή της κυψελωτής δομής, καθώς και τα σημεία (Point) που θα γίνουν οι οπές.

Εικόνα 36: Extrude κάτοψης

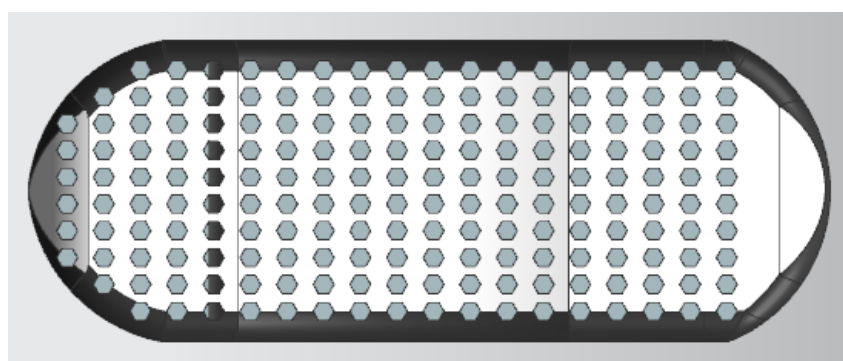
3) Εφαρμογή κυψελωτής δομής



Εικόνα 37: Εφαρμογή κυψελωτής δομής στο πόδι

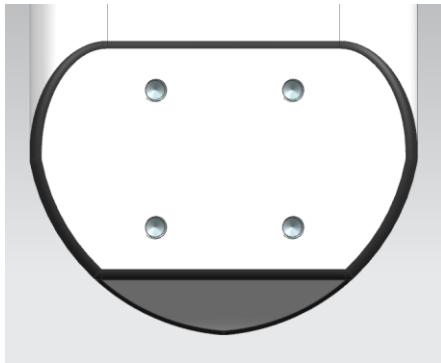
Εισάγουμε την έννοια της κυψελωτής δομής με διαδοχικά Extrude με Subtract από την πατούσα προς τα πάνω. Σχεδιάζουμε ένα εξάγωνο χαμηλά στην φτέρνα του ποδιού και δυο ακόμα διαγωνίως. Στο τελευταίο χρησιμοποιούμε το Pattern Feature για

να δημιουργίσουμε μια σειρά από εξάγωνα κατά μήκος της πατούσας. Κάνουμε Extrude στα προαναφερθέντα εξάγωνα. Χάρη στην γεωμετρία του ποδιού, τα Extrude αυτά γίνονται με αυξανόμενο βάθος, ξεκινώντας από την μύτη και καταλήγοντας στην φτέρνα. Συγκεκριμένα το Extrude της πρώτης σειράς έχει βάθος 2,3cm. Τα Extrude στις επόμενες 5 σειρές αυξάνουν κατά 0,2cm το βάθος, στις επόμενες 12 κατά 0,3cm, και στην τελευταία σειρά αυξάνουμε το βάθος κατά 0,6cm, καταλήγοντας σε βάθος 7,5cm. Κάνουμε διαδοχικά ένα Extrude για κάθε γραμμή που θα δημιουργήσουμε. Ξανά με Pattern Feature, αυτή τη φορά στα Extrude, αφαιρούμε υλικό κατά μήκος όλου του ποδιού.



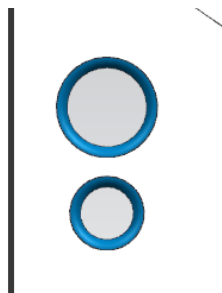
Εικόνα 38: Εφαρμογή κυψελωτής δομής στο πόδι (άνω όψη)

4) Αποπεράτωση - Τελειώματα

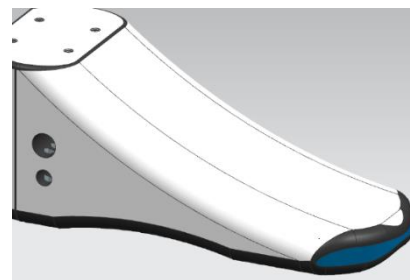


Στο πόδι χρησιμοποιούμε κάποια Edge Blend για να του δώσουμε μια χρηστική καμπυλότητα και κάποια άλλα για την καλαισθησία του τεμαχίου. Έχει σημασία τα Edge Blend που συμπίπτουν να τα κάνουμε με συγκεκριμένη σειρά. Αρχίζουμε με τα Edge Blend καλαισθησίας, τα οποία γίνονται στις πλάγιες οπές και στην βάση του ποδιού.

Εικόνα 39: Οπές και σπειρώματα στο πόδι, Edge Blend βάσης

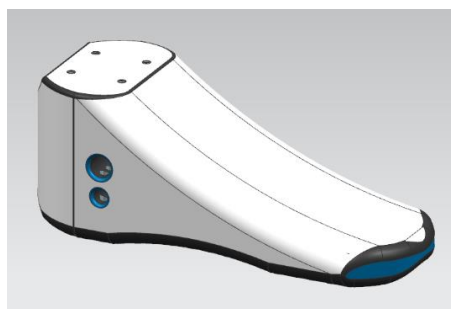


Εικόνα 40: Edge Blend πλάγιων οπών



Εικόνα 41: Edge Blend γέφυρας ποδιού

Στην συνέχεια κάνουμε τα Edge Blend που θα δώσουν την καμπυλότητα του ποδιού στο τεμάχιο. Πρώτα κάνουμε στην γέφυρα του ποδιού, μετά στην περίμετρο της πατούσας και τέλος στην μύτη. Τέλος, με την εντολή Assign Feature Color αλλάζουμε το χρώμα σε κάθε χαρακτηριστικό.



Εικόνα 42: Τελικό αποτέλεσμα

3.2.2 Σχεδιασμός καλαμιού



Κύριες Διαστάσεις :
Ύψος : 39,85 cm
Πλάτος : 10 cm
Μήκος : 11,05 cm

Ο σχεδιασμός του καλαμιού χωρίζεται σε 5 στάδια :

- 1) Σχεδιασμός του βασικού περιγράμματος για Extrude και Edge Blends
- 2) Σχεδιασμός γεωμετρίας πρόσοψης, Extrude με Subtract και Edge Blends
- 3) Extrude με Subtract πλάγιας όψης και Edge Blend
- 4) Εφαρμογή Κυψελωτής δομής
- 5) Σχεδιασμός γεωμετρίας άνω όψης, Extrude με Subtract και Assigning Feature Colors

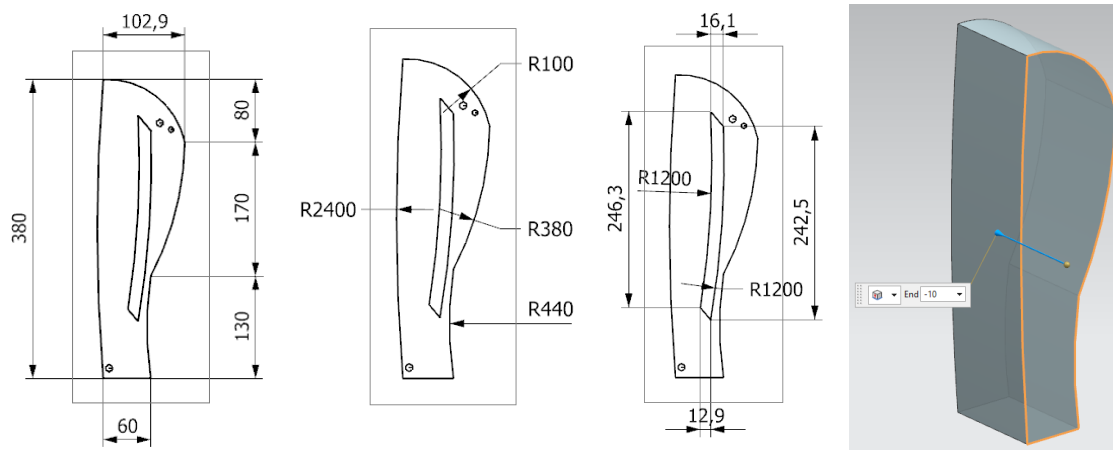
Εικόνα 43: Τεμάχιο καλαμιού

1) Σχεδιασμός του βασικού περιγράμματος για Extrude και Edge Blends



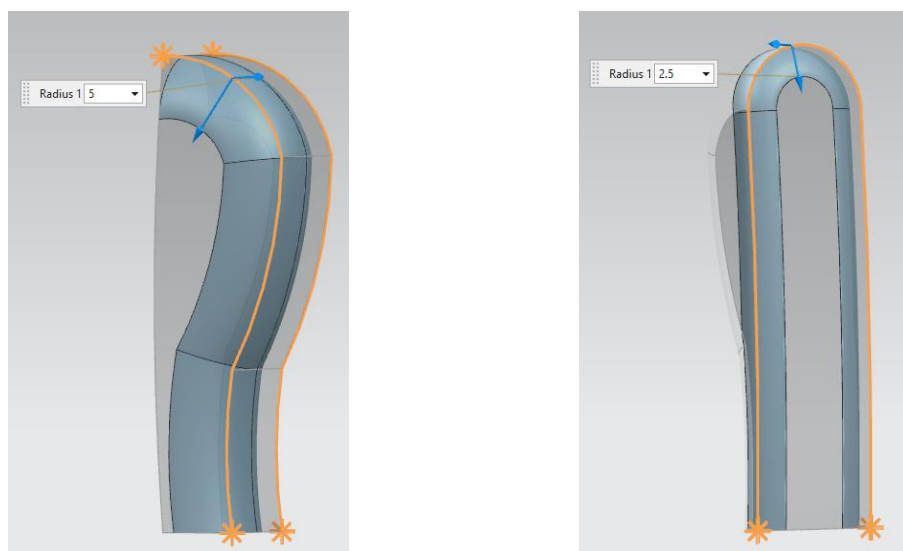
Σχεδιάζουμε το περίγραμμα με τις παραμέτρους που φαίνονται παρακάτω, χρησιμοποιώντας γραμμές (Line) και τόξα (Arc). Κάνουμε αρχικά Extrude κατά 10cm χωρίς να συμπεριλάβουμε το εσωτερικό τραπέζιο. Παράλληλα σχεδιάζουμε και τα εξάγωνα για την εφαρμογή της κυψελωτής δομής. Παίρνουμε έτσι την αρχική γεωμετρία του ποδιού.

Εικόνα 44: Περίγραμμα βασικής γεωμετρίας



Εικόνα 45: Διαστασιολόγηση βασικής γεωμετρίας καλαμιού, Extrude βασικής γεωμετρίας

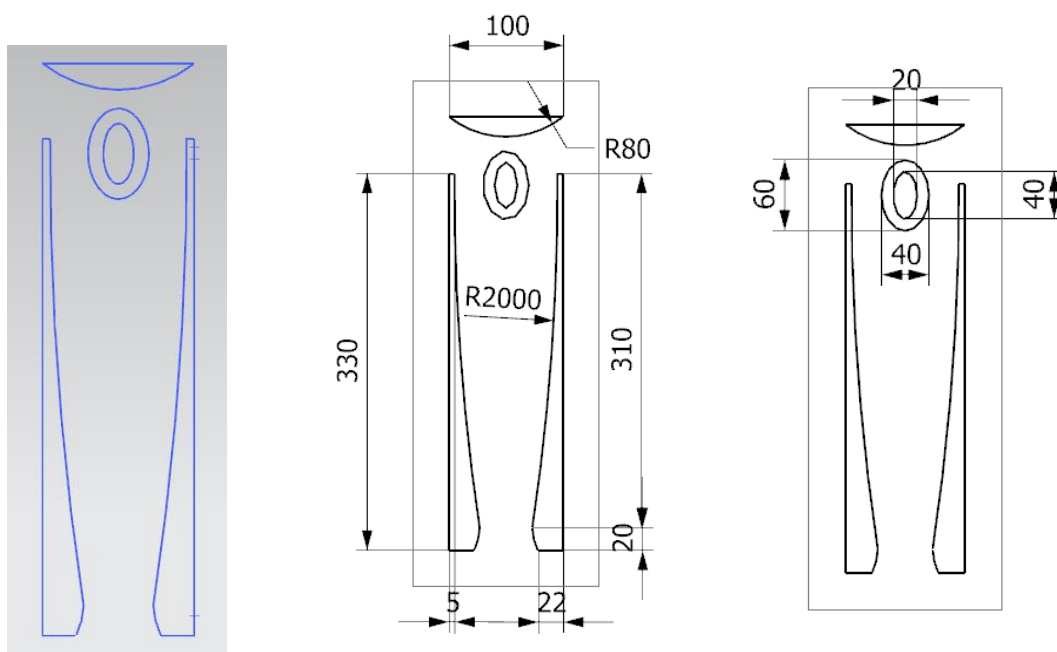
Για να δώσουμε την καμπυλότητα ενός κανονικού ποδιού στο τεμάχιο κάνουμε Edge Blend πρώτα στο πίσω μέρος και μετά στο μπροστά.



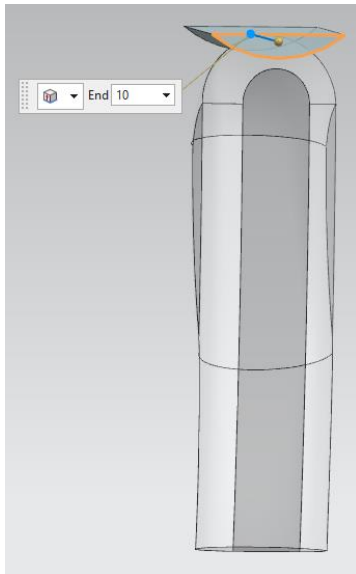
Εικόνα 46: Edge Blend στο καλάμι

2) Σχεδιασμός γεωμετρίας πρόσοψης, Extrude με Subtract και Edge Blends

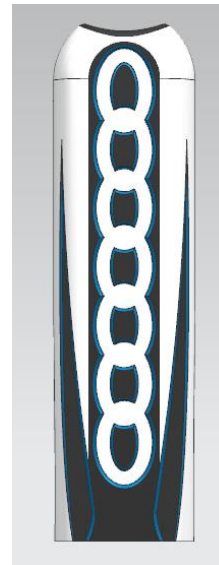
Σχεδιάζουμε το περίγραμμα πρόσοψης, όπως φαίνεται στην εικόνα χρησιμοποιώντας γραμμές (Line), τόξα (Arc) και ελλείψεις (Ellipse), και κάνουμε Extrude με Subtract από την αρχική γεωμετρία επιλέγοντας τα δύο συμμετρικά πεντάπλευρα. Σκοπός είναι να δώσουμε μια παραπάνω καμπυλότητα στο καλάμι. Στην συνέχεια διαλέγουμε την καμπύλη στην κορυφή και κάνουμε ξανά Extrude με Subtract κατά μήκος όλου του τεμαχίου, έτσι ώστε να έχουμε μεγαλύτερη ελευθερία κίνησης στον μηχανισμό του γονάτου. Τέλος, λόγο καλαισθησίας και περαιτέρω ελάττωσης υλικού, διαλέγουμε τις δύο ομόκεντρες ελλείψεις και κάνουμε ξανά Extrude με Subtract προς την αντίθετη κατεύθυνση από ότι τα προηγούμενα Extrude καθώς έχουν σχεδιαστεί εσωτερικά στο καλάμι. Σε αυτό το Extrude χρησιμοποιούμε το Pattern Feature για να δημιουργήσουμε ένα μοτίβο κατά μήκος του καλαμιού. Τέλος, σε όλα τα Extrude κάνουμε Edge Blend όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 47: Διαστοσιολόγηση πρόσοψης

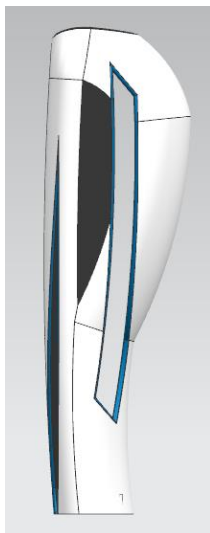


Εικόνα 48: Μπροστινό Extrude



Εικόνα 49: Τελικό αποτέλεσμα με Edge Blend

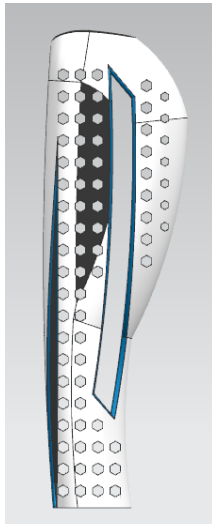
3) Extrude με Subtract πλάγιας οπής και Edge Blend



Διαλέγοντας το εσωτερική τραπέζιο που σχεδιάσαμε στο πρώτο στάδιο κάνουμε Extrude με Subtract από την αρχική γεωμετρία, κατά μήκος όλου του τεμαχίου. Στις άκρες τις οπής εφαρμόζουμε Edge Blend.

Εικόνα 50: Τελικό αποτέλεσμα

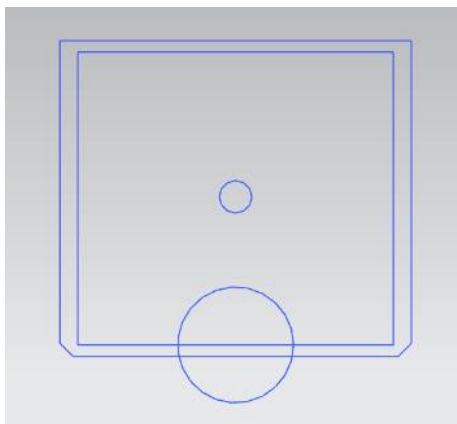
4) Εφαρμογή Κυψελωτής δομής



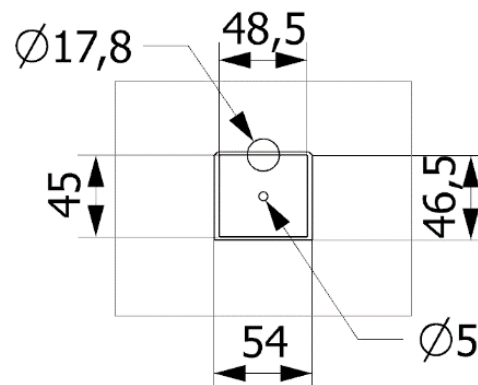
Χρησιμοποιώντας τα τρία εξάγωνα που είχαμε σχεδιάσει στο περίγραμμα στο πρώτο στάδιο κάνουμε Extrude με Subtract από την βασική γεωμετρία. Στην συνέχεια, χρησιμοποιώντας το Pattern Feature σε αυτά τα Extrude κάνουμε εφαρμογή της κυψελωτής δομής κατά μήκος του τεμαχίου.

Εικόνα 51: Εφαρμογή κυψελωτής δομής στο καλάμι

5) Σχεδιασμός γεωμετρίας άνω όψης, Extrude με Subtract και Assigning Feature Colors



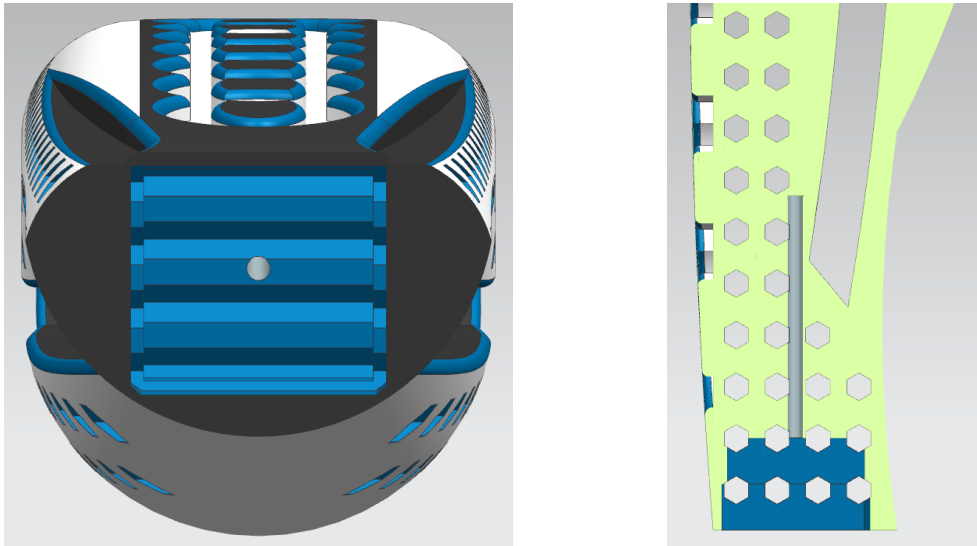
Εικόνα 52: Σχεδιασμός άνω όψης



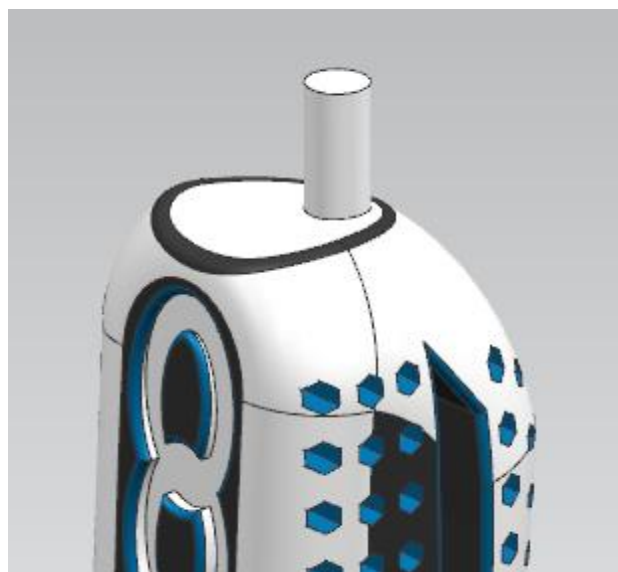
Εικόνα 53: Διαστασιολόγηση άνω όψης

Σχεδιάζουμε την γεωμετρία της άνω όψης, όπως φαίνεται στην εικόνα, βάση των διαστάσεων, και κάνουμε αρχικά Extrude με Subtract στο εξωτερικό εξάπλευρο και στο εσωτερικό τετράγωνο, καθώς και στον κύκλο στο κέντρο. Σκοπός είναι η

σύνδεση του μηχανισμού του αστραγάλου με το καλάμι. Στην συνέχεια κάνουμε Extrude με Unite στον κύκλο στην βάση, αλλάζοντας κατάλληλα τις παραμέτρους αρχής και τέλους του Extrude, για να δημιουργήσουμε ένα εξόγκωμα, στο οποίο θα συνδεθεί ο μηχανισμός του γονάτου. Τέλος, με την εντολή Assign Feature Color αλλάζουμε το χρώμα σε κάθε χαρακτηριστικό.

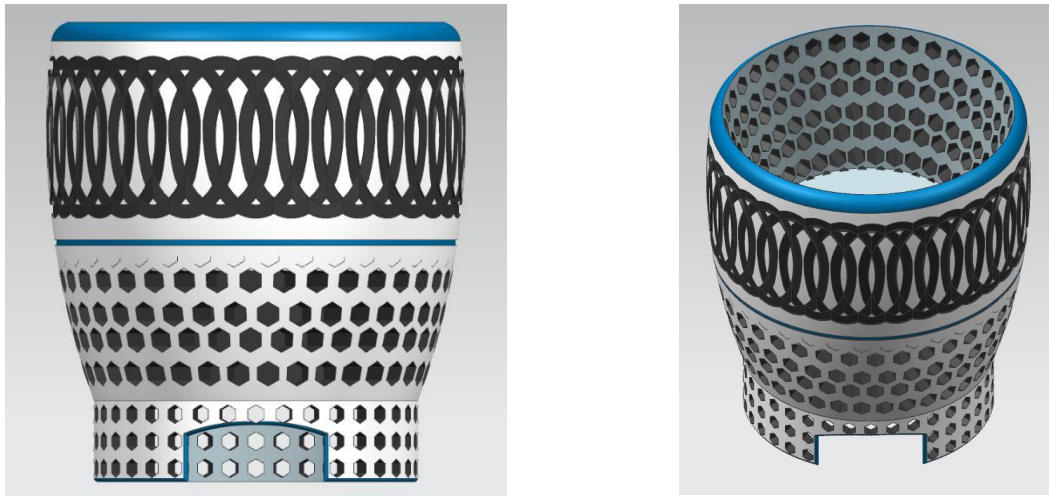


Εικόνα 54: Αποτέλεσμα των Extrude άνω όψης



Εικόνα 55: Εξόγκωμα καλαμιού - Σύνδεση με το γόνατο

3.2.3 Σχεδιασμός μηρού



Εικόνα 56: Τεμάχιο μηρού

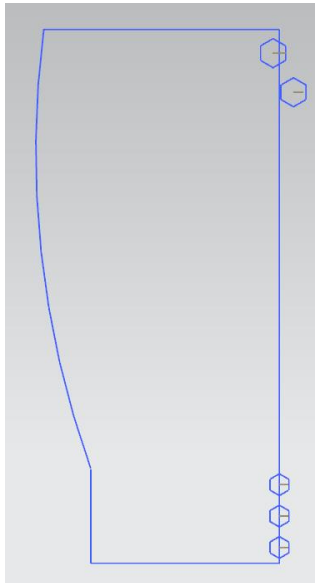
Κύριες Διαστάσεις :

- Ύψος : 17 cm
- Πλάτος : 15,5 cm
- Μήκος : 25,5 cm

Ο σχεδιασμός του ποδιού χωρίζεται σε 5 στάδια :

- 1) Σχεδιασμός του περιγράμματος και αρχικό Revolve
- 2) Σχεδιασμός περιγράμματος κάτοψης για Extrude / Subtract και Hole στην κορυφή
- 3) Εφαρμογή κυψελωτής δομής
- 4) Extrude / Subtract, Revolve / Subtract λοιπών χαρακτηριστικών
- 5) Edge Blends και Assigning Feature Colors

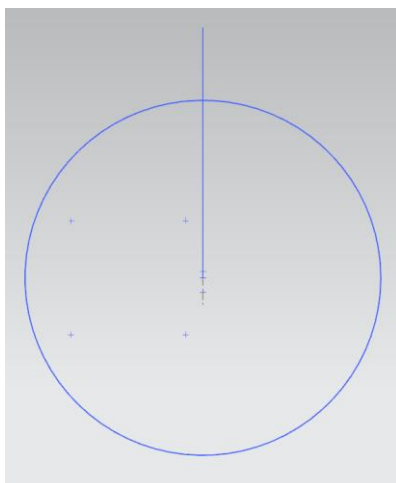
1) Σχεδιασμός του περιγράμματος και αρχικό Revolve



Σχεδιάζουμε το περίγραμμα με τις παραμέτρους που φαίνονται παρακάτω, χρησιμοποιώντας γραμμές (Line) και τόξα (Arc). Παράλληλα σχεδιάζουμε και τα εξάγωνα για την εφαρμογή της κυψελωτής δομής. Κάνουμε Revolve με άξονα την μεγάλη πλευρά του σχεδίου και σημείο περιστροφής την αρχή των αξόνων. Παίρνουμε έτσι την αρχική γεωμετρία του μηρού.

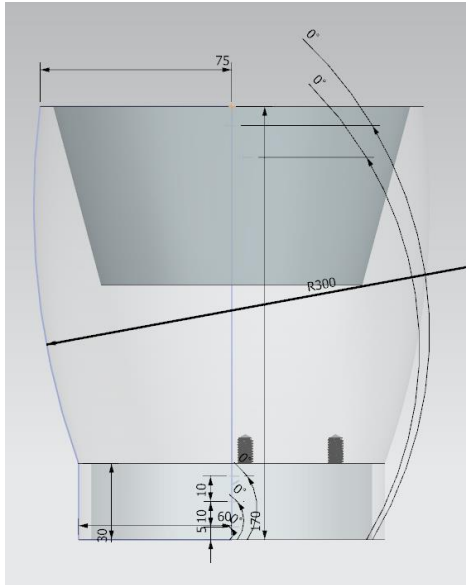
Εικόνα 57: Περίγραμμα βασικής γεωμετρίας

2) Σχεδιασμός περιγράμματος κάτοψης για Extrude / Subtract και Hole στην κορυφή



Στον πάτο του τεμαχίου σχεδιάζουμε έναν κύκλο και τα σημεία όπου θα γίνουν οι οπές με τις οποίες θα συνδέσουμε τον μηρό με την άρθρωση του γονάτου, βάση των διαστάσεων που φαίνονται παρακάτω. Με την χρήση Extrude με Subtract και την εντολή Hole παίρνουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Τέλος χρησιμοποιούμε την εντολή Threads για να φτιάξουμε τα σπειρώματα στις οπές.

Εικόνα 58: Περίγραμμα κάτοψης



Εικόνα 59: Δημιουργία οπής για σύνδεση με ακρωτηριασμένο μέλος

Τέλος, με την εντολή Hole ξανά, αυτή τη φορά με την επιλογή tapered (κωνική), δημιουργούμε την οπή με την οποία συνδέεται το προσθετικό μέλος με τον ακρωτηριασμένο μηρό του ασθενή.

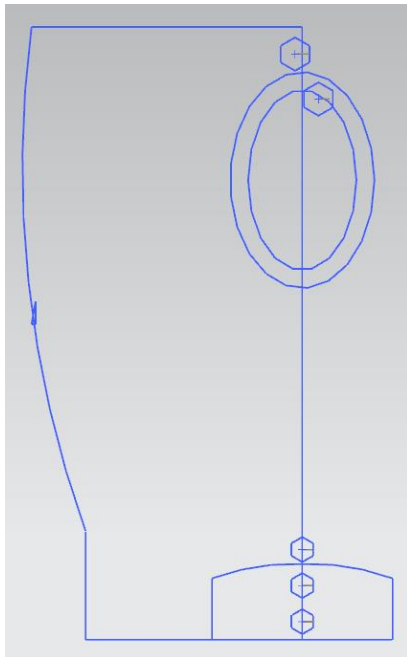
3) Εφαρμογή κυψελωτής δομής



Εικόνα 60: Εφαρμογή κυψελωτής δομής στον μηρό

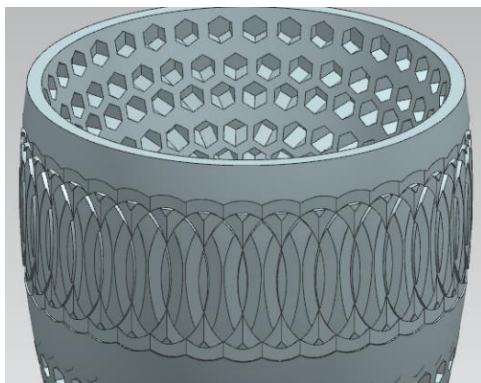
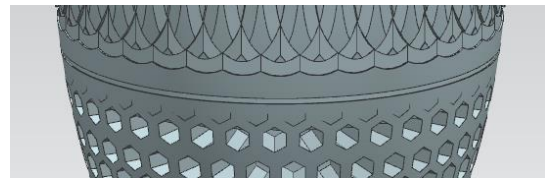
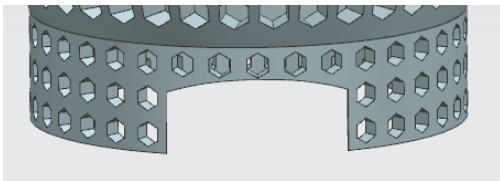
Χρησιμοποιώντας τα εξάγωνα που είχαμε σχεδιάσει στο περίγραμμα στο πρώτο στάδιο κάνουμε Extrude με Subtract από την βασική γεωμετρία. Στην συνέχεια, χρησιμοποιώντας το Pattern Feature σε αυτά τα Extrude κάνουμε εφαρμογή της κυψελωτής δομής περιμετρικά του τεμαχίου.

4) Extrude / Subtract, Revolve / Subtract λοιπών χαρακτηριστικών



Εικόνα 61: Περίγραμμα πρόσοψης μηρού

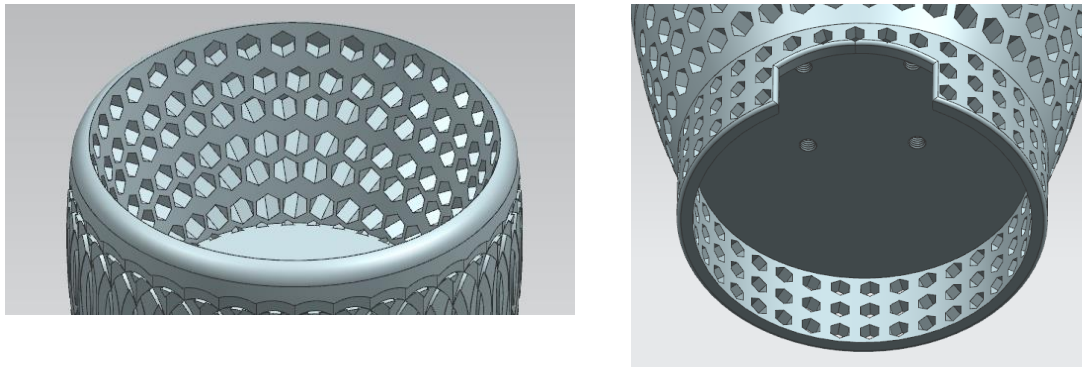
Για το τελικό αποτέλεσμα του μηρού εμπλουτίζουμε το αρχικό σχέδιο του βασικού περιγράμματος, όπως φαίνεται στην εικόνα, κάνοντας επιπλέον χρήση της έλλειψης (Ellipse). Ξεκινάμε κάνοντας Extrude με Subtract στο πολύγωνο που βρίσκεται στη βάση του σχεδίου. Σκοπός είναι να είναι εφικτή η κίνηση του γονάτου χωρίς να υπάρχει σύγκρουση μεταξύ των τεμαχίων. Στην συνέχεια κάνουμε Extrude με Subtract στις ελλείψεις και με την εφαρμογή του Pattern Feature εφαρμόζουμε το Extrude περιμετρικά του μηρού. Τέλος, κάνοντας Revolve με Subtract στο μικρό ορθογώνιο τρίγωνο, με άξονα την μεγάλη πλευρά του σχεδίου και σημείο περιστροφής την αρχή των αξόνων, κάνουμε μια περαιτέρω μείωση υλικού και μια παρέμβαση με σκοπό την καλαισθησία του τεμαχίου.



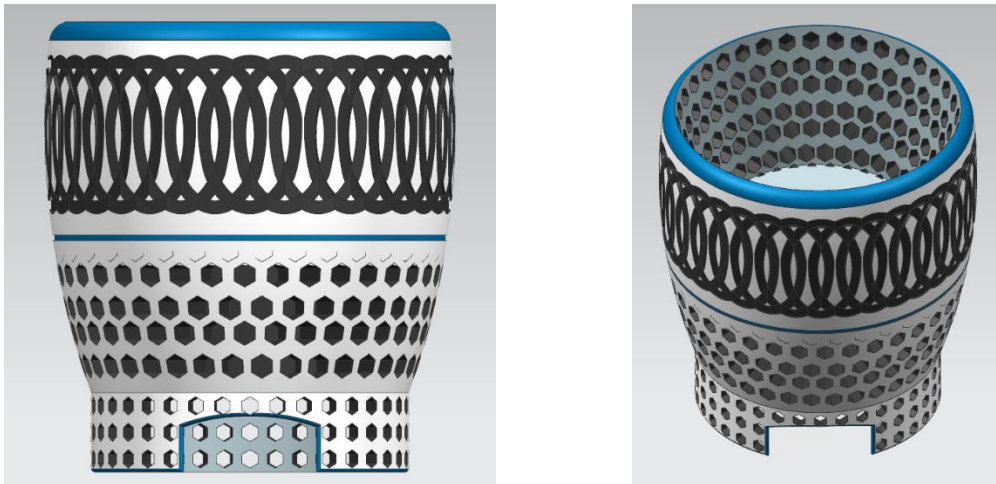
Εικόνα 62: Μορφοποίηση τεμαχίου μέσω Extrude/Revolve

5) Edge Blends και Assigning Feature Colors

Δίνουμε μια περαιτέρω καμπυλότητα στην κορυφή και τον πάτο του τεμαχίου με την εντολή Edge Blend και με την εντολή Assign Feature Color αλλάζουμε το χρώμα σε κάθε χαρακτηριστικό.



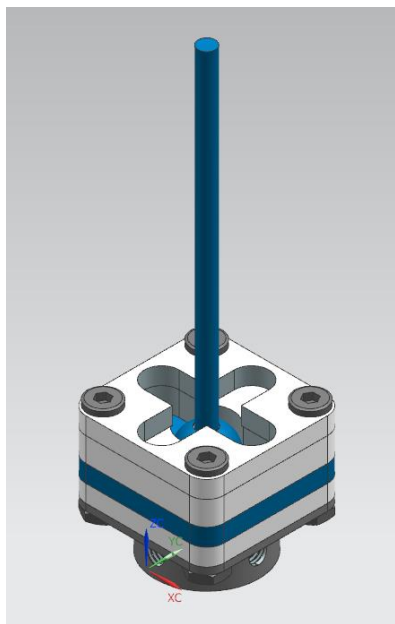
Εικόνα 63: Edge Blend στην κορυφή και στον πάτο του τεμαχίου



Εικόνα 64: Τελικό μορφή του μηρού

3.3 Σχεδιασμός αρθρώσεων

3.3.1 Σχεδιασμός μηχανισμού αστραγάλου

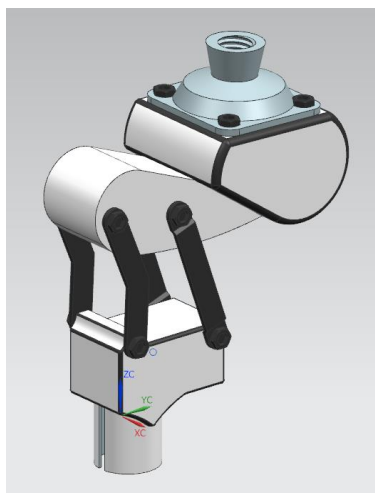


Εικόνα 65: Assembly του μηχανισμού του αστραγάλου

Κύριες Διαστάσεις : Ύψος : 12,65 cm
Πλάτος : 4 cm
Μήκος : 4 cm

Ο μηχανισμός του αστραγάλου αποτελείται από 4 πλάκες (square plate 1 – 4) με όμοιες διαστάσεις, μια πλάκα στον πάτο (Foot pyramid adapter – clutch), η οποία συνδέει τον μηχανισμό με το πόδι με την χρήση μικρών κοχλιών (clutch minibolt 1 - 4), και τον κεντρικό μηχανισμό που συνδέει τον μηχανισμό με το καλάμι και προσομοιώνει την κίνηση του αστραγάλου (rod, sphere). Η μηχανισμός συνδέεται μέσω κοχλιών και περικοχλίων. (clutch bolt 1 – 4, clutch nut 1 – 4).

3.3.2 Σχεδιασμός μηχανισμού γονάτου



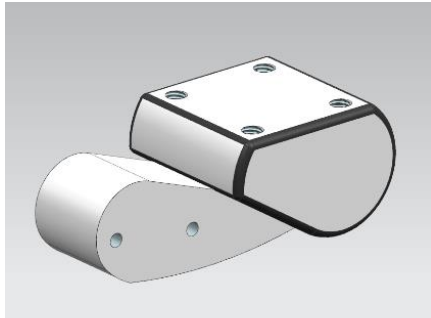
Εικόνα 66: Assembly του μηχανισμού του γονάτου

Κύριες Διαστάσεις : Ύψος : 12,35 cm
Πλάτος : 4,4 cm
Μήκος : 8,8 cm

Ο μηχανισμός του γονάτου αποτελείται από δύο βασικά μέρη, το Knee base και το Knee Main τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τις μεταλλικές πλάκες Part 1 και Part 2, και με μια βασική κοχλιοσύνδεση (Screw 1 – 4, Screw Nut 1 – 4). Στην κορυφή του Knee Main βρίσκεται το Knee pyramid adapter με το οποίο συνδέεται ο μηχανισμός του γονάτου με τον μηρό.

Έχουμε και εδώ μια απλή κοχλιοσύνδεση (Screw for Clutch 1 -4).

3.3.2.1 Σχεδιασμός knee main



Εικόνα 67: Knee main, μέρος του μηχανισμού του γονάτου

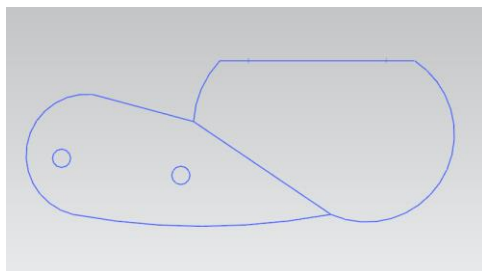
Κύριες Διαστάσεις :

Ύψος : 3,4 cm

Πλάτος : 4,4 cm

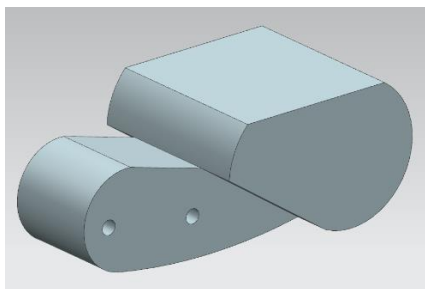
Μήκος : 8,8 cm

Σχεδιασμός του Knee Main

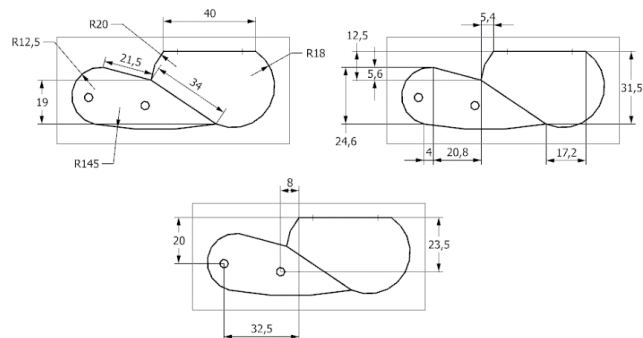


Εικόνα 68: Περίγραμμα knee main

Σχεδιάζουμε το περίγραμμα χρησιμοποιώντας γραμμές (Line), τόξα (Arc) και κύκλους (Circle), βάσει των διαστάσεων που φαίνονται παρακάτω). Κάνουμε αρχικά Extrude συμμετρικά κατά 1,2cm στο αριστερό μέρος του σχεδίου και άλλο ένα συμμετρικό Extrude στο δεξί μέλος κατά 2,2cm. Παίρνουμε έτσι την βασική γεωμετρία του Knee main.

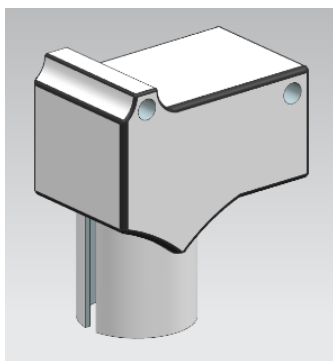


Εικόνα 69: Extrude βασικής γεωμετρίας



Εικόνα 70: Διαστασιολόγηση Knee main

3.3.2.2 Σχεδιασμός knee base



Κύριες Διαστάσεις :

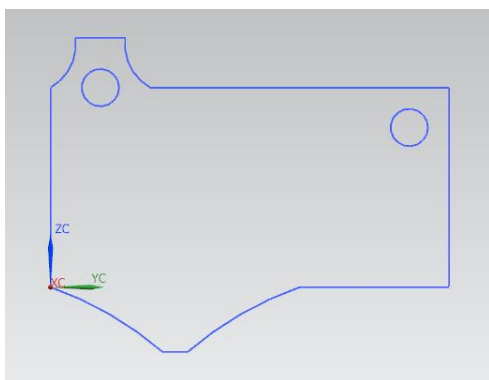
Ύψος : 4,65 cm

Πλάτος : 2,4 cm

Μήκος : 4 cm

Εικόνα 71: Knee base, μέρος του μηχανισμού του γονάτου

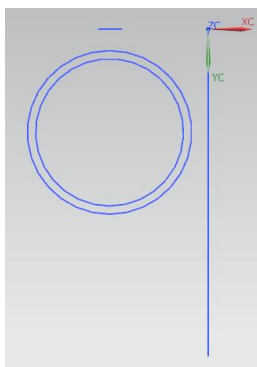
Σχεδιασμός του Knee Base



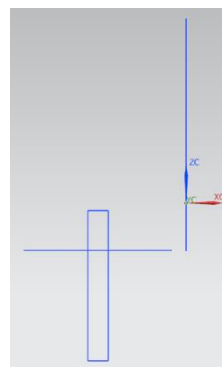
Σχεδιάζουμε το περίγραμμα χρησιμοποιώντας γραμμές (Line), τόξα (Arc) και κύκλους (Circle), βάσει των διαστάσεων που φαίνονται παρακάτω. Κάνουμε Extrude συμμετρικά κατά 2,4cm. Παίρνουμε έτσι την βασική γεωμετρία του Knee Base.

Εικόνα 72: Βασικό περίγραμμα του knee base

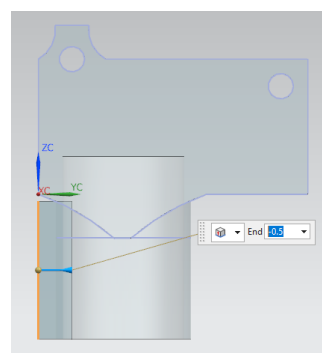
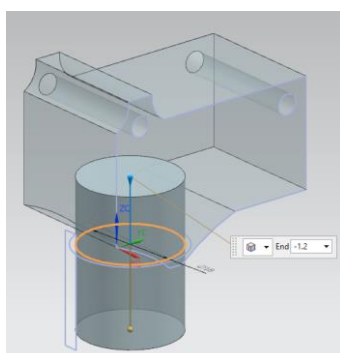
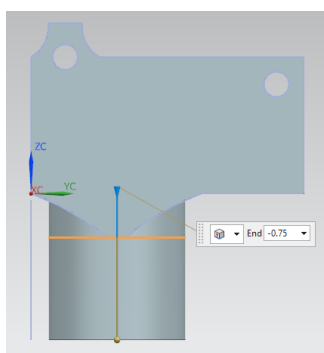
Σχεδιάζουμε δύο ομόκεντρους κύκλους στην άνω όψη του τεμαχίου και ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο στην αριστερή όψη. Κάνουμε Extrude με Unite στον εξωτερικό κύκλο, δημιουργώντας έτσι ένα εξόγκωμα, και Extrude με Subtract στον εσωτερικό κύκλο για να κάνουμε το εξόγκωμα κοίλο. Σκοπός είναι η σύνδεση του μηχανισμού του γονάτου με το καλάμι. Τέλος κάνουμε Extrude με Subtract επιλέγοντας το παραλληλόγραμμο για να δημιουργήσουμε μια οπή στο εξόγκωμα. Σκοπός είναι η τοποθέτηση του Quick release clamp γύρω από αυτό, για να υπάρχει μια καλύτερη συναρμολόγηση των τεμαχίων μέσω σύσφιξης.



Εικόνα 73: Άνω όψη του περιγράμματος του knee base

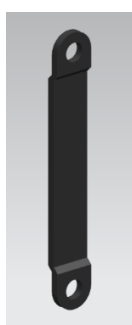
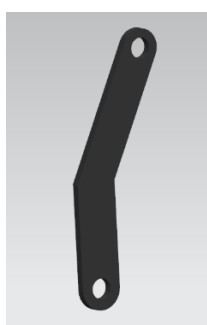


Εικόνα 74: Αριστερή όψη του περιγράμματος του knee base

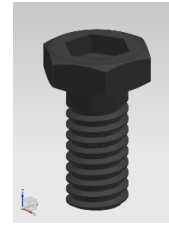
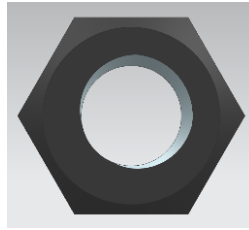
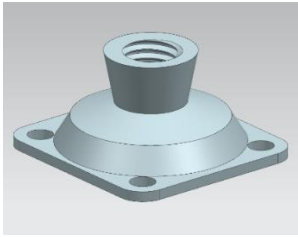


Εικόνα 75: Δημιουργία εξογκώματος του knee base

3.3.2.3 Λοιπά μέρη μηχανισμού γονάτου



Εικόνα 76: Part 1, Part 2, Screw. Μέρη για την σύνδεση Knee Main με Knee Base



Εικόνα 77: Knee pyramid adapter, Screw nut, Screw for clutch. Μέρη για την σύνδεση της άρθρωσης του γονάτου με τον μηρό

3.4 Σχεδιασμός βοηθητικών μερών

3.4.1 Σχεδιασμός Quick release clamp



Εικόνα 78: Τεμάχιο quick release clamp

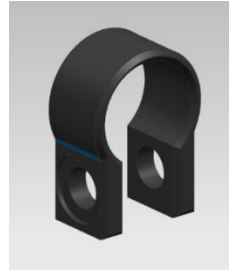
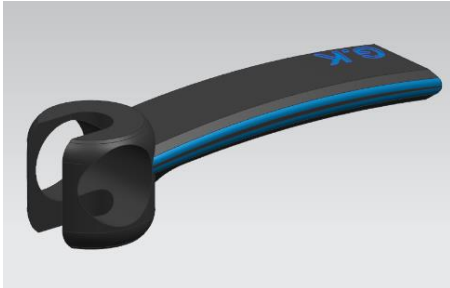
Κύριες Διαστάσεις : Ύψος : 4,4 cm (μεταβλητό)

Πλάτος : 1,8 cm

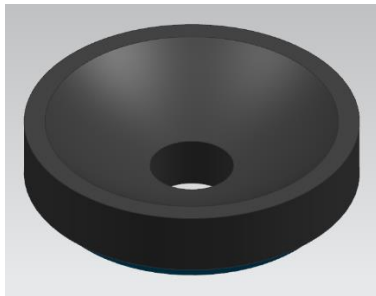
Μήκος : 4,8 cm

Ο μηχανισμός του Quick release clamp αποτελείται από μια βάση (Quick Release Base), την λαβή (Main part) η οποία συνδέεται με μια κεφαλή (Bolt Base) και μία κοχλία με σπειρώματα και στις δυο κατευθύνσεις (2-way bolt). Τέλος έχουμε ένα περικόχλιο εξωτερικά (Outer Button) και ένα ανάμεσα στη λαβή και την βάση (Inside Button). Σκοπός του μηχανισμού είναι να κρατάει σταθερό το καλάμι και το γόνατο καθώς και να δίνει την δυνατότητα μια μικρής προσαρμογής του ύψους.

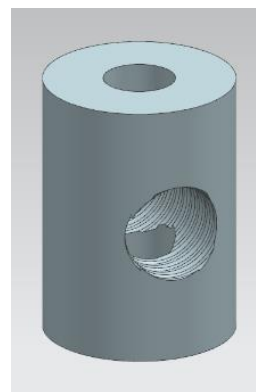
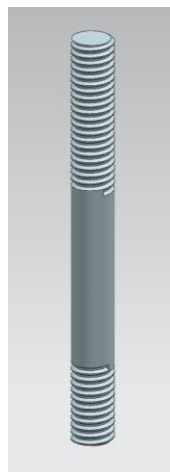
3.4.2 Λοιπά μέρη quick release clamp



Εικόνα 79: Main part, Quick release base



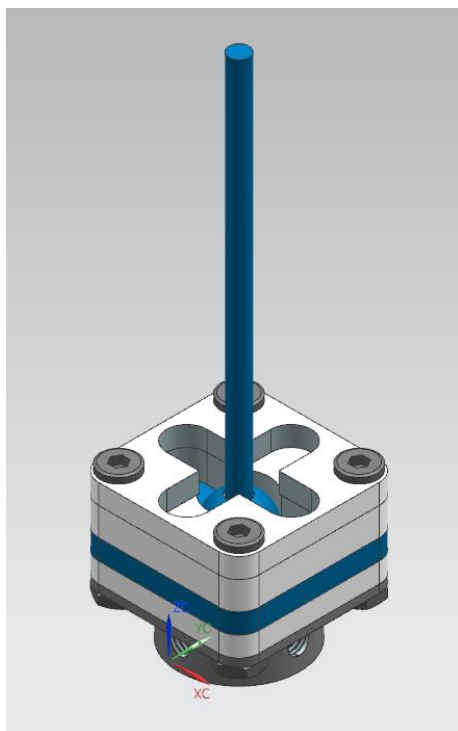
Εικόνα 80: Inside button, Outer button



Εικόνα 81: 2-way bolt, Bolt base

3.5 Συναρμολογήσεις (Assemblies)

3.5.1 Συναρμολόγηση αστραγάλου



Για το Assembly του αστραγάλου χρειαζόμαστε τα εξής μέρη :

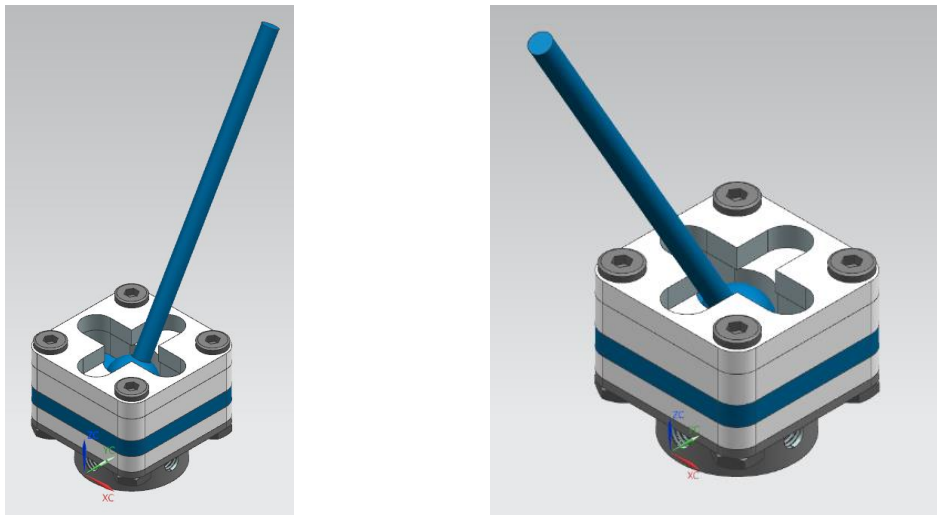
Assembly bottom to top

- 1) Foot Pyramid Adapter – Clutch
- 2) Square Plate – 4
- 3) Square Plate – 3
- 4) Square Plate – 1
- 5) Square Plate – 2
- 6) Clutch Bolt x4
- 7) Clutch Nut x4
- 8) Sphere
- 9) Rod

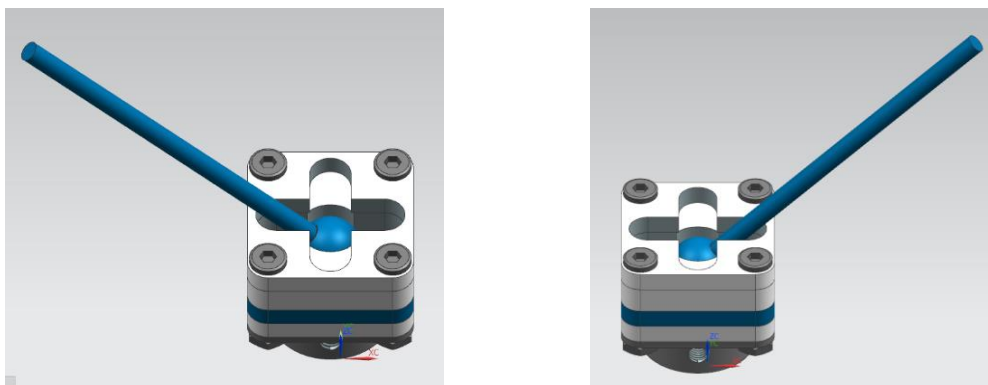
Εικόνα 82: Assembly αστραγάλου

Τοποθετούμε πρώτα το Foot Pyramid Adapter – Clutch. Με Concentric Constraint (Ομόκεντρος περιορισμός) τοποθετούμε από πάνω του το Square Plate – 4, συνδέοντας μια οπή του Square Plate – 4 με την αντίστοιχη ομοαξονική του Foot Pyramid Adapter – Clutch. Συνδέουμε με τον ίδιο τρόπο με Concentric Constraint το Square Plate – 4 με το Square Plate – 3 και το Square Plate – 3 με το Square Plate – 1. Ενώνουμε με Concentric Constraint το Rod με το Sphere για να βιδώσει το ένα στο άλλο, και χρησιμοποιούμε το Constraint Bond για να κινούνται τα δύο μέρη ως ένα. Τοποθετούμε το Rod και Sphere, που κινούνται πλέον ως ένα, έτσι ώστε να εφάπτεται εσωτερικά στην τυφλή οπή που έχουμε δημιουργήσει στο Square Plate – 4. Βάζουμε με Concentric Constraint το Square Plate – 2 πάνω στο Square Plate – 1, με αποτέλεσμα το Rod και Sphere να μην μπορεί να φύγει από το Assembly.

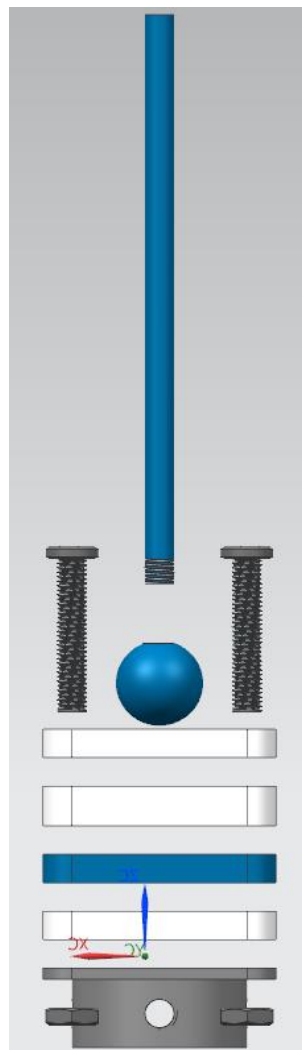
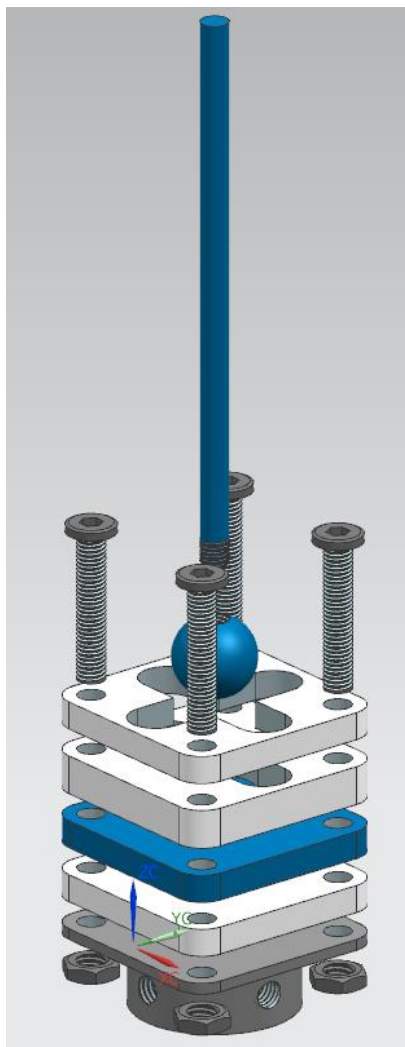
Ξανά, χρησιμοποιούμε Concentric Constraint για να συνδέσουμε τα Clutch Bolt με το Square Plate – 2 και τα Clutch Nut με το Square Plate – 4. Διαλέγοντας Orient View : Top το Sphere και Rod μπορεί να στρίψει προς τα μπροστά και προς τα πίσω κατά 30° και αριστερά και δεξιά κατά 45° .



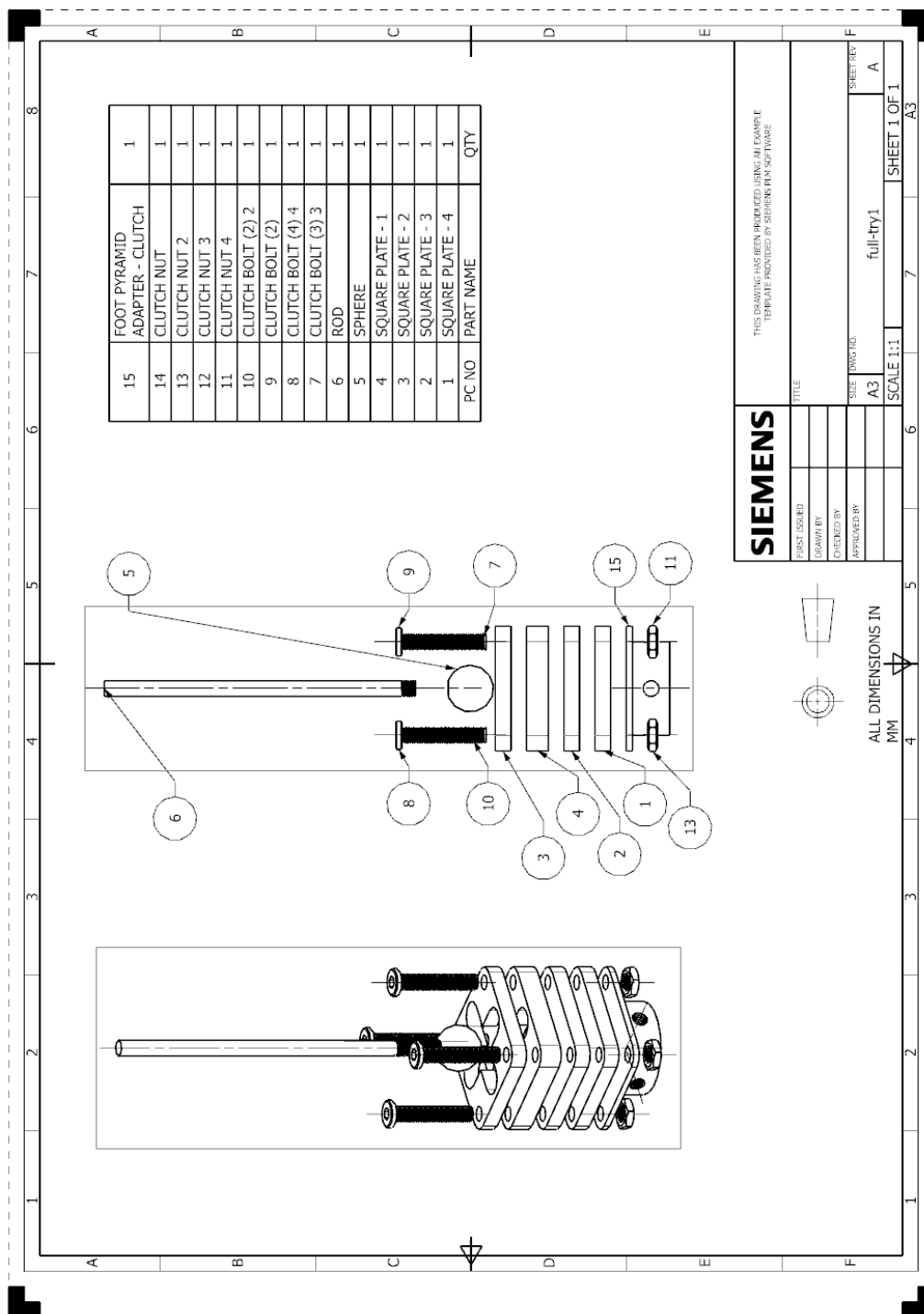
Εικόνα 83: Κίνηση αστραγάλου στον y άξονα



Εικόνα 84: Κίνηση αστραγάλου στον x άξονα

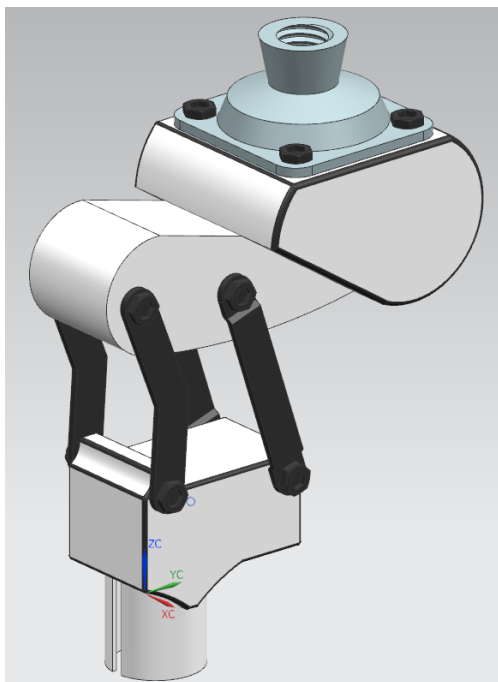


Εικόνα 85: Exploded view αστραγάλου



Εικόνα 86: Draft του exploded view αστραγάλου με λίστα εξαρτημάτων

3.5.2 Συναρμολόγηση γονάτου



Εικόνα 87: Assembly γονάτου

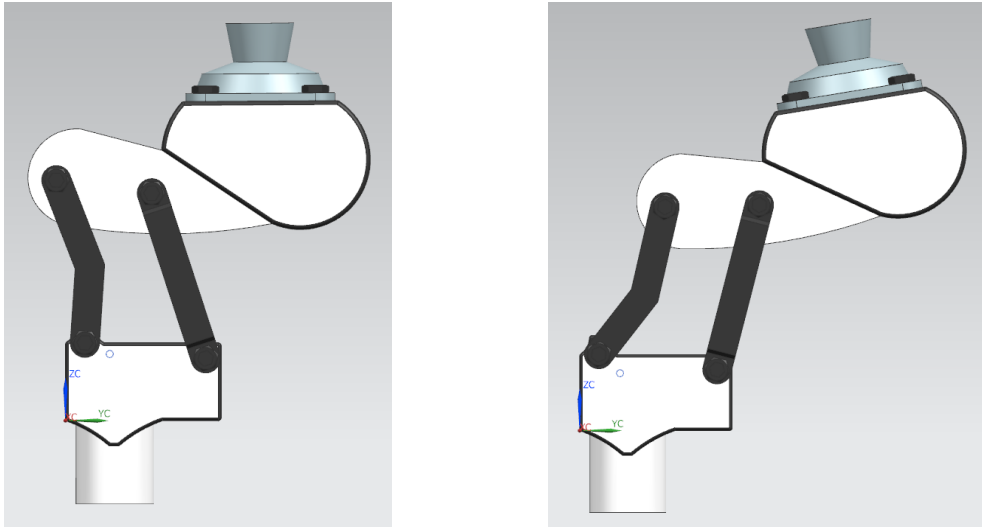
Για το Assembly του γονάτου χρειαζόμαστε τα εξής μέρη :

Assembly bottom to top

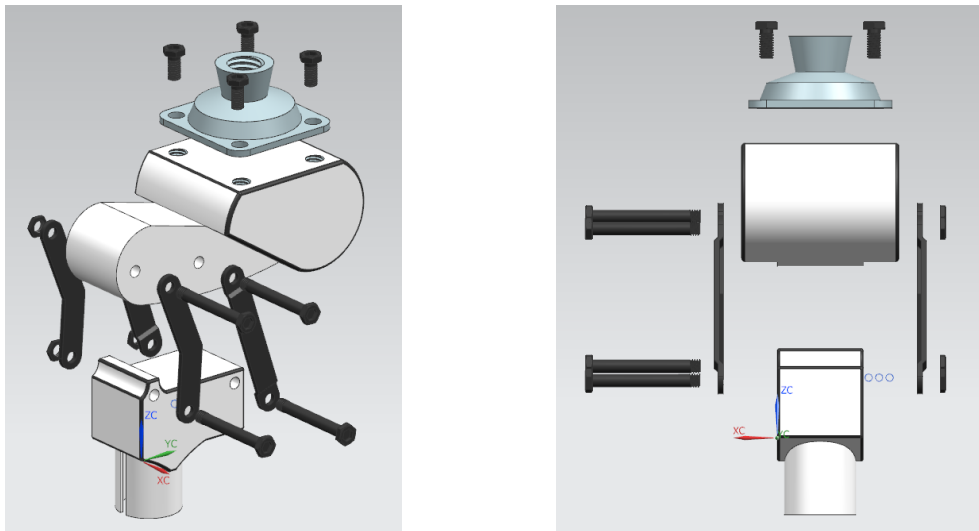
- 1) Knee Base
- 2) Part 1 x2
- 3) Part 2 x2
- 4) Screw X4
- 5) Screw Nut x4
- 6) Knee Main
- 7) Knee Pyramid Adapter
- 8) Screw for Clutch x4

Τοποθετούμε πρώτα το Knee Base με Fix Constraint, έτσι ώστε να μην μπορεί να είναι η σταθερή βάση μας. Στην συνέχεια συνδέουμε τα Part 1 και Part 2 με Touch Align Constraint με Infer Center / Axis στο Orientation καθιστώντας έτσι μια ομοαξονική σχέση μεταξύ των οπών τους και των οπών του Knee Base. Για τα Screw και Screw Nut χρησιμοποιούμε τα Concentric Constraint και δημιουργούμε σχέσεις με τα Part 1 και Part 2. Χρησιμοποιούμε, όπως και στο Knee Base, το Touch Align Constraint με Infer Center / Axis στο Orientation, για να δημιουργήσουμε ομοαξονικές σχέσεις μεταξύ των οπών των Part 1 και Part 2 και των οπών του Knee Main. Τοποθετούμε το Knee Pyramid Clutch στην κορυφή του Knee Main με Concentric Constraint μεταξύ των οπών τους. Τέλος τοποθετούμε τα Screw for Clutch με Concentric Constraint πάνω στο Knee Pyramid Clutch, εσωτερικά του Knee Main. Με το Move Component, διαλέγοντας το Knee Main, κάνουμε μια περιστροφική κίνηση και παρατηρούμε ότι τα μέρη κινούνται αρμονικά ώστε, προσομοιώνοντας την κίνηση ενός γονάτου.

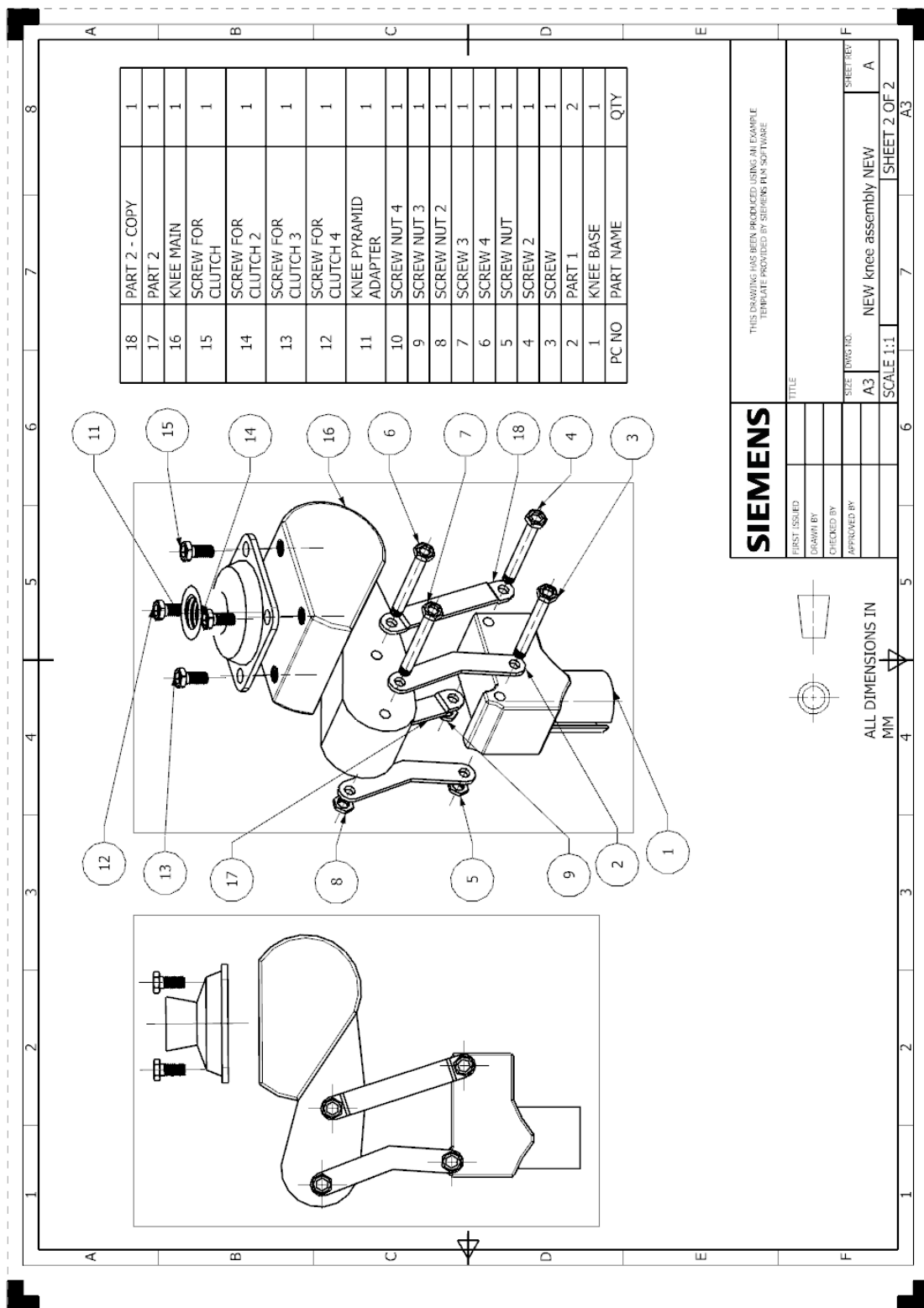
Σημαντικό να σημειωθεί πως η σύνδεση μεταξύ Part 1 – Part 2 – Knee Base – Knee Main μπορεί να γίνει και αυτή με Concentric constraints, το οποίο και προτιμάται στο Full assembly, λόγω της αριστερής και δεξιάς κίνησης του αστραγάλου. Επίσης χρειάζεται να συνδέσουμε τα Knee Main και Knee Base με ένα Bond Constraint.



Εικόνα 88: Κίνηση του γονάτου



Εικόνα 89: Exploded view γονάτου



Εικόνα 90: Draft του exploded view αστραγάλου με λίστα εξαρτημάτων

3.5.3 Συναρμολόγηση Quick release clamp



Εικόνα 91: Assembly του quick release clamp

Για το Assembly του Quick Release Clamp χρειαζόμαστε τα εξής μέρη :

Assembly bottom to top

- 1) Outer Button
- 2) Quick Release Base
- 3) 2-way bolt
- 4) Inside Button
- 5) Bolt Base
- 6) Main Part

Για το Quick Release Clamp υπάρχουν 2 συνδέσεις, βάση των Constraints, που αναλύουν πλήρως την κίνηση του :

Για να κινείται το Main Part με άξονα 2-way bolt :

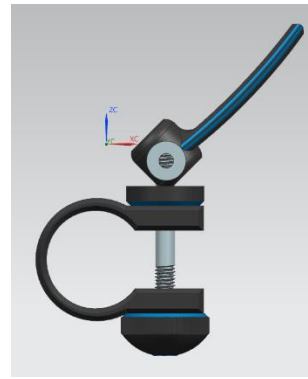
Τοποθετούμε το Quick Release Base στο Assembly, κάθετα στο XY επίπεδο. Τοποθετούμε το Outer Button έτσι ώστε να εφάπτεται η βάση του στην εσοχή του Quick Release Base όπως φαίνεται και στην εικόνα και χρησιμοποιούμε σε αυτό το Fix Constraint, με το οποίο κρατάμε σταθερό το μέρος αυτό στην θέση που το τοποθετήσαμε. Στην συνέχεια με το Touch Align Constraint με Infer Center / Axis στο Orientation δημιουργούμε μια ομοαξονική σχέση μεταξύ του 2-way bolt και του Outer Button. Τοποθετούμε το Inside Button πάνω στο Quick Release Base με Parallel Constraint μεταξύ ενός κύκλου της εσοχής και ενός του Inside Button. Το μετακινούμε έτσι ώστε να εφάπτεται στο Quick Release Base. Τοποθετούμε το Bolt Base εσωτερικά του Main Part, τοποθετούμε τα δύο μαζί πάνω στο 2-way Bolt και με το Bond Constraint στα Main Part, Bolt Base και 2-way Bolt, κινούνται πλέον και τα τρία ως ένα. Έτσι μπορούμε να έχουμε περιστροφική κίνηση του Main Part.

Για να κινείται το Main Part στο XZ επίπεδο :

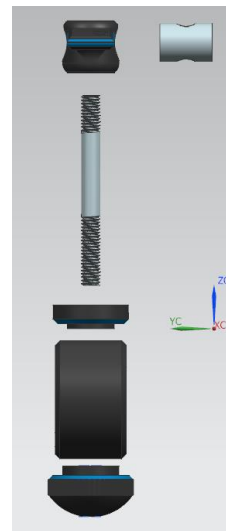
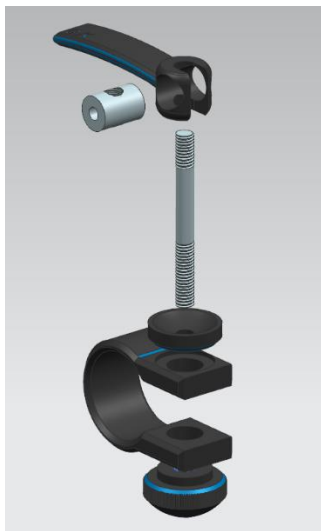
Για να πετύχουμε αυτή την κίνηση χρειάζονται 2 Constraint, ένα Touch Align Constraint με Infer Center / Axis στο Orientation, στον άξονα της οπής του Bolt Base και της πλάγιας οπής του Main Part, και ένα Bond Constraint σε όλα τα μέρη εκτός του Main Part. Έτσι το Quick Release Clamp προσομοιώνει την κίνηση που σφίγγει το Quick Release Base.



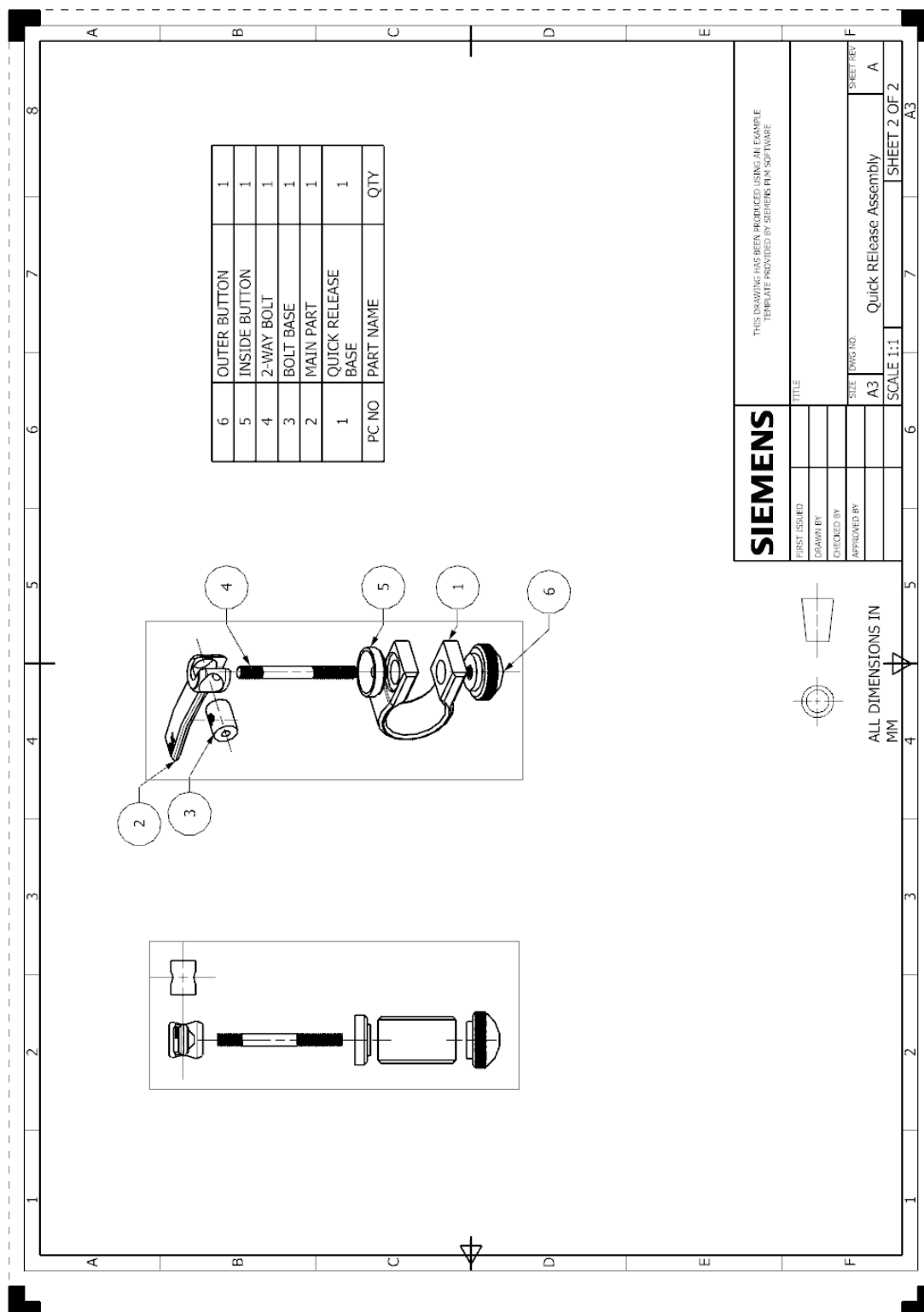
Εικόνα 92: Περιστροφική κίνηση



Εικόνα 93: Κίνηση στο XZ επίπεδο



Εικόνα 94: Exploded view του quick release clamp



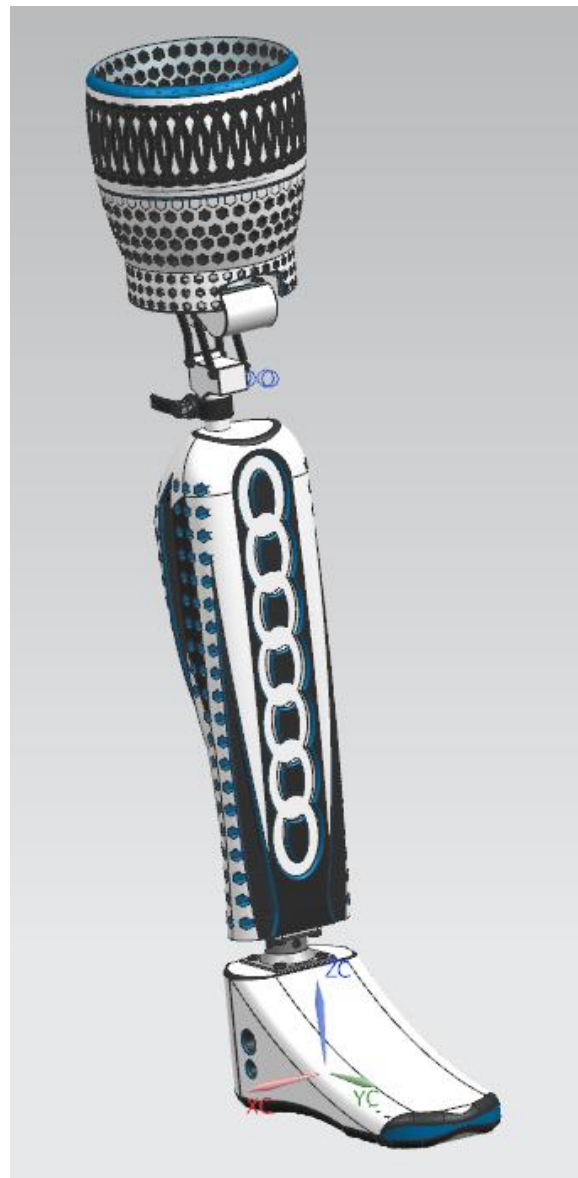
Εικόνα 95: Draft του Exploded View με λίστα των εξαρτημάτων

3.5.4 Full Assembly - Συναρμολόγηση προσθετικού ποδιού

Για το Full Assembly χρειαζόμαστε τα εξής μέρη :

Assembly bottom to top

- 1) πόδι mk4
- 2) Foot Pyramid Adapter
- 3) Foot Adapter Bolt x4
-
- 4) Foot Pyramid Adapter - Clutch
- 5) Square Plate – 4
- 6) Square Plate – 3
- 7) Square Plate – 1
- 8) Square Plate – 2
- 9) Clutch Bolt x4
- 10) Clutch Nut x4
- 11) Sphere
- 12) Rod
-
- 13) Clutch Minibolt x4
- 14) Καλάμι mk5
-
- 15) Outer Button
- 16) Quick Release Base
- 17) 2-way bolt
- 18) Inside Button
- 19) Bolt Base
- 20) Main Part
- 21) Knee Base
- 22) Part 1 x2
- 23) Part 2 x2
- 24) Screw X4



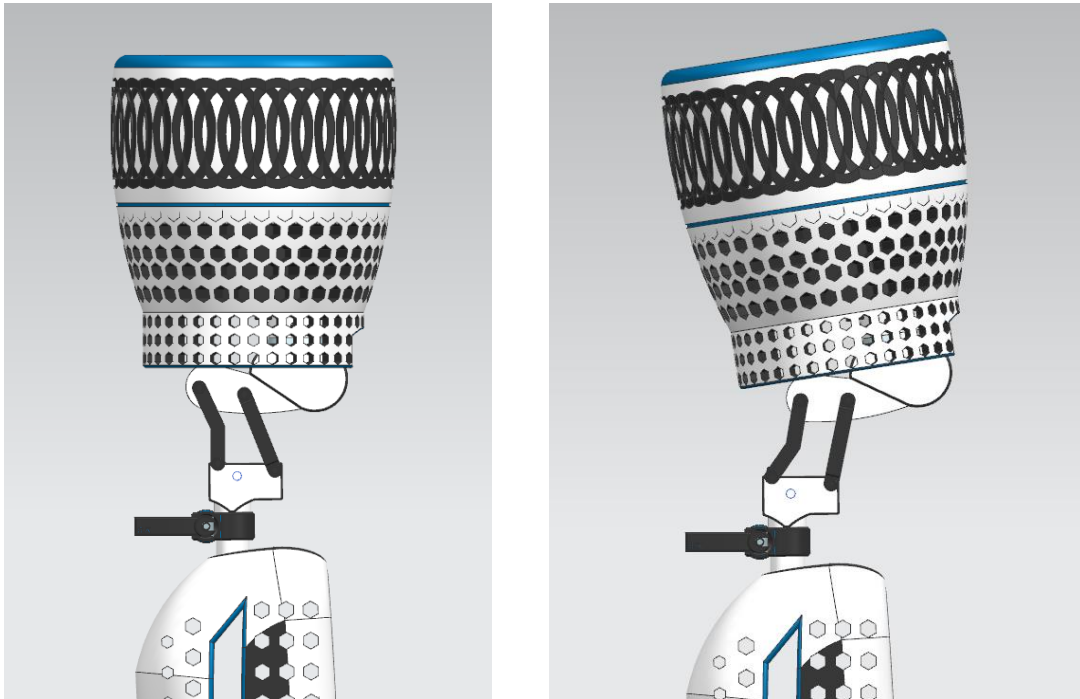
Εικόνα 96: Assembly προσθετικού ποδιού

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| 25) Screw Nut x4 | 29) Thigh Pyramid Adapter – Clutch |
| 26) Knee Main | 30) Up Clutch Minibolt x4 |
| 27) Knee Pyramid Adapter | 31) Thigh Screw x4 |
| 28) Screw for Clutch x4 | 32) Μηρός mk3 |

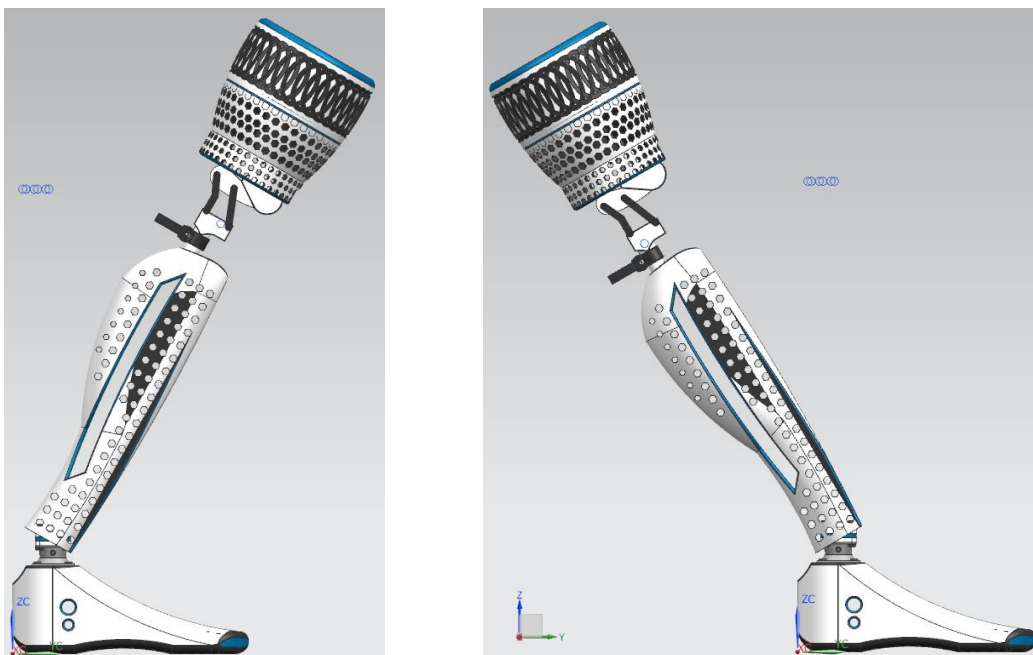
Ξεκινάμε με το πόδι mk4 και βάζουμε πάνω σε αυτό το Foot Pyramid Adapter εφαρμόζοντας Concentric Constraint μεταξύ μιας οπής αυτού και μιας οπής του ποδιού. Τοποθετούμε τα 4 Foot Adapter Bolt στις οπές του Foot Pyramid Adapter με Concentric Constraint. Τοποθετούμε το Assembly του αστραγάλου που αναλύσαμε στην σελ. 37 πάνω στο Foot Pyramid Adapter με Concentric Constraint μεταξύ του Foot Pyramid Adapter και του Foot Pyramid Adapter – Clutch. Για να βιδώσουμε τα 2 μεταξύ τους χρησιμοποιούμε 4 Clutch Minibolts χρησιμοποιώντας Touch Align Constraint με Infer Center / Axis στο Orientation, συνδέοντας έτσι τον άξονα κάθε Clutch Minibolt με τον άξονα κάθε οπής του Foot Pyramid Adapter – clutch. Πάνω στον αστράγαλο βάζουμε το Καλάμι mk7 με Concentric Constraint μεταξύ του Rod του αστραγάλου και της εσωτερικής οπής του Καλαμιού. Ξανά με Concentric Constraint ενώνουμε το Assembly του γονάτου, που αναλύσαμε στην σελ.31 (με την εκδοχή των Concentric Constraints και την χρήση του Bond Constraint μεταξύ του Knee Main και του Knee Base), με το καλάμι, μεταξύ της εξοχής του και της εσοχής του Knee Base. Για να υπάρχει σωστό δέσιμο μεταξύ των μερών, χρησιμοποιούμε το Quick Release clamp, που αναλύσαμε στην σελ. 41, και με Touch Align Constraint με Infer Center / Axis στο Orientation τοποθετούμε το Quick Release Clamp γύρω από την βάση του Knee Base. Πάνω στο Knee Pyramid Adapter του γονάτου τοποθετούμε το Thigh Pyramid Adapter - Clutch με Concentric Constraint. Τοποθετούμε τον μηρό mk3 πάνω στο Thigh Pyramid Adapter – Clutch με Concentric Constraint μεταξύ των οπών, τα Thigh Screw με concentric constraint στο Thigh pyramid adapter - clutch και τέλος συνδέουμε τα δύο μέρη με τα 4 Up clutch minibolts, στα οποία χρησιμοποιούμε Distance Constraint μεταξύ αυτών και του Knee Pyramid Adapter. Περιστρέφοντας το Knee Main στο ZY επίπεδο βλέπουμε ότι κάνει την θεμιτή κίνηση μαζί με τον μηρό. Όμως για να εφαρμόσουμε την κίνηση του αστραγάλου στο full assembly χρειάζονται κάποιες τροποποιήσεις.

Πρέπει να απενεργοποιήσουμε το Fix Constraint του Knee Base και να ενεργοποιήσουμε το Bond Constraint μεταξύ του Knee Main και του Knee Base, για

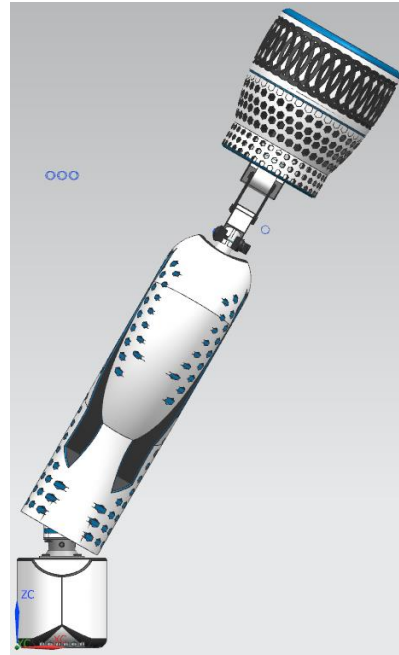
να μπορεί από το Sphere να κινηθεί όλο το υπόλοιπο πόδι, δεξιά, αριστερά, μπροστά και πίσω. Τα Assemblies του γονάτου, του αστραγάλου και του Quick Release Clamp δεν μπήκαν στο Full Assembly ως subassemblies, καθώς δεν θα μπορούσαμε να κινήσουμε τα μέρη των subassemblies όπως θέλουμε. Μπήκαν όλα τα μέρη ξεχωριστά, με τα constraints που αναλύθηκαν παραπάνω.



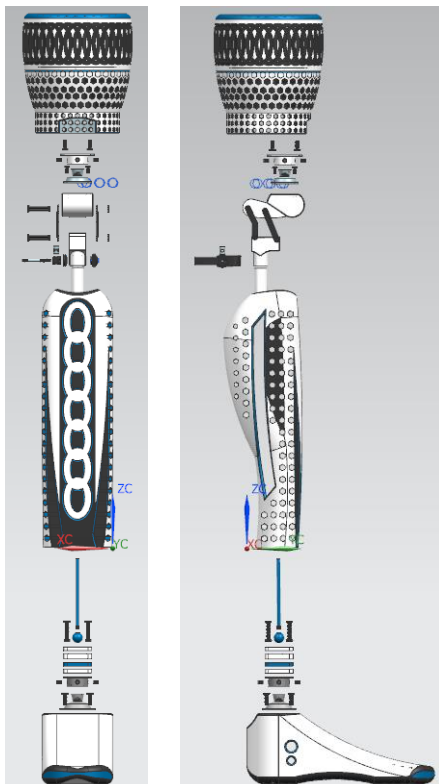
Εικόνα 97: Κίνηση του γονάτου στο Full assembly



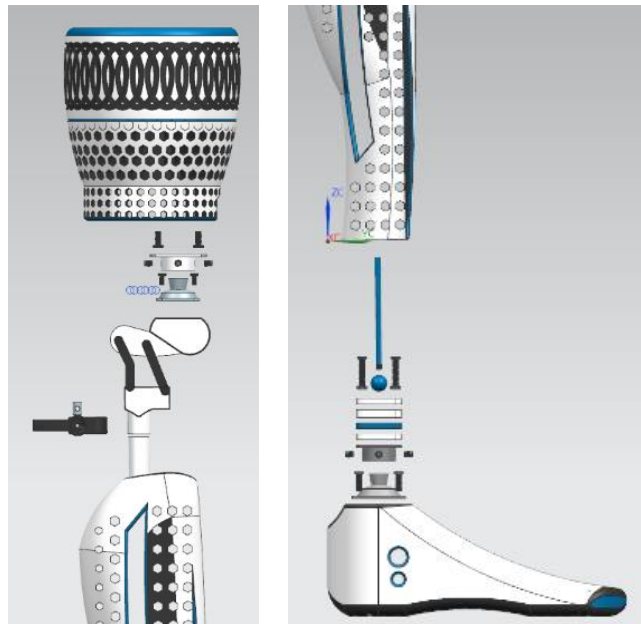
Εικόνα 98: Κίνηση στον y άξονα



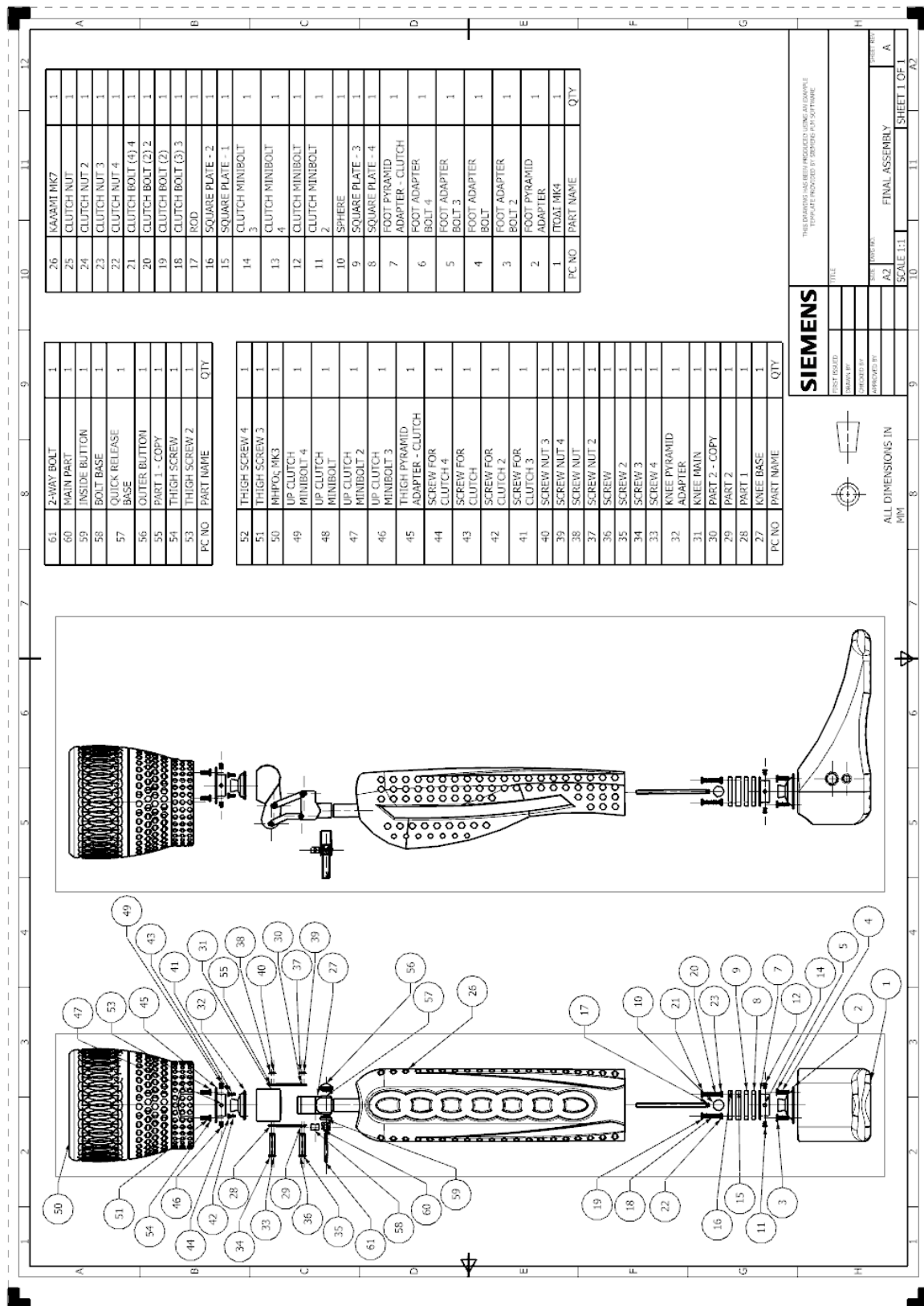
Εικόνα 99: Κίνηση στον x άξονα



Εικόνα 100: Πλήρες exploded view του full assembly



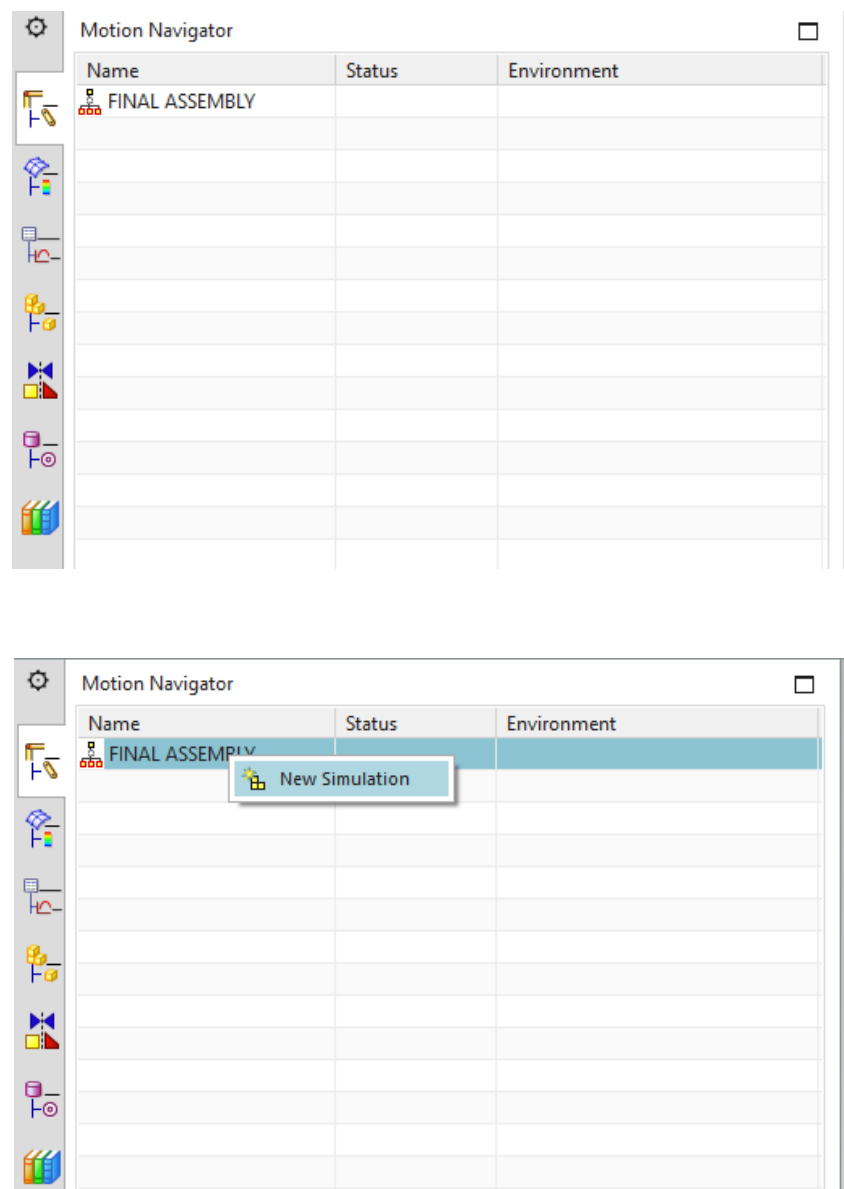
Εικόνα 101: Κοντινό exploded view του full assembly



Εικόνα 102: Draft του exploded view του full assembly

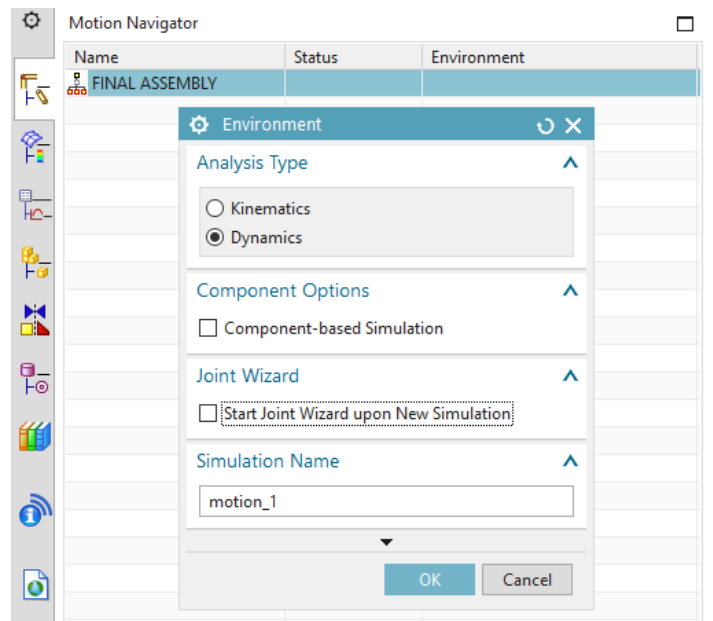
3.6 Motion Simulation

Για την Προσομοίωση της κίνησης (Motion Simulation), μέσω του Full Assembly θα πάμε από την καρτέλα “Application” στην επιλογή “Motion”. Για να ξεκινήσουμε κάνουμε δεξί κλικ στον “FINAL ASSEMBLY”, στην καρτέλα του Motion Navigator, και επιλέγουμε “New Simulation”.



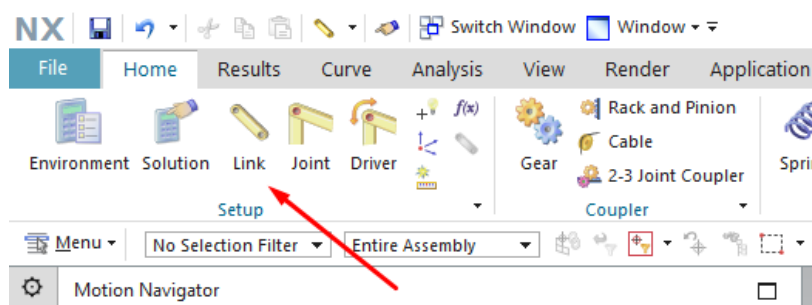
Εικόνα 103: Δημιουργία “New Simulation”

Στον πίνακα “Environment” που εμφανίζεται επιλέγουμε την επιλογή “Dynamics” και αποεπιλέγουμε την χρήση του “Joint Wizard”.



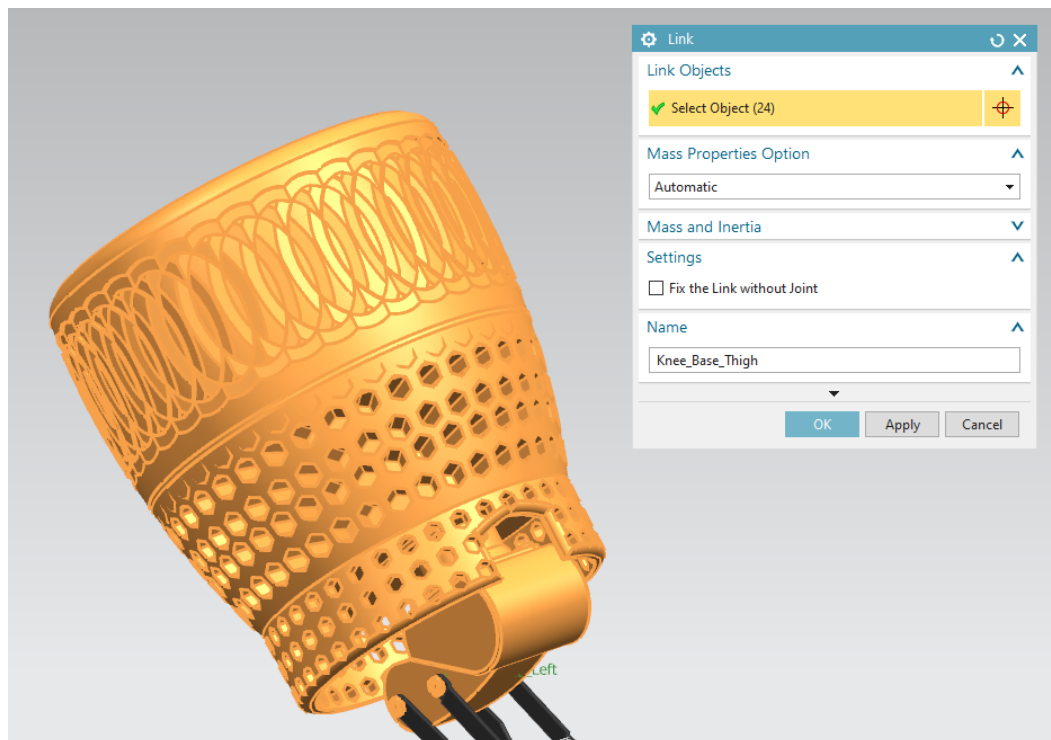
Εικόνα 104: Επιλογή τύπου ανάλυσης

Για να κάνουμε προσομοίωση όλων των δυνατών κινήσεων χρειαζόμαστε 4 Motion Simulation. Σε όλα θα γίνεται η κίνηση του γονάτου, όπως την είδαμε και παραπάνω, όμως με κάποιες διαφοροποιήσεις, η κίνηση του αστραγάλου θα γίνεται προς τα μπροστά, προς τα πίσω, προς τα αριστερά και προς τα δεξιά. Ξεκινάμε με τα “Links”.

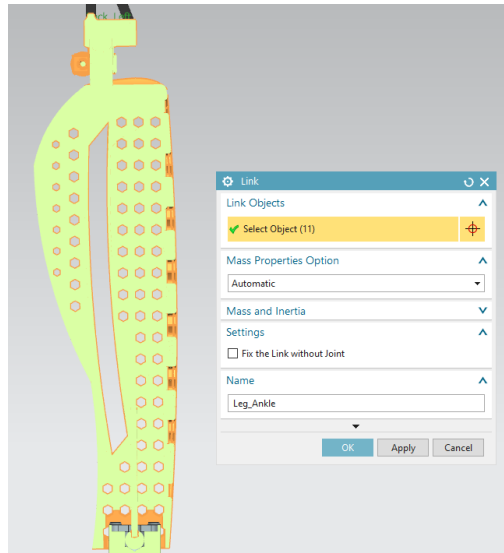


Εικόνα 105: Επιλογή “Link” στην καρτέλα “Home”

Φτιάχνουμε 4 Link, ένα για κάθε Part (Part 1, Part 1-Copy, Part 2, Part 2-Copy) και ονομάζουμε τα Link “Back_ Left”, “Back_Right”, “Front_Left” και “Front_Right”. Στην συνέχεια φτιάχνουμε ένα Link με όλα τα μέρη από τις πάνω βίδες του γονάτου και πάνω (Screw 3, Screw 4, Screw nut 3, Screw nut 4m, Knee Main, Knee Pyramid Adapter, Thigh Pyramid Adapter – Clutch, Screw for Clutch x4, Up clutch minibolt x4, Thigh Screw x4, Μηρός mk3) το οποίο ονομάζουμε “Knee_Base_Thigh” και ένα δεύτερο Link με τα Knee Base, Screw 1, Screw 2, Screw nut 1, Screw nut 2, Quick Release Clamp Assembly, Καλάμι mk7, Rod και Sphere του αστραγάλου το οποίο ονομάζουμε “Leg_Ankle”.



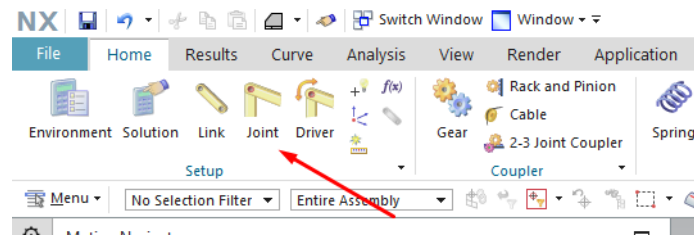
Εικόνα 106: Δημιουργία του “Knee_Base_Thigh” link



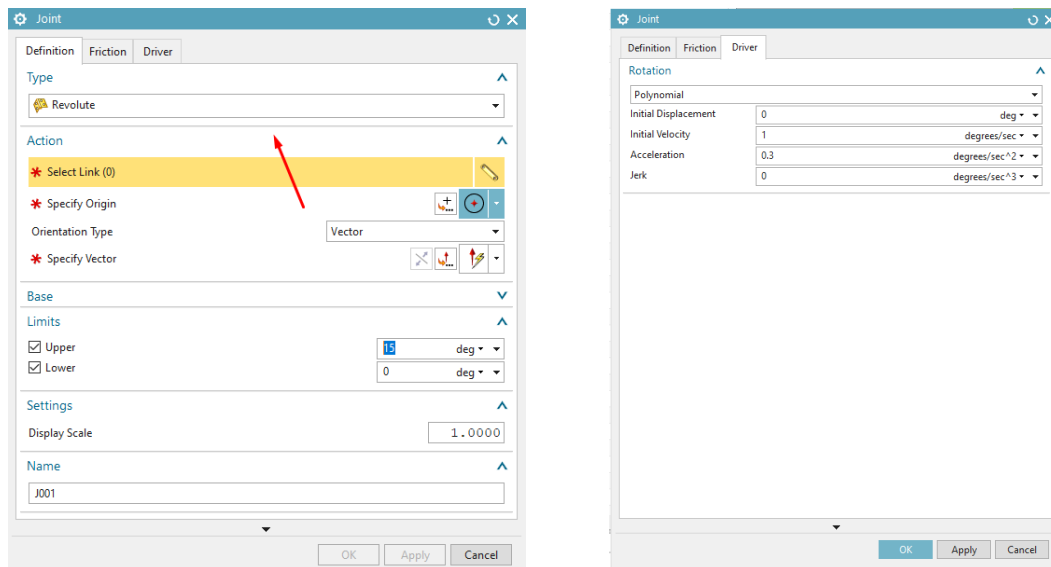
Εικόνα 107: Δημιουργία του “Leg_Ankle” link (Clip section)

Μετά φτιάχνουμε τα “Joints”. Χρησιμοποιούμε για όλες τις κινήσεις το Revolute ως Type. Φτιάχνουμε **4 Joints**, ένα για κάθε Part του γονάτου, διαλέγοντας ως Origin το κέντρο των Screw (από δεξιά διαλέγουμε το κέντρο της κεφαλής του κοχλία και από αριστερά τον πάτο του κοχλία, κοιτάζοντας το πόδι από πίσω) και ως Vector (Διεύθυνση) το X-axis με την αντίθετη διεύθυνση του XC. Στην επιλογή Base διαλέγουμε ως Link το Leg_Ankle και στα 4 Joints, χωρίς να κάνουμε Snap Links. Ενεργοποιούμε τα Limits βάζοντας στο Upper 15° και στο Lower 0°. Στα δύο μπροστινά Part (Front_Left, Front_Right) στην καρτέλα Driver διαλέγουμε στο Rotation τον τύπο Polynomial, αλλάζοντας το Initial Velocity σε 4 και το Acceleration σε 0.2. Στα δύο πίσω (Back_Left, Back_Right) κάνουμε το ίδιο με την διαφορά ότι το Initial Velocity είναι στο 4.4. Χρειαζόμαστε ένα τελευταίο **Joint** για να γίνει σωστά η προσομοίωση της κίνησης του γονάτου. Κάνουμε Revolute ξανά διαλέγοντας ως Link το Knee_Base_Thigh με Origin το κέντρο της κεφαλής του κοχλία (Screw 4) και ως Vector (Διεύθυνση) το X-axis, όμως αυτή τη φορά με την διεύθυνση του XC.

Διαλέγουμε ως Base το Front_Right Link και όπως και πριν ενεργοποιούμε τα Limits βάζοντας στο Upper 15° και στο Lower 0°. Στην καρτέλα του Driver αλλάζουμε τα Initial Velocity σε 5.6 και Acceleration σε 0.2.



Εικόνα 108: Επιλογή “Joint” στην καρτέλα “Home”



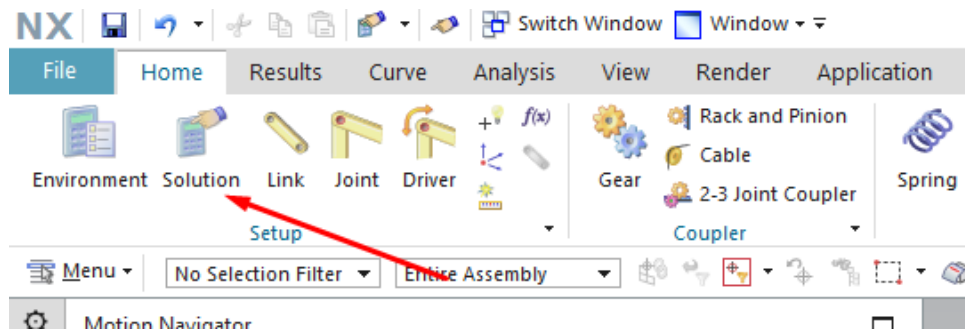
Εικόνα 109: Επιλογή “Revolute” τύπου “Joint” στην καρτέλα και παραμετροποίηση του “Driver”

Με τα **5** αυτά **Joints** προσομοιώνουμε την κίνηση του γονάτου. Μαζί με αυτά τα Joints προσθέτουμε ένα τελευταίο Joint για την κίνηση του αστραγάλου. Διαλέγουμε το Revolute στο Type ξανά διαλέγοντας ως Link το Leg_Ankle. Ως Origin διαλέγουμε το κέντρο της μπάλας και ο λόγος που χρειαζόμαστε 4 προσομοιώσεις είναι γιατί διαλέγοντας κάθε φορά διαφορετικό Vector (Διεύθυνση) παίρνουμε και διαφορετική κίνηση.

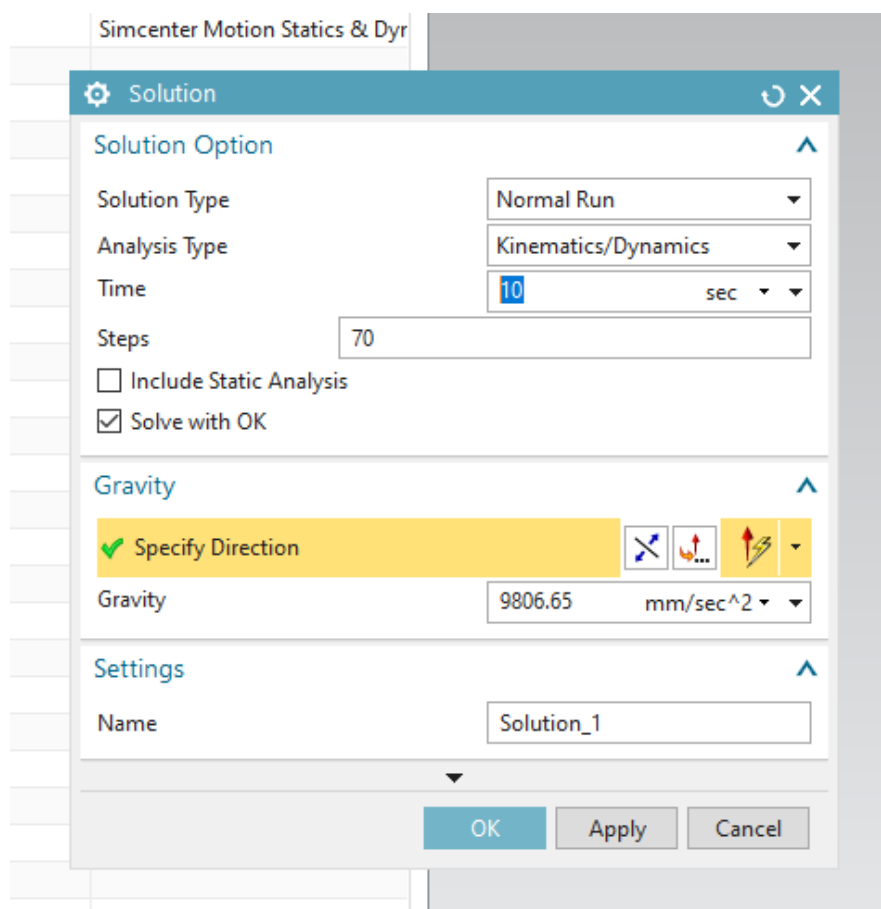
- Για την κίνηση προς τα πίσω διαλέγουμε το X-axis με την διεύθυνση του XC
- Για την κίνηση προς τα μπροστά διαλέγουμε το X-axis με την αντίθετη διεύθυνση του XC
- Για την κίνηση προς τα αριστερά διαλέγουμε το Y-axis με την διεύθυνση του YC
- Για την κίνηση προς τα δεξιά διαλέγουμε το Y-axis με την αντίθετη διεύθυνση του YC

Στην καρτέλα του Driver αλλάζουμε τα Initial Velocity σε 1 και Acceleration σε 0.3.

Τέλος πατάμε στην επιλογή “Solution” και διαλέγουμε στο Solution Type: Normal Run, στο Analysis Type: Kinematics/ Dynamics, στο Time: 10 sec, στο Steps: 70. Διαλέγουμε το “Solve with OK” και πατάμε OK. Για να δούμε την προσομοίωση πατάμε στο κουμπί «Animation» και έπειτα στο κουμπί “Play”.



Εικόνα 110: Επιλογή “Solve” στην καρτέλα “Home”



Εικόνα 111: Παραμετροποίηση της επίλυσης

4. 3D Εκτύπωση Προσθετικού Ποδιού

4.1. Μετατροπή του αρχείου .prt σε κώδικα 3D printing

Για την υλοποίηση του 3D Printing χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό για slicing “Ultimaker Cura 5.0”. Slicing ονομάζεται η διαδικασία μετατροπής ενός αρχείου σε g code, τον κώδικα που δέχονται δηλαδή οι 3D εκτυπωτές.

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας μετατροπής του αρχείου είναι να γίνει εξαγωγή του αρχείου .prt σε .stl, δηλαδή σε αρχείο **Standard Triangle Language**. Διαλέγοντας στο ήδη ανοιγμένο αρχείο στο περιβάλλον του NX Siemens από την κεντρική μπάρα την καρτέλα “File” διαλέγουμε την εντολή “Export to STL File”, διαλέγοντας της αντίστοιχες ανοχές στην απεικόνιση του τεμαχίου που θέλουμε. Η εντολή αυτή δημιουργεί ένα αρχείο στο οποίο απεικονίζεται μόνο η γεωμετρία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου, χωρίς περαιτέρω πληροφορίες για το χρώμα ή το υλικό από το οποίο έχει οριστεί να είναι φτιαγμένο. Στην συνέχεια στο περιβάλλον του Ultimaker Cura 5.0 ανοίγουμε το αρχείο .stl που φτιάξαμε. Είναι αξιοσημείωτο ότι μπορούμε να εντάξουμε παραπάνω από ένα αρχείο .stl σε κάθε μετατροπή σε g κώδικα.

Στο περιβάλλον του Cura μας δίνονται πολλές επιλογές παραμετροποίησης της εκτύπωσης. Η πρώτη επιλογή που δίνεται είναι η επιλογή του μοντέλου του εκτυπωτή στον οποίο θέλουμε να γίνει η μετατροπή του κώδικα. Για την εκτύπωση των τεμαχίων χρησιμοποιήθηκε ο Creality CR-10S PRO με ακροφύσιο (nozzle) διαμέτρου 0,6mm.



Εικόνα 15: 3D εκτυπωτής Creality CR-10S PRO

Ο συγκεκριμένος εκτυπωτής έχει δυνατότητα εκτύπωσης τεμαχίου διαστάσεων έως και 300x300x400mm και χρησιμοποιεί σαν νήμα εκτύπωσης νήμα PLA (Polylactic Acid), το οποίο δημιουργείται από φυτικά παράγωγα. Το υλικό που θα επιλέξουμε καθορίζει δύο πολύ σημαντικές τιμές για την εξασφάλιση μιας σωστής και ομαλής εκτύπωσης, την θερμοκρασία του ακροφυσίου του εκτυπωτή και την θερμοκρασία της επιφάνειας εκτύπωσης. Συνήθως αυτές κυμαίνονται σε 190-220°C και 50-70°C αντίστοιχα, όμως οι τιμές ορίζονται με μικρότερη ανοχή πάνω στην συσκευασία του υλικού.

Ανοίγουμε το αρχείο το οποίο θέλουμε να επεξεργαστούμε και με την χρήση του ποντικιού ή με εισαγωγή παραμέτρων από την αριστερή μπάρα μπορούμε να μετακινήσουμε το τεμάχιο ακριβώς στο σημείο που θέλουμε να εκτυπωθεί. Επιπλέον μπορούμε να το περιστρέψουμε ή να αλλάξουμε την κλίμακα στην οποία θέλουμε να εκτυπωθεί. Η περιστροφή είναι σημαντική καθώς ανάλογα την μορφή του τεμαχίου μπορεί η εκτύπωση του σε οριζόντια θέση να φέρει λιγότερες αστοχίες από ότι η εκτύπωση του ίδιου τεμαχίου σε κάθετη θέση.

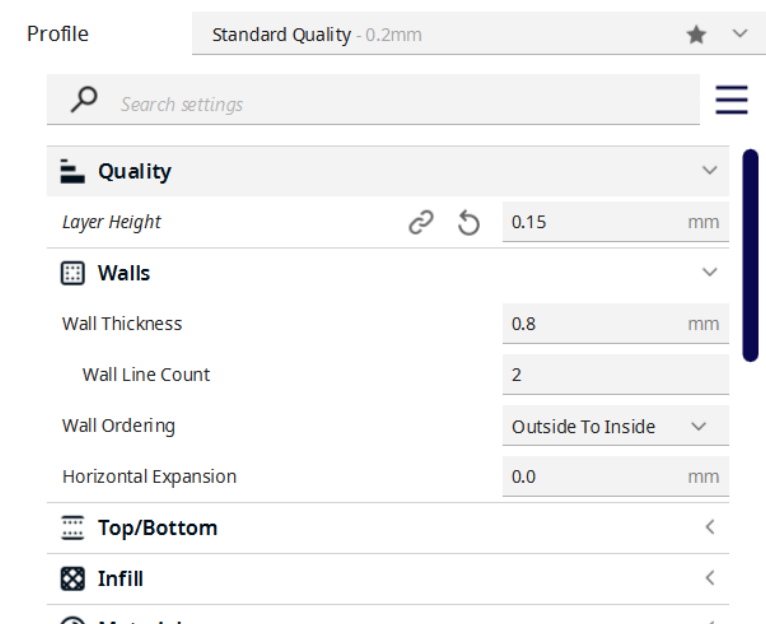
Οι παράμετροι που αφορούν την ποιότητα της εκτύπωσης βρίσκονται στο δεξί μέρος της πάνω μπάρας, με πρώτη επιλογή να είναι η ποιότητα εκτύπωσης, η οποία είναι αντίστοιχη του ύψους στρώματος (Layer Height). Όσο μικρότερη τιμή βάλουμε στην επιλογή έχουμε μια αντίστοιχα καλύτερης ποιότητας εκτύπωση αλλά και μια πιο κοστοβόρα εκτύπωση.

Υπάρχουν οι εξής 4 προεπιλογές:

- 1) Super Quality – 0.12mm
- 2) Dynamic Quality – 0.16mm
- 3) Standard Quality – 0.20mm
- 4) Low Quality – 0.28mm

Μπορούμε να βάλουμε όμως και μία ενδιάμεση τιμή. Στις εκτυπώσεις του τεμαχίου επιλέχθηκε το ύψος στρώματος να είναι στα 0.15mm. Η επόμενη επιλογή αφορά τα τοιχώματα του τεμαχίου (Walls). Η πρώτη επιλογή είναι το πάχος του τοιχώματος (Wall Thickness). Η συγκεκριμένη παράμετρος πρέπει να είναι πολλαπλάσιο της τιμής της διαμέτρου του ακροφυσίου που χρησιμοποιείται, αλλιώς βάζοντας έναν ακέραιο αριθμό στην επιλογή Wall Line Count, το γινόμενο του ακεραίου με την

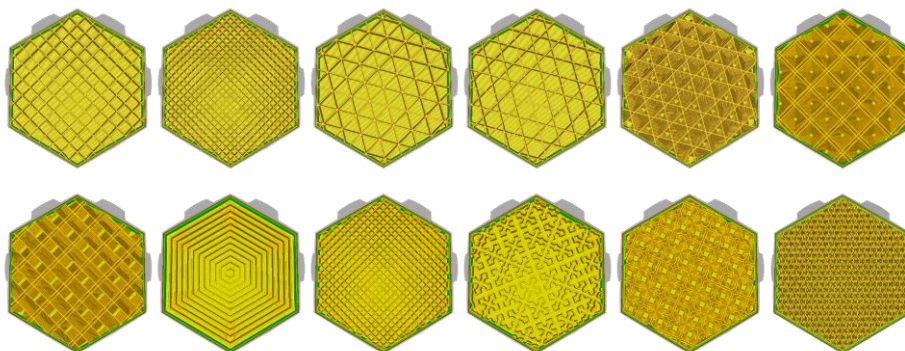
διάμετρο του ακροφυσίου ισούται με το πάχος του τοιχώματος. Στην δικιά μας περίπτωση έχουμε ορίσει το Wall Line Count στο 2 επομένως το πάχος του τοιχώματος είναι ίσο με 1.2mm. Το ίδιο που ισχύει για το ύψος του στρώματος ισχύει και εδώ, δηλαδή μια μεγαλύτερη τιμή δημιουργεί ένα πιο σταθερό τεμάχιο με μεγαλύτερο κόστος υλικού. Επιπλέον επιλέγουμε η εκτύπωση των τοιχωμάτων να γίνει από έξω προς τα μέσα (Wall Ordering – Outside to Inside) για να έχουμε καλύτερη διαστασιολογική ακρίβεια.



Εικόνα 113: Παραμετροποίηση στο Ultimaker Cura 5.0

Οι εκτυπώσεις των τεμαχίων γίνονται από κάτω προς τα πάνω. Αυτό δικαιολογεί την ύπαρξη της επόμενης παραμέτρου, η οποία καθορίζει το πάχος της πρώτης και της τελευταίας στρώσης του τεμαχίου (Top/Bottom). Όπως και στην παραμετροποίηση των τοιχωμάτων, έτσι και εδώ συνιστάται η χρήση πολλαπλάσιου της διαμέτρου του ακροφυσίου, αλλιώς υπάρχει η επιλογή εισαγωγής αριθμού στρώσεων, όπου πολλαπλασιάζοντας με την διάμετρο του ακροφυσίου μας βγάζει το πάχος των στρώσεων. Υπάρχει και η δυνατότητα εισαγωγής διαφορετικής τιμής για την πρώτη και την τελευταία στρώση. Στα τεμάχια προς εκτύπωση διαλέξαμε και για τις δύο τιμές τον ακέραιο 5, επομένως το πάχος των στρώσεων είναι 3.0mm.

Η επόμενη παράμετρος είναι πολύ σημαντική για την αντοχή του τεμαχίου αλλά και την χρήση υλικού και το συνολικό χρόνο περάτωσης της εκτύπωσης. Η παράμετρος infill, είναι το ποσοστό στο οποίο θα συμπληρωθεί εσωτερικά του τεμαχίου υλικό αλλά και ο τρόπος με τον οποίο θα συμπληρωθεί. Στα τεμάχια που σκοπός είναι η παρουσίαση και η εξωτερική εμφάνιση προτιμάται ένα ποσοστό γέμισης (Infill Density) της τάξης των 20% και ένα μοτίβο (Infill Pattern) που ευνοεί την ταχύτητα της εκτύπωσης. Στην περίπτωση λοιπόν που θα θέλαμε το πόδι να είναι λειτουργικό θα προτιμούσαμε ένα ποσοστό γέμισης της τάξεως των 50% και ένα μοτίβο με μεγάλη αντοχή όπως είναι το τριγωνικό (Triangles), το τρι-εξαγωνικό (Tri-hexagon) ή το κυβικό (Cubic). Στην δικιά μας περίπτωση χρησιμοποιήσαμε ποσοστό γέμισης 15% και το μοτίβο “lightning”, το οποίο δημιουργεί παροδικά περισσότερες διακλαδώσεις προς την κορυφή της εκτύπωσης με σκοπό το αποτέλεσμα να είναι ποιοτικό, ενώ παράλληλα γίνεται εξοικονόμηση υλικού και χρόνου.



Εικόνα 114: Διάφορα μοτίβα γεμίσματος

Στην συνέχεια έχουμε τις παραμέτρους για την θερμοκρασία του ακροφυσίου και της επιφάνειας εκτύπωσης, όπου όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, εξαρτώνται από το υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε. Στην δική μας περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το ίδιο PLA για όλα τα τεμάχια, με διαφορετικό όμως χρώμα. Η διαφορά στο χρώμα αποτελεί ένα χαρακτηριστικό που αλλάζει τις παραμέτρους θερμοκρασίας της εκτύπωσης. Τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το “Dark Blue” και το “Red” της “Neema3D”, τα οποία κυμαίνονται στις ίδιες θερμοκρασίες. Στο Cura επιλέχθηκαν θερμοκρασία ακροφυσίου στους 205°C και θερμοκρασία επιφάνειας εκτύπωσης στους 53°C. Υπάρχει και η δυνατότητα αλλαγής της ταχύτητας εκτύπωσης, όμως προτιμήθηκε η συνιστάμενη, στα 50mm/s.

Τέλος, σε περίπτωση που η μορφή του τεμαχίου δεν επιτρέπει την ομαλή εκτύπωση λόγω ιδιοτήτων όπως εξογκώματα, ή υλικό μακριά από τον κύριο κορμό του τεμαχίου, χρειάζεται η παραγωγή στηριγμάτων από το Cura. Στην καρτέλα “Support” υπάρχει αρχικά η επιλογή ενεργοποίησης της ενέργειας. Από κάτω δίνονται δύο επιλογές στον τρόπο τοποθέτησης στηριγμάτων (Support Placement) στο τεμάχιο, είτε από την βάση της εκτύπωσης και πάνω (Touching build plate), είτε παντού (Everywhere), το οποίο σημαίνει ότι θα εκτυπωθούν στηρίγματα οπουδήποτε προβλέπετε από το Cura, ακόμα και σε οπές του μοντέλου. Με την παράμετρο “Overhang Angle” διαλέγουμε το ποσοστό στήριξης που θα χρησιμοποιήσουμε. Η μεταβλητή παίρνει τιμές από 0° έως 90°, όπου στις 0° υπάρχει η μέγιστη δυνατή στήριξη, ενώ στις 90° δεν υπάρχει στήριξη. Όπως προηγουμένως στο infill έτσι και εδώ υπάρχει πληθώρα επιλογών στον τρόπο δημιουργίας της στήριξης (Support Pattern) ανάλογα με τον ρόλο που θέλουμε να έχει το στηρίγμα.



Εικόνα 11516: Διάφορα μοτίβα γέμισης στηριγμάτων

Έχοντας διαλέξει τις προτιμητέες ρυθμίσεις για την εκτύπωση μας, πατάμε στο κουμπί “Slice” για να γίνει η μετατροπή του αρχείου σε .gcode, σε αρχείο κώδικα δηλαδή που διαβάζει ένας 3D εκτυπωτής. Μετά το τέλος της μετατροπής μας δίνεται ο εκτιμώμενος χρόνος περάτωσης της εκτύπωσης καθώς και η ποσότητα του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί. Είναι αξιοσημείωτο ότι η διαδικασία εκτύπωσης ενός τεμαχίου είναι μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, εξαρτώμενη βέβαια από το μέγεθος του τεμαχίου αλλά και τις προτιμήσεις στην εκτύπωση. Μεταφέροντας το αρχείο στον εκτυπωτή μπορούμε να ξεκινήσουμε την εκτύπωση. Πριν όμως πατήσουμε το κουμπί της εκκίνησης πρέπει να εξασφαλίσουμε την ακεραιότητα κάποιων παραγόντων έτσι ώστε να έχουμε μια ορθή εκτύπωση.

4.2 Αστοχίες κατά την εκτύπωση

- Ευθυγράμμιση (Alignment)

Είναι σημαντικό πριν την έναρξη της εκτύπωσης να βεβαιωθούμε ότι έχει γίνει σωστή ευθυγράμμιση (alignment) στον εκτυπωτή. Υπάρχει η πιθανότητα είτε το ακροφύσιο να χαράξει την επιφάνεια εκτύπωσης αν αυτό είναι πολύ χαμηλά ή στην αντίθετη περίπτωση η εκτύπωση να ξεκινήσει στον αέρα, επομένως να βγει και λανθασμένη.

- Μετακίνηση τεμαχίου

Σε περίπτωση που μετακινηθεί το τεμάχιο κατά την διάρκεια της εκτύπωσης, αυτό συνεπάγεται αμέσως αστοχία καθώς το υπόλοιπο της εκτύπωσης είναι εκτός των αρχικών συντεταγμένων. Ένα πρώτο βήμα για την αποφυγή αυτού είναι η χρήση κόλλας, συνήθως σε μορφή spray, στην επιφάνεια εκτύπωσης, πριν αυτή φτάσει την τελική της θερμοκρασία. Στο κάθε προϊόν αναγράφεται η ιδανική θερμοκρασία της επιφάνειας για την εφαρμογή της κόλλας. Επιπλέον πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι το έπιπλο στο οποίο στηρίζεται ο εκτυπωτής είναι σταθερό και δεν υπάρχουν άλλοι εξωγενείς παράγοντες που μπορεί να μετακινήσουν τον εκτυπωτή κατά την διάρκεια της εκτύπωσης.

- Επιπλοκές στην τροφοδοσία υλικού

Πριν την εκτύπωση πρέπει να βεβαιωθούμε ότι το νήμα PLA έχει τοποθετηθεί σωστά στον σωλήνα τροφοδοσίας. Αυτό γίνεται θερμαίνοντας το ακροφύσιο στους 190-220°C ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε, και οδηγώντας το χειροκίνητα προς το ακροφύσιο. Όταν αυτό αρχίσει να βγαίνει από το ακροφύσιο σημαίνει ότι έχει τοποθετηθεί σωστά. Υπάρχει η πιθανότητα υπερχειλίσης του υλικού σε περίπτωση που υπάρχει κάποια ανωμαλία στο νήμα, καθώς και η πιθανότητα κοπής

του υλικού κατά την διάρκεια της εκτύπωσης. Σε περίπτωση κοπής του υλικού η εκτύπωση μπορεί να συνεχίσει από εκεί που σταμάτησε τοποθετώντας εκ νέου το υλικό και συνεχίζοντας την εκτύπωση από τον εκτυπωτή.

- Λεπτομέρειες στα μικρότερα τεμάχια



Εικόνα 116: Εκτύπωση τεμαχίου "2-way bolt", εμφανής υπερχειλίση υλικού με αποτέλεσμα ανακρίβειας σπειρώματος

Κατά την διάρκεια των εκτυπώσεων μικρότερων τεμαχίων, ειδικά άμα απαιτείται η χρήση στηριγμάτων, παρατηρείται η ανάγκη φινιρίσματος του τεμαχίου για την απομάκρυνση περισσευούμενου υλικού ή λείανσης της επιφάνειας συνήθως με την χρήση γυαλόχαρτου. Σημαντική επίσης είναι η αδυναμία εκτύπωσης ακριβών σπειρωμάτων, εσωτερικών ή εξωτερικών. Για τον λόγο αυτό προτιμήθηκε στην τελική συναρμολόγηση του προσθετικού ποδιού οι κοχλίες να είναι από ατσάλι και όχι εκτυπωμένη με PLA.

4.3 Τελικό αποτέλεσμα εκτύπωσης

Οι εκτυπώσεις όλων των τεμαχίων χρειάστηκαν πολλές μέρες και δοκιμές και όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι κοχλιοσυνδέσεις δεν έγιναν με τεμάχια από PLA αλλά από κοχλίες και παξιμάδια από ατσάλι. Παρακάτω είναι τα αποτελέσματα τις εκτύπωσης και η τελική συνδεσμολογία. Χρειάστηκαν περίπου 200 ώρες εκτύπωσης και 2 Kg υλικού.



Εικόνα 117: Εκτύπωση του ποδιού



Εικόνα 118: Εκτύπωση και συναρμολόγηση του μηχανισμού του αστραγάλου



Εικόνα 119: Εκτύπωση και συναρμολόγηση του μηχανισμού "Quick Release Clamp"



Εικόνα 120: Εκτύπωση και συναρμολόγηση του μηχανισμού του γονάτου



Εικόνα 121: Εκτύπωση του καλαμιού



Εικόνα 122: Εκτύπωση του μηρού



Εικόνα 123: Τελική συναρμολόγηση του προσθετικού ποδιού

5. Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, η τεχνολογία των προσθετικών άκρων είναι πολύ σημαντική για την ανάκτηση της καθημερινότητας των ατόμων που είτε γεννήθηκαν χωρίς κάποιο άκρο είτε υπέστησαν ακρωτηριασμό. Η ανάπτυξη ενός προσθετικού άκρου απαιτεί την συνεργασία πολλών ειδικοτήτων, τόσο των θετικών επιστημών, όπως γιατροί και φυσικοθεραπευτές, όσο και σχεδιαστές και ειδικούς στην προσθετική. Σκοπός είναι το τελικό προϊόν να έχει τις μηχανικές ιδιότητες που θα το καταστήσουν λειτουργικό αλλά παράλληλα η εικόνα του να είναι κολακευτική για το άτομο που θα το φορέσει. Η ανάπτυξη και η παραγωγή ενός προσθετικού μέλους είναι μια πολύ κοστοβόρα διαδικασία, κάτι το οποίο μπορεί να ισορροπήσει η εισαγωγή της έννοιας της κυψελωτής δομής σε συνδυασμό με την τρισδιάστατη εκτύπωση (3D Printing). Η διαδικασία όμως εκτύπωσης ενός προσθετικού μέλους με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα και σίγουρα υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης όσο αφορά το τελικό αποτέλεσμα της εκτύπωσης. Με το πέρασμα του χρόνου και την περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνολογίας του 3D Printing η διαδικασία εκτύπωσης ενός προσθετικού μέλους θα είναι βιώσιμη και παράλληλα εξαιρετικά οικονομική.

Βιβλιογραφία

- "Aluminium honeycomb for Automotive & Road Vehicles". (χ.χ.). Huntingdon, Cambridgeshire, United Kingdom. Ανάκτηση από <https://corex-honeycomb.com/applications/automotive-road-vehicles/>
- "Aviation & Aerospace". (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://honylite.com/industries/aviation-aerospace/>
- "Brittania Bridge Completed 1850 - A Brief History". (2022). Ανάκτηση από <https://menabridges.co.uk/history/britannia-bridge/>
- "Danube Watch 2/2018 - Rediscovering Trajan's bridge over the Danube". (2018, February). Ανάκτηση από <https://www.icpdr.org/main/publications/danube-watch-2-2018-rediscovering-trajans-bridge-over-danube>
- "Hortons Orthotics and Prosthetics". (2015, August 19). Ανάκτηση από <https://www.hortonsoandp.com/how-microprocessor-controlled-prosthetic-knee-joints-have-enhanced-amputee-leg-movement-over-the-last-20-years/>
- "Lecture 35 Design Considerations: Prosthetic Knee". (2019, May 6). Ανάκτηση από <https://www.youtube.com/watch?v=tSDKWUw0URk>
- "Multi-Axis Prosthetic (MAP) Ankle: Guiding Amputees Towards Independence". (2017, April 13). Ανάκτηση από <https://www.youtube.com/watch?v=RKFeryK0CA8>
- "National trust collections". (χ.χ.). Ανάκτηση από [https://www.nationaltrustcollections.org.uk:
https://www.nationaltrustcollections.org.uk/object/1175888](https://www.nationaltrustcollections.org.uk:https://www.nationaltrustcollections.org.uk/object/1175888)
- "Truss Bridges". (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://bridges27blog.wordpress.com/trussbridges/>
- "USHA air coolers with EcoCool Honeycomb". (2019). Ανάκτηση από <https://www.ushaaircoolers.com/ecocool-honeycomb>
- (2011, July 18). Ανάκτηση από [www.econhp.com: http://www.econhp.com/history/](http://www.econhp.com/history/)

- Abigail, M. (χ.χ.). *"Famous Hispanic Americans"*. Fayetteville Technical Community College, North Carolina. Ανάκτηση από <https://www.coursehero.com/file/15942641/Famous-Hispanic-Americans/>
- Ashmore, K. B., Cialdella, S. M., Giuffrida, A. M., Kon, E. M., Marcacci, M. M., & Di Matteo, B. M. (2019, September). Gottfried "Götz" von Berlichingen—The "Iron Hand" of the Renaissance. *ArtiFacts*. Ανάκτηση από <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7000084/>
- Bender, E. (2015, September 9). The History of Prosthetics. *UNYQ*. Ανάκτηση από <https://unyq.com/the-history-of-prosthetics/>
- Bitzer, T. (1997). *"Honeycomb Technology: Materials, Design, Manufacturing, Applications and Testing"*. London, U.K: Chapman & Hall . Ανάκτηση από <https://books.google.gr/books?id=oBNSdDN84hIC&printsec=frontcover&hl=el#v=onepage&q&f=false>
- Brian, S. H., Pine, B. R., & Jacobs, R. J. (2015). *"Clinical Ocular Prosthetics"*. Cham, Sweden: Springer Science+Business Media. Ανάκτηση από <https://books.google.gr/books?id=920nCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=el#v=onepage&q&f=false>
- Burns, A. (2022, March 1). "Stephenson's "Planet" Locomotive". Ανάκτηση από <https://www.american-rails.com/planet.html>
- Caroll, K. M., Baird, J. C., & Binder, K. C. (2006). "Transfemoral Prosthetic Designs". Στο K. M. Caroll, & J. M. Edelstein, *"Prosthetics and Patient Management: A Comprehensive Clinical Approach"*. Slack Incorporated. Ανάκτηση από <https://web.archive.org/web/20071102090100/http://www.slackbooks.com/excerpts/46712/46712.asp>
- Cohen, J. (2020, December 03). *"Parker"*. Ανάκτηση από <https://blog.parker.com/site/usa/en-US/details-home-page/emi-shielding-honeycomb-air-vent-panel-design-features-us>
- Corfu-bee's weblog. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://corfubee.files.wordpress.com/2008/05/imgp0212.jpg>

- Fischer, L. P., Planchamp, W., Fischer, B., & Chauvin, F. (2000, January - March). "The first total hip prostheses in man (1890 - 1960)". *34(1)*, σσ. 57-70.
Ανάκτηση από <http://www.clinicalgaitanalysis.com/history/prosthetics.html>
- Goldberg, J. (2014). "On Paré and Prosthetics". Ανάκτηση από <https://nyamcenterforhistory.org/tag/pieter-adriaanszoon-verduyn/>
- Gorino, C. (2020, September 23). "A Short History of Prosthetics". Ανάκτηση από <https://synergypo.com/blog/a-short-history-of-prosthetics/>
- Graffy, C. (1889). "*Daedalus*". Ανάκτηση από <https://www.pafa.org/museum/collection/item/daedalus>
- Gregersen, E. (Επιμ.). (χ.χ.). *Britannica*. Ανάκτηση από <https://www.britannica.com/biography/Hugo-Junkers>
- History Extra*. (2021, September 20). Ανάκτηση από <https://www.historyextra.com/period/ancient-greece/how-archimedes-took-on-the-romans/>
- Holl, W. (χ.χ.). *A portrait of Ambroise Paré*. Ανάκτηση από https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ambroise_Par%C3%A9.jpg
- LeTourneau Prosthetics. (χ.χ.). "Prosthetics – An Education Of Artificial Limbs And Limb Replacement For Amputees". Beaumont, Texas, U.S.A. Ανάκτηση από <https://www.llop.com/prosthetics/>
- Lienhard, J. H. (1988 - 2002). "No. 1705: A 3000-year old toe". Houston, Texas, U.S.A. Ανάκτηση από <https://uh.edu/engines/epi1705.htm>
- Meifeng , H., & Wenbin, H. (2006, May 23). *Science Direct*. Ανάκτηση March 19, 2007, από [www.sciencedirect.com: https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0261306907000659?token=D0E7878058BC5D45B6F4748AD61F76A36E42DE95FA6DC45AC9957E630575EF5E209E751EEB0E39DDD1580A7A544C45C9&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220216111615](https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0261306907000659?token=D0E7878058BC5D45B6F4748AD61F76A36E42DE95FA6DC45AC9957E630575EF5E209E751EEB0E39DDD1580A7A544C45C9&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220216111615)
- Morton, E. (2015, November 3). Object of Intrigue: the Prosthetic Iron Hand of a 16th-Century Knight. Ανάκτηση από

<https://www.atlasobscura.com/articles/object-of-intrigue-the-prosthetic-iron-hand-of-a-16thcentury-knight>

Otto Bock. (χ.χ.). "bebionic Hand EQD". Berlin, Germany. Ανάκτηση από ottobock.com: <https://www.ottobock.com/en-us/product/8E70>

Physiopedia. (2015, April 17). Ανάκτηση από https://www.physiopedia.com/File:Quadrilateral_socket_Transversal_view.png

Pinterest. (χ.χ.). Ανάκτηση από <https://gr.pinterest.com/pin/896286763315326842/>

Preuschoft, H., Witte, H., & Witzel, U. (2002, March). "Pneumatized spaces, sinuses and spongy bones in the skulls of primates". Ανάκτηση από <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12058578/>

Qiancheng, Z., Xiaohu, Y., Peng, L., Guoyou, H., Shangsheng, F., Cheng, S., . . . Tian, J. (2014, October 29). "Bioinspired engineering of honeycomb structure – Using nature to inspire human innovation". China: Elsevier Ltd. Ανάκτηση July 7, 2015, από <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642515000377#b0005>

Research Gate. (2002, May). Ανάκτηση από www.researchgate.net: https://www.researchgate.net/figure/Honeycomb-sandwich-panel_fig1_228831458

Romm, S. M. (1989, July). "Arms by Design, From Antiquity to the Renaissance". *"Plastic and Reconstructive Surgery"*, σσ. Volume 84 - p158-163. Ανάκτηση από https://journals.lww.com/plasreconsurg/Citation/1989/07000/Arms_by_Design_From_Antiquity_to_the_Renaissance.29.aspx

Rudin, A. (2008). *"Example of Composite Sandwich Repair: Gouge in a 747 Fore Flap"*. Ανάκτηση από http://www.sandwichpanels.org/articles/wing_repair.html

Structurae. (2008, January 16). Ανάκτηση από www.structurae.net: <https://structurae.net/en/media/233469-britannia-bridge>

Thomas, G. P. (2013, April 05). *AZO MATERIALS*. Ανάκτηση από <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8379>

- Tikkanen, A. (Επιμ.). (χ.χ.). "*Truss*". Ανάκτηση από Brittanica:
<https://www.britannica.com/technology/truss-building>
- Vanderwerker, E. E. (2005). "A Brief Review of the History of Amputations and Prostheses". Rosemont, Illinois, U.S.A. Ανάκτηση από
https://web.archive.org/web/20071014173159/http://www.acpoc.org/library/1976_05_015.asp
- Website, A. C. (2020, May - June). "History of the prosthetic leg through the ages". *inMotion magazine*, σσ. 34-35. Ανάκτηση από https://www.amputee-coalition.org/inmotion_online/inmotion-30-03-web/34/
- Williams, T. (2017). "Ventilation panels". Στο "*EMC for Product Designers*" (5η έκδοση εκδ.). Elsevier Ltd. Ανάκτηση από
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/shielded-enclosure>
- Woodman, R. (19th Century). "*Portrait of Andrea Palladio (1508-1580)*". Ανάκτηση από
<https://www.thoughtco.com/andrea-palladio-influential-renaissance-architect-177865>
- www.istockphoto.com.* (2017, January 02). Ανάκτηση από
<https://www.istockphoto.com/photo/honeycomb-high-quality-picture-gm627864674-111284683>
- Ηρόδοτος. (450 π.Χ.). "*Ηροδότου Ιστορίαι*" (Τόμ. 9ος [Θ' (Καλλιόπη)]). Ελλάδα. Ανάκτηση από
<https://www.perseus.tufts.edu/hopper/text?doc=Perseus%3Atext%3A1999.01.0126%3Abook%3D9%3Achapter%3D37%3Asection%3D1>