



Πολυτεχνείο
Κρήτης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2019

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΩΝ ΜΕΛΩΝ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ CAD/CAM NX

DEVELOPMENT AND DESIGN OF PROSTHETIC PARTS
USING A CAD/CAM NX SOFTWARE

ΤΑΡΑΤΣΑ ΤΑΤΙΑΝΑ - ΦΩΤΕΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΙΛΛΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα Εικόνων	4
Περίληψη	8
1. Εισαγωγή	9
1.1 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας	9
1.2 Αναφορά τρόπου προσέγγισης του προβλήματος και μεθοδολογία.....	10
1.3 Ιεραρχική σχεδίαση (Top-down design)	10
2. Προσθετικά μέλη.....	16
2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή και εξέλιξη προσθετικών μελών.....	16
2.1.1 Ιστορικές πληροφορίες άνω προσθετικού μέλους.....	16
2.1.2 Ιστορικές πληροφορίες κάτω προσθετικού μέλους.....	19
2.1.3 Σύγχρονη προσθετική.....	23
2.2 Υλικά κατασκευής προσθετικών άκρων	24
2.3 Κατασκευή και απαιτήσεις κατασκευής	27
2.3.1 Διαδικασία κατασκευής κάτω προσθετικών άκρων.....	28
2.3.2 Κατασκευή της πρόσθεσης.....	30
2.4 Κατασκευαστικές εταιρείες.....	31
3. Σχεδιαστικό πρόγραμμα NX Siemens.....	38
3.1 Συστήματα CAD/ CAM.....	38
3.2 Animation (motion - simulation)	40
4. Εφαρμογή.....	42
4.1 Άνω προσθετικό άκρο (Prosthetic hand).....	42
4.1.1 Θεωρητικό μέρος.....	42
4.1.2 Κόστος	43
4.1.3 Παρουσίαση αρχικών σχεδίων στο χαρτί	43
4.1.4 Motion Simulation (άνω προσθετικό άκρο – χέρι)	45
4.2 Κάτω προσθετικό άκρο (Prosthetic leg)	51
4.2.1 Συστατικά πρόσθεσης κάτω άκρου	51
4.2.2 Μηχανισμός γονάτου.....	52
4.2.3 Κόστος	53

4.2.4 Παρουσίαση σχεδίων στο χαρτί	54
4.2.5 Γενικές οδηγίες Top-Down σχεδίασης – Wave Geometry Linker.....	55
4.2.6 Σχεδιασμός κάτω προσθετικού άκρου με Top-Down σχεδίαση	58
4.2.7 Εφαρμογή Wave Geometry Linker	62
4.2.8 Motion Simulation (κάτω προσθετικό άκρο – πόδι)	64
5. Συμπεράσματα	69
6. Βιβλιογραφία.....	70

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας λειτουργίας της από πάνω προς τα κάτω σχεδίασης (πηγή: Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης, (2012) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα, σελίδα 192)	11
Εικόνα 2: Δημιουργία συναρμολόγησης σε μορφή δέντρου και με τη χρήση μοντέλων σκελετού (πηγή: Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης, (2012) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα, σελίδα 195)	14
Εικόνα 3: Προσθετικό άνω άκρο από σίδηρο (1500 μ.Χ.) (πηγή: https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6)	17
Εικόνα 4: Άνω προσθετικό μέλος (1900 μ.Χ.) (πηγή: https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6)	18
Εικόνα 5: Άνω προσθετικό μέλος από αλουμίνιο (1920) (πηγή: https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6)	18
Εικόνα 6: Άνω τεχνητό άκρο με χρήση μπαταρίας (1980) (πηγή: https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6)	19
Εικόνα 7: Τεχνητό κάτω άκρο από χαλκό (350 π.Χ.) (πηγή: https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6)	20
Εικόνα 8: Προσθετικό κάτω άκρο από τον James Poots (1800 μ.Χ.) (πηγή: http://prosthetics.umwblogs.org/antecedents/)	21
Εικόνα 9: The Hanger Limb (1861 μ.Χ.) (πηγή: http://unyq.com/the-history-of-prosthetics/)	22

Εικόνα 10: Τυπικό μοντέλο κάτω προσθετικού άκρου (πηγή: https://www.kenneyorthopedics.com/about/news/view/416/moving-from-a-temporary-to-a-definitive-prosthesis)	25
Εικόνα 11: Δημιουργία θήκης υποδοχής (πηγή: http://www.madehow.com/Volume-1/Artificial-Limb.html)	30
Εικόνα 12: Προσθετικό άκρο της εταιρείας Blatchford (μοντέλο LiNX) (πηγή: https://www.blatchford.co.uk/products/linx/)	31
Εικόνα 13: Μοντέλο nexo της εταιρείας Fillauer (πηγή: http://fillauer.com/Upper-Extremity-Prosthetics/nexo.php)	32
Εικόνα 14: Μοντέλο obsidian της εταιρείας Fillauer (πηγή: http://fillauer.com/Lower-Extremity-Prosthetics/feet/obsidian.php)	32
Εικόνα 15: Μοντέλο Aeris Performance 2 της εταιρείας Fillauer (πηγή: http://fillauer.com/Lower-Extremity-Prosthetics/feet/aeris-performance-2.php)	33
Εικόνα 16: Μοντέλο Balance Knee της εταιρείας Ossur (πηγή: https://www.ossur.co.uk/prosthetic-solutions/products/balance-solutions/balance-knee)	33
Εικόνα 17: Μοντέλο Pro-Flex Pivot της εταιρείας Ossur (πηγή: https://www.ossur.co.uk/prosthetic-solutions/products/dynamic-solutions/pro-flex)	34
Εικόνα 18: Bebionic Hand της εταιρείας Ottobock (πηγή: https://shop.ottobock.us/CPQ-Configurable-Category/Ottobock-bebionic-Hand/p/BB1000~50_B)	35
Εικόνα 19: Μοντέλο Genium της εταιρείας Ottobock (πηγή: https://shop.ottobock.us/Prosthetics/Lower-Limb-Prosthetics/Knees---Microprocessor/Genium/Genium/p/3B1-3~5ST)	35
Εικόνα 20: Μοντέλο Alpha DESIGN AK Liners της εταιρείας WillowWood (πηγή: https://www.willowwoodco.com/products-services/liners/custom/alpha-design-ak-liners/)	36
Εικόνα 21: Μοντέλο WillowWood One Transfemoral System (πηγή: https://www.willowwoodco.com/products-services/willowwood-one/willowwood-one-system/)	37
Εικόνα 22: Σκαρίφημα εξαρτημάτων δαχτύλων	43
Εικόνα 23: Σκαρίφημα παλάμης	44
Εικόνα 24: Υπολογισμός διακένου μεταξύ των εξαρτημάτων των δαχτύλων.	44
Εικόνα 25: Προσδιορισμός Link1	46
	47
Εικόνα 26: Προσδιορισμός Link2	47
Εικόνα 27: Καρτέλα του Driver	47
Εικόνα 28: Μοντέλο χεριού με διανύσματα κινήσεων	48
Εικόνα 29: Παρουσίαση κίνησης χεριού	48
Εικόνα 30: Σημείο εκκίνησης, όπου η γωνία α, β είναι 45 μοίρες	49
Εικόνα 31: Σημείο εκκίνησης όπου η γωνία α, β, γ είναι 45 μοίρες.	49
Εικόνα 32: Πλάγια προβολή παλάμης-καρπού (αρχικό σημείο)	50
Εικόνα 33: Πλάγια προβολή παλάμης-καρπού (τελικό σημείο)	50

Εικόνα 34: Μοντέλο μηχανισμού γόνατος που χρησιμοποιήθηκε ως "πρότυπο" για τη σχεδίαση του κάτω προσθετικού άκρου	53
Εικόνα 35: Αρχικό σχέδιο μηχανισμού γόνατος	55
Εικόνα 36: Δενδροδιάγραμμα σχεδίασης προσθετικού ποδιού	58
Εικόνα 37: Εισαγωγή σχέσεων από καρτέλα Tools, επιλέγοντας το εικονίδιο Expressions στο Work part	58
Εικόνα 38: Μέσο εξάρτημα γονάτου	59
Εικόνα 39: Επιγονατίδα	59
Εικόνα 40: Σύνδεσμος επιγονατίδας και μέσου εξαρτήματος γονάτου & βάση μηρού	60
Εικόνα 41: Μηρός και σύνδεσμος μηρού και βάσης του	60
Εικόνα 42: Βάση γονάτου	61
Εικόνα 43: Καλάμι ποδιού & σύνδεσμος βάσης γονάτου και καλάμι ποδιού	61
Εικόνα 44: Πέλμα & σύνδεσμος πέλματος με καλάμι ποδιού (Τελικό σχέδιο ποδιού)	62
Εικόνα 45: Προσδιορισμός Link 1	66
Εικόνα 46: Προσδιορισμός Link 2	66
Εικόνα 47: Παρουσίαση κίνησης ποδιού	67
Εικόνα 48: Πρόοψη γονάτου (αρχικό σημείο/τελικό σημείο)	68
Εικόνα 49: Πλάγια προβολή γονάτου (αρχικό σημείο/τελικό σημείο)	68
Εικόνα 50: Πλάγια προβολή γονάτου (αρχικό σημείο/τελικό σημείο)	68

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στη μοντελοποίηση και κατασκευή προσθετικών μελών, τις απαιτήσεις κατασκευής και το σκοπό τους. Αρχικά γίνεται ιστορική αναδρομή για την εξέλιξη της προσθετικής, τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην εξέλιξη των προσθετικών μελών καθώς και στη σύγχρονη εποχή που έχει φτάσει η τεχνογνωσία και η ποιότητα καθώς και ο βαθμός λειτουργικότητάς τους. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή των προσθετικών, στις ιδιότητές τους καθώς περιγράφεται και η διαδικασία κατασκευής των προσθετικών άκρων. Παράλληλα, παρουσιάζεται το σχεδιαστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε NX Siemens και γίνεται αναφορά στη λειτουργία του Wave Geometry Linker που χρησιμοποιήθηκε για τη σχεδίαση του κάτω προσθετικού άκρου. Παρουσιάζεται επίσης το κόστος αγοράς ενός προσθετικού άκρου ανάλογα με τις προδιαγραφές που έχει. Τέλος, παρουσιάζονται τα αρχικά σχέδια που έγιναν στο χαρτί καθώς και τα τελικά μοντέλα που σχεδιάστηκαν στο NX Siemens.

1. Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Η επιλογή των προσθετικών μελών ως αντικείμενο μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας έγινε διότι αποτελούν έναν τομέα ο οποίος εξελίσσεται σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Αφορά ένα αρκετά μεγάλο μέρος του πληθυσμού και η βελτίωση των προσθετικών μελών τόσο σε θέμα λειτουργικότητας όσο και σε θέμα αισθητικής θα έχει θετικό αντίκτυπο στους ανθρώπους που τα έχουν ανάγκη. Στατιστικά έδειξαν ότι το 1999 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (Η.Π.Α) υπήρξαν 9.985 ακρωτηριασμοί λόγω εργατικών ατυχημάτων. Με βάση τον τότε πληθυσμό των ΗΠΑ (περίπου 300.000.000) προέκυψε ότι οι ακρωτηριασμοί από εργατικά ατυχήματα ήταν 1 προς 30.000 κατοίκους [8]. Επομένως, σε παγκόσμια κλίμακα το ποσοστό ακρωτηριασμών και από άλλους παράγοντες, όπως ασθένειες ή τροχαία ατυχήματα, προβλέπει ότι θα υπάρχουν πολλοί άνθρωποι που χρειάζονται καλύτερες κατασκευές πρόσθετων μελών ώστε να έχουν έναν φυσιολογικό και άνετο τρόπο ζωής.

Σύμφωνα με πιο πρόσφατες στατιστικές μελέτες, που δημοσιεύθηκαν το 2008 από τον Maurice LeBlanc, από τον συνολικό πληθυσμό της γης που υπολογίστηκε τότε στα 6.7 δισεκατομμύρια, τα 10 εκατομμύρια αποτελούσαν τον πληθυσμό που είχε υποστεί κάποιας μορφής ακρωτηριασμό, εκ των οποίων τα 3 εκατομμύρια ήταν ακρωτηριασμοί άνω άκρων.

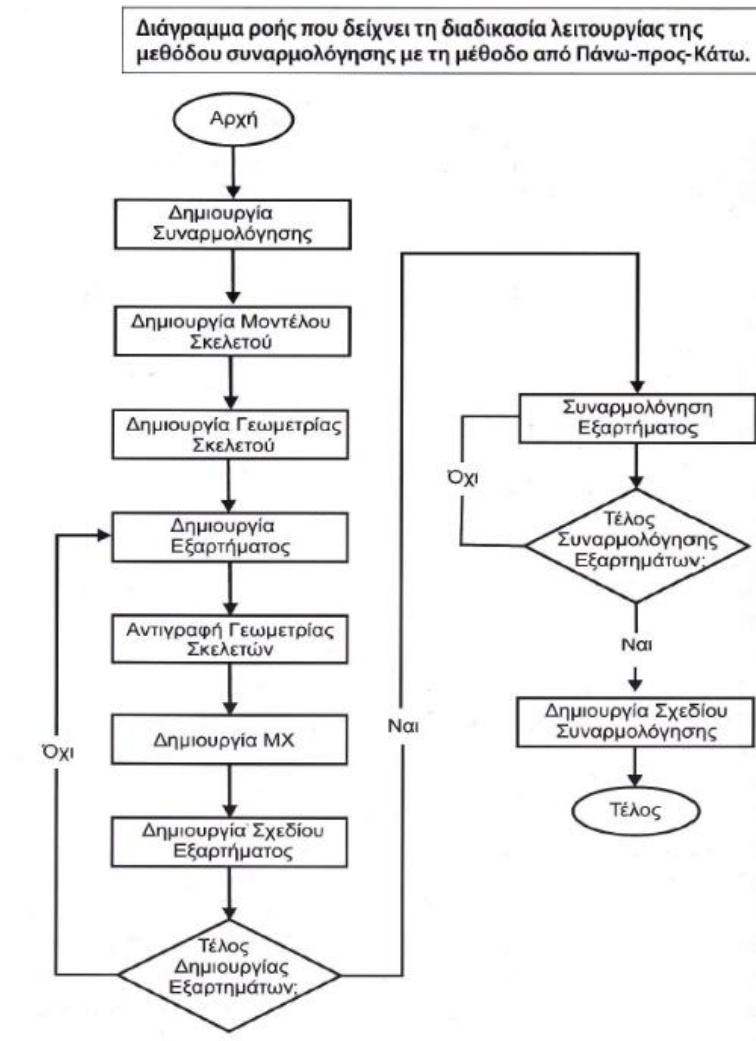
Επομένως χρειάζεται η κατάλληλη τεχνογνωσία τόσο στο μηχανολογικό όσο και στο κατασκευαστικό μέρος, ώστε να υπάρξουν βελτιώσεις και πιθανές καινοτομίες. Συνεπώς, οι μηχανολόγοι μηχανικοί έχοντας τις απαραίτητες γνώσεις και σε συνεργασία με γιατρούς και ειδικούς στη προσθετική, μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στην εξέλιξη των προσθετικών μελών.

1.2 Αναφορά τρόπου προσέγγισης του προβλήματος και μεθοδολογία

Για την κατάλληλη προσέγγιση του προβλήματος, ήταν αναγκαίο να γίνει μια έρευνα αγοράς ώστε να εντοπιστούν οι ήδη υπάρχουσες κατασκευαστικές εταιρείες στο συγκεκριμένο τομέα ώστε να ληφθούν κάποιες ιδέες σχετικά με τη σχεδίαση και πιθανόν τη δημιουργία κάποιου καινοτόμου προϊόντος. Αφού εντοπίστηκαν οι σχεδιαστικοί παράγοντες και των δύο προσθετικών μελών, σχεδιάστηκαν αρχικά στο χαρτί με σκοπό να δοθούν οι κατάλληλες διαστάσεις και συνεπώς να υπάρξει η αρχική ιδέα για το τι πρόκειται να αναπτυχθεί στο σχεδιαστικό πρόγραμμα NX Siemens. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η σχεδιάσή τους στο πρόγραμμα και κατά τη διαδικασία σχεδίασης έλαβαν χώρα διάφορες τροποποιήσεις στα αρχικά σχέδια που είχαν γίνει.

1.3 Ιεραρχική σχεδίαση (Top-down design)

Στο κάτω προσθετικό άκρο χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία του Wave Geometry Linker για τη σχεδιάσή του η οποία χρησιμοποιεί την μέθοδο σχεδίασης από Πάνω-προς-Κάτω (Top-down Design). Η συγκεκριμένη μέθοδος συναρμολόγησης από επιβάλλει μια συστημική προσέγγιση στην ανάπτυξη του προϊόντος, στην οποία η συναρμολόγηση χωρίζεται σε επιμέρους υποσυναρμολογήσεις ή υποσυστήματα όπου η καθεμία καταλαμβάνει κάποιο χώρο και επικοινωνεί με τις υπόλοιπες υποσυναρμολογήσεις. Στη δημιουργία της συναρμολόγησης, πρώτα καθορίζονται τα κριτήρια σχεδίασης και αυτά μεταφέρονται στους μελετητές μηχανικούς κάθε υποσυστήματος και στους προμηθευτές και στη συνέχεια δημιουργούνται τα επιμέρους αντικείμενα.



Εικόνα 1: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας λειτουργίας της από πάνω προς τα κάτω σχεδίασης (πηγή: Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης, (2012) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα, σελίδα 192)

Αυτός ο «σφιχτός» έλεγχος επιτρέπει σε μια κατανεμημένη ομάδα σχεδίασης, να εργάζεται παράλληλα σε ένα κοινό πλαίσιο προϊόντος. Επίσης επιτρέπει τη λεπτομερή σχεδίαση των εξαρτημάτων όταν παγιώνεται η διάταξη της συναρμολόγησης. Η μέθοδος είναι κατάλληλη και κατά τη φάση της ανάπτυξης του σχεδίου του προϊόντος. Μπορεί να βοηθήσει τη σύλληψη του σκοπού του προϊόντος σε ένα πρώιμο στάδιο της ανάπτυξης, χωρίς να υπάρχουν παγιωμένα σχέδια εξαρτημάτων, δεδομένου ότι η δημιουργία της συναρμολόγησης δεν απαιτεί τελικά σχέδια των εξαρτημάτων. Επίσης, επιτρέπει στους σχεδιαστές να δοκιμάσουν και εναλλακτικά σενάρια του προϊόντος. Η υλοποίηση της μεθόδου επιβάλλει μια προσέγγιση που αποτελείται από έξι βασικά στάδια:

1. Ορισμός στόχου του σχεδιασμού

Όλα τα προϊόντα σχεδιάζονται βάσει κάποιου προκαταρκτικού σχεδιασμού. Για τον ορισμό του σκοπού, της λειτουργίας και του σχεδιασμού του προϊόντος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ιδέες προτάσεις, προδιαγραφές και σχέδια. Ο προγραμματισμός αυτός βοηθάει το σχεδιαστή να κατανοήσει καλύτερα το προϊόν και μετά να ξεκινήσει το σχεδιασμό των εξαρτημάτων και του συστήματος.

2. Καθορισμός της προκαταρκτικής δομής του προϊόντος

Η δομή του προϊόντος αποτελείται από μια λίστα υποσυστημάτων και εξαρτημάτων και από την ιεραρχία αυτών στο σχέδιο της συναρμολόγησης. Πολλά από τα υποσυστήματα που απαιτούνται για το σχεδιασμό θα καθοριστούν μετά την πραγματοποίησή αυτού του σταδίου. Για τα διάφορα υποσυστήματα συναρμολόγησης και εξαρτήματα δεν είναι απαραίτητο να είναι γνωστή εξαρχής η γεωμετρία τους. Υπάρχοντα υποσυστήματα συναρμολογήσεων και εξαρτήματα μπορούν να προστεθούν στη δομή του προϊόντος. Τα προτερήματα ορισμού της δομής εξαρχής είναι:

- Όλα τα εξαρτήματα καθορίζονται με ενιαίο τρόπο με τα ίδια αρχικά χαρακτηριστικά και περιορισμούς συναρμολόγησης.
- Η δομή του προϊόντος είναι ξεκάθαρη και υπάρχει καλή επικοινωνία σε όλη την ομάδα ανάπτυξης.
- Η δομή του προϊόντος ορίζεται από τον υπεύθυνο του προγράμματος και πριν από την έναρξη του προγράμματος.
- Μπορεί να γίνει καλύτερος καταμερισμός του έργου μεταξύ της ομάδας ανάπτυξης. Ο κάθε σχεδιαστής επικεντρώνει την προσπάθειά του στην ανάπτυξη της γεωμετρίας χωρίς να επηρεάζεται από τη δομή του προϊόντος.
- Η μη γεωμετρική πληροφορία, όπως περιγραφή, κωδικός εξαρτήματος, σχεδιαστής, μπορεί να αναπτυχθεί πολύ νωρίς χωρίς τη δημιουργία της γεωμετρίας του κάθε εξαρτήματος .

3. Εισαγωγή των μοντέλων σκελετών

Τα μοντέλα σκελετών ενεργούν ως ένα τρισδιάστατο σχεδιάγραμμα της συναρμολόγησης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρουσιάσουν απαιτήσεις χώρου, σημαντικά σημεία επαφής και κίνηση. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διανείμουν την πληροφορία του σχεδιασμού μεταξύ των υποσυστημάτων και ενεργούν ως μέσο για τον έλεγχο των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Μπορούν να καθορίσουν:

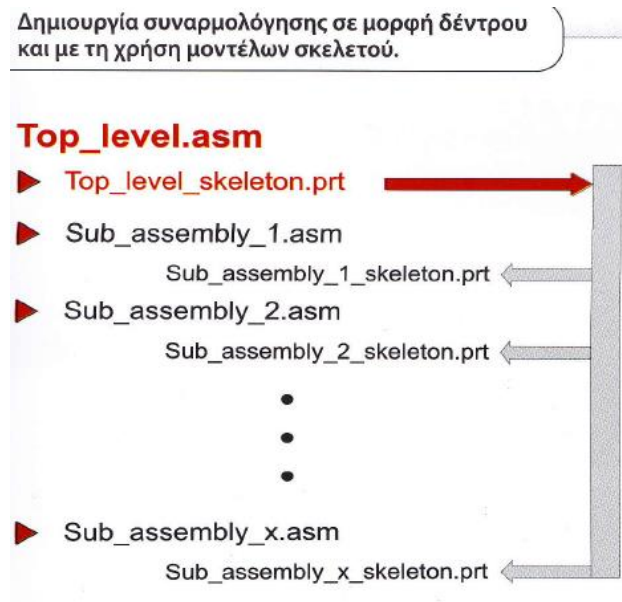
- Απαιτήσεις χώρου (μορφή/συνταίριασμα).
- Καθορισμό κοινής επιφάνειας μεταξύ διαφορετικών εξαρτημάτων (συνταίριασμα).
- Αναπαράσταση κίνησης (λειτουργία).

Τα μοντέλα σκελετών εν γένει περιέχουν μόνο κρίσιμες πληροφορίες του σχεδίου, που ορίζονται εξ αρχής στο σχέδιο (κύρια γεωμετρία) ή ορίζονται με αντιγραφή από άλλο σχέδιο που έχει οριστεί κάπου αλλού (γεωμετρία από αντιγραφή). Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν συμπεριλαμβάνονται στον υπολογισμό των φυσικών ιδιοτήτων της συναρμολόγησης, δεν περιλαμβάνονται στη λίστα υλικών που αναπτύσσεται για τη συναρμολόγηση, μπορούν εύκολα να εξαιρεθούν από τη δημιουργία σχεδίων, απεικονίσεων και δεν επηρεάζονται από λειτουργίες εισαγωγής μορφολογικών χαρακτηριστικών.

4. Μετάδοση του στόχου του σχεδιασμού διαμέσου της δομής της συναρμολόγησης

Με αυτό τον τρόπο κρίσιμες πληροφορίες του σχεδίου μεταβιβάζονται από το ένα επίπεδο του προϊόντος στο επόμενο. Σημαντικές πληροφορίες του υψηλότερου επιπέδου του σχεδίου (όπως θέσεις επαφής και απαιτήσεις σε χώρο) μπορούν να τοποθετηθούν στο μοντέλο σκελετού του υψηλότερου επιπέδου της συναρμολόγησης. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να διανεμηθούν στα κατάλληλα μοντέλα σκελετών των υποσυστημάτων συναρμολογήσεων και στη συνέχεια στα εξαρτήματα. Με αυτό τον τρόπο η ομάδα σχεδιασμού του κάθε υποσυστήματος συναρμολόγησης μπορεί να εργαστεί αποκλειστικά στο

δικό της σχέδιο, από τη στιγμή που έχει πρόσβαση στα κατάλληλα κριτήρια σχεδιασμού του υψηλότερου επιπέδου και αλληλεπιδράσεων και πολλές διαφορετικές ομάδες σχεδιασμού μπορούν να εργαστούν παράλληλα. Αποτέλεσμα αυτού είναι μια παράλληλα δημιουργημένη συναρμολόγηση που τα συστατικά της ταιριάζουν απόλυτα εξ αρχής.



Εικόνα 2: Δημιουργία συναρμολόγησης σε μορφή δέντρου και με τη χρήση μοντέλων σκελετού (πηγή: Νικόλαος Μπιλάλης, Εμμανουήλ Μαραβελάκης, (2012) ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα, σελίδα 195)

5. Ανάπτυξη της συναρμολόγησης

Εφόσον έχει καθοριστεί η σκελετική δομή της συναρμολόγησης και έχουν διανεμηθεί τα κριτήρια σχεδιασμού του υψηλότερου επιπέδου, μπορεί να ξεκινήσει ο ξεχωριστός σχεδιασμός των εξαρτημάτων. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την επίτευξη αυτού του στόχου. Υπάρχοντα εξαρτήματα μπορούν να συναρμολογηθούν ή εξαρτήματα μπορούν να δημιουργηθούν στο περιβάλλον της συναρμολόγησης. Αυτά τα ξεχωριστά εξαρτήματα μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους με διάφορους τρόπους (μοντέλα σκελετού, σχεδιαγράμματα, συσχετίσεις κ.λπ.) έτσι ώστε να επιτευχθεί ο στόχος του σχεδιασμού.

6. Διαχείριση των αλληλεξαρτήσεων των εξαρτημάτων

Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα της παραμετρικής μοντελοποίησης είναι η ευκολία μετατροπής των σχεδίων. Διάφορες μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οργανωμένη διαχείριση των (πολλών σε αριθμό) επιθυμητών αλληλεξαρτήσεων μεταξύ των εξαρτημάτων μιας συναρμολόγησης. Η διαχείριση των αλληλεξαρτήσεων επιτρέπει στα εξαρτήματα ενός σχεδίου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα άλλο και παρέχει τα μέσα για μια ελεγχόμενη αλλαγή και αναβάθμιση της τελικής συναρμολόγησης [4].

Έτσι, ακολουθώντας την παραπάνω μεθοδολογία, σχεδιάστηκαν δύο προσθετικά άκρα, τα οποία αποτελούν απλές κατασκευές οι οποίες αν εισαχθούν στην αγορά μπορεί να αποτελέσουν απλές αλλά ταυτόχρονα οικονομικές κατασκευές και θα είναι πιο προσιτές στους αγοραστές που αναζητούν ένα λειτουργικό προσθετικό άκρο χωρίς να δαπανήσουν πολλά χρήματα.

2. Προσθετικά μέλη

Ορισμός

«Στην ιατρική, μία πρόσθεση ενός μέλους είναι μια τεχνητή συσκευή η οποία αντικαθιστά ένα μέρος του σώματος που χάνεται από ακρωτηριασμό, ασθένεια ή λόγω κληρονομικότητας [11].»

2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή και εξέλιξη προσθετικών μελών.

Η δημιουργία προσθετικών μελών αποτελεί μεγάλη διευκόλυνση για τον κάθε ασθενή και στοχεύει στην επανάκτηση της ικανότητας κίνησης κάποιου μέλους του σώματός του που έχασε λόγω ατυχήματος ή ασθένειας ή γεννήθηκε με κάποια μέλη να μην έχουν αναπτυχθεί κατάλληλα.

Παρόλο που η ύπαρξη των προσθετικών μελών χρονολογείται από την αρχαιότητα, η μεγάλη ανάπτυξη τους ήρθε κατά τη διάρκεια των παγκοσμίων πολέμων όπου το μεγάλο ποσοστό στρατιωτών με ακρωτηριασμούς έδωσε ώθηση στους γιατρούς και τους μηχανικούς να ασχοληθούν με την κατασκευή και δημιουργία νέων προσθετικών μελών, τόσο άνω όσο και κάτω άκρων.

2.1.1 Ιστορικές πληροφορίες άνω προσθετικού μέλους.

Παράδειγμα άνω προσθετικού μέλους αποτελεί το προσθετικό χέρι από σίδηρο της Εικόνας 3, όπου χρονολογείται περίπου στο 1500 μ.Χ..



Εικόνα 3: Προσθετικό άνω άκρο από σίδηρο (1500 μ.Χ.) (πηγή: <https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6>)

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα άνω προσθετικά μέλη είναι πιο περίπλοκα στην κατασκευή τους, διότι απαιτούν περισσότερες κινήσεις, όπως εκείνες του καρπού, του αγκώνα και των δαχτύλων. Για παράδειγμα, το προσθετικό άκρο που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4, δημιουργήθηκε από κατασκευαστή στο Λονδίνο τη δεκαετία του 1900 και αποτελείται από ξύλο, δέρμα και υφάσμα. Η συγκεκριμένη κατασκευή περιλαμβάνει περιστρεφόμενο καρπό και κινούμενα δάχτυλα. Παράλληλα, το μικρό άγκιστρο στη παλάμη εξυπηρετούσε στη μεταφορά διαφόρων αντικειμένων από τον χρήστη.



Εικόνα 4: Άνω προσθετικό μέλος (1900 μ.Χ.) (πηγή: <https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6>)

Περίπου το 1920 έγινε για πρώτη φορά χρήση αλουμινίου για τη κατασκευή προσθετικών μελών γεγονός που τα καθιστούσε πιο ελαφριά, παράδειγμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5: Άνω προσθετικό μέλος από αλουμίνιο (1920) (πηγή: <https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6>)

Σημαντική πρόοδος στον τομέα των προσθετικών μελών έγινε τη δεκαετία του 1980 όπου κατασκευάστηκε τεχνητό χέρι (Εικόνα 6) το οποίο τροφοδοτούταν από δύο ηλεκτρόδια (με χρήση μπαταρίας) τα οποία προσομοίαζαν τις φυσιολογικές μυϊκές συσπάσεις.



Εικόνα 6: Άνω τεχνητό άκρο με χρήση μπαταρίας (1980) (πηγή: <https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6>)

2.1.2 Ιστορικές πληροφορίες κάτω προσθετικού μέλους.

Στην αρχαιότητα δεν υπήρχαν πολλά ευρήματα που να μαρτυρούν ότι κατασκευάζονταν έστω και απλά προσθετικά άκρα. Η μόνη πληροφορία που έχουμε σχετικά με τη προσθετική στην αρχαιότητα προέρχεται από την αρχαία Αίγυπτο και αποτελεί ένα προσθετικό δάχτυλο ποδιού κατασκευασμένο από ξύλο και δέρμα και χρονολογείται μεταξύ 1069 - 664 π.Χ. Ένα από τα πρώτα ευρήματα προσθετικών μελών ήταν ένα τεχνητό κάτω άκρο (Εικόνα 7) όπου ανακαλύφθηκε στην Ιταλία κατά το 300 π.Χ.. Σημειώνεται ότι το αυθεντικό μέλος, από χαλκό, καταστράφηκε κατά τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο όμως διατηρείται ένα αντίγραφό του στο Μουσείο επιστημών του Λονδίνου [17].



Εικόνα 7: Τεχνητό κάτω άκρο από χαλκό (350 π.Χ.) (πηγή: <https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8#these-iron-encasings-developed-in-the-early-1600s-were-designed-to-support-and-straighten-the-legs-of-children-with-skeletal-deformities-the-supports-were-attached-to-the-lower-leg-by-metal-or-leather-straps-6>)

Ο Ambroise Pare (1510-1590) ήταν ένα καταξιωμένος χειρουργός και θεωρείται από πολλούς ο «πατέρας της σύγχρονης χειρουργικής». Εκτός από το ότι βελτίωσε σημαντικά τις μεθόδους ακρωτηριασμού της εποχής εκείνης, με την άριστη γνώση της ανθρώπινης ανατομίας ανέπτυξε λειτουργικά προσθετικά μέλη για πολλά μέρη του ανθρώπινου σώματος. Ήταν ο πρώτος που κατάφερε να δημιουργήσει ένα προσθετικό μέλος πάνω από το γόνατο με ένα σύστημα «κλειδώματος» και ελέγχου, το οποίο χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα ως πρότυπο για την ανάπτυξη νέων προσθετικών μελών [1].

Η προσθετική δεν έδειχνε να έχει σημαντική ανάπτυξη στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, διότι ήταν μια πολυτέλεια την οποία μπορούσαν να έχουν μόνο όσοι διέθεταν την απαραίτητη οικονομική άνεση. Παρόλα αυτά, το 1946 ερευνητές στο UK Berkeley δημιούργησαν μια προσθετική κάλτσα αναρρόφησης για ακρωτηριασμούς κάτω άκρων, η οποία χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα σε παρόμοια εκδοχή της πρωτότυπης.

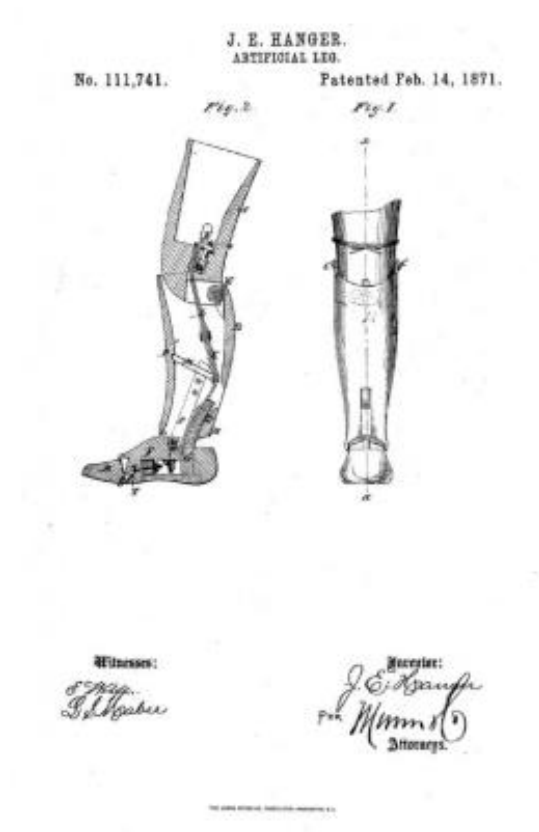
Ο Pieter Verduyn, Δανός χειρουργός, το 1696 δημιούργησε ένα προσθετικό κάτω άκρο για προσθετική κάτω από το γόνατο (below-knee prosthesis). Η συγκεκριμένη κατασκευή διέθετε εξωτερικούς μεντεσέδες και μία δερμάτινη υποδοχή για τον μηρό, η οποία είναι αρκετά παρόμοια με τα σύγχρονα προσθετικά μέλη.

Ο James Potts, το 1800 δημιούργησε ένα προσθετικό κάτω άκρο για προσθετική πάνω από το γόνατο (above-knee prosthesis) το οποίο παρουσιάζεται στην Εικόνα 8. Η κατασκευή αυτή αποτελούταν από μία θήκη υποδοχής από ξύλο, ένα εύκαμπτο πόδι συνδεδεμένο με μία χαλύβδινη άρθρωση γόνατος. Το συγκεκριμένο μοντέλο εκτός από το ότι ήταν πιο εξελιγμένο ήταν και αισθητικά πιο ευχάριστο.



Εικόνα 8: Προσθετικό κάτω άκρο από τον James Poots (1800 μ.Χ.) (πηγή: <http://prosthetics.umwblogs.org/antecedents/>)

Ο James Hanger, ήταν ο πρώτος ανήλικος στον εμφύλιο πόλεμο της Αμερικής ο οποίος δημιούργησε το «Hanger Limb», το οποίο ήταν ένα προσθετικό πόδι κατασκευασμένο από βαρέλι και μεταλλικά δοκάρια, που περιλάμβανε αρθρώσεις στο γόνατο και τον αστράγαλο (Εικόνα 9). Το συγκεκριμένο μέλος ήταν το πιο προηγμένο στην ιστορία των προσθετικών μελών για εκείνη την εποχή. Ο Hanger δημιούργησε μια κατασκευαστική εταιρεία προσθετικών μελών η οποία είναι ηγετική στον συγκεκριμένο κλάδο μέχρι και σήμερα [1].



Εικόνα 9: The Hanger Limb (1861 μ.Χ.) (πηγή: <http://unyg.com/the-history-of-prosthetics/>)

Σημαντική ανάπτυξη στις θήκες υποδοχής προσθετικών κάτω άκρων έφερε ο Dubois L. Parmelee στη Νέα Υόρκη το 1863, όπου κατάφερε να συνδέσει τη θήκη με το υπολειπόμενο σκέλος μέσω της ατμοσφαιρικής πίεσης.

Τέλος, στη δεκαετία του 1970, ο εφευρέτης Ysidro M. Martinez δημιούργησε ένα προσθετικό πόδι το οποίο αντί να προσπαθεί να αναπαράγει την κίνηση ενός φυσικού άκρου, επικεντρώθηκε στη βελτίωση της βάρδισης και στη μείωση της τριβής και μ' αυτή την ανακάλυψη συνέβαλε σημαντικά στην εξέλιξη της προσθετικής. Με την ανακούφιση της πίεσης και την πιο άνετη βάρδιση, ο Martinez βελτίωση σε μεγάλο βαθμό τη ζωή πολλών ασθενών [1].

2.1.3 Σύγχρονη προσθετική

Η σύγχρονη προσθετική και η ανάπτυξή της προήλθε μετά τους παγκοσμίους πολέμους και συγκεκριμένα μετά τον 2^ο παγκόσμιο η κυβέρνηση των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής χρηματοδότησε τις στρατιωτικές εταιρείες ώστε να βελτιώσουν τη μορφή και τη λειτουργικότητα των προσθετικών μελών. Με αυτή την ώθηση επομένως οδηγηθήκαμε στη χρήση πιο σύγχρονων υλικών στη προσθετική, όπως το πλαστικό, το αλουμίνιο και άλλα υλικά.

Η πρόσθεση οποιουδήποτε τεχνητού άκρου συμπεριλαμβάνει τρία βασικά στοιχεία:

- Θήκη υποδοχής (socket), μέσα στην οποία εισάγεται το ακρωτηριασμένο άκρο.
- Μηχανισμός καρπού (για τεχνητό χέρι) και μηχανισμός γονάτου (για τεχνητό πόδι).
- Ηλεκτρομηχανικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση της κίνησης του τεχνητού άκρου.

Από τα παραπάνω στοιχεία, το βασικότερο στη διαδικασία της πρόσθεσης ενός άκρου είναι η θήκη υποδοχής διότι αν δεν γίνει σωστή μελέτη και εφαρμογή της τότε είναι πολύ πιθανό το άτομο να τραυματιστεί κατά τη χρήση του τεχνητού άκρου ή το τεχνητό άκρο να μην εφαρμοστεί σωστά. Για την πιο λεπτομερή μελέτη και δημιουργία μιας θήκης υποδοχής, χρησιμοποιείται η σάρωση με laser και στη συνέχεια με τη χρήση συστημάτων CAD/ CAM παράγεται ένα τελικό προϊόν που απευθύνεται στις εξειδικευμένες ανάγκες του εκάστοτε ασθενή [26].

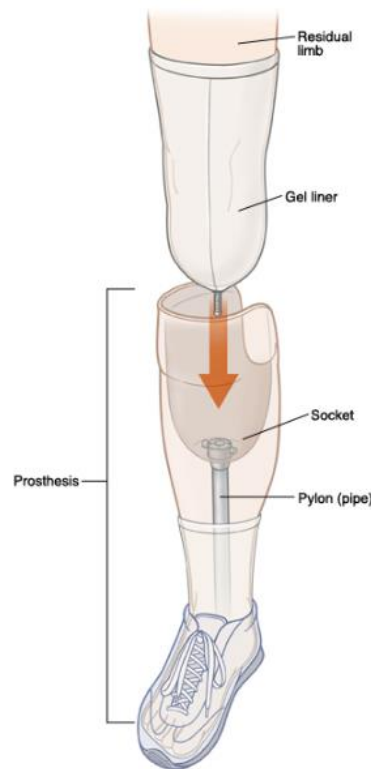
Καταλήγοντας, όσο περνάνε τα χρόνια, η τεχνολογία και η τεχνογνωσία εξελίσσονται με αποτέλεσμα οι ειδικοί στη δημιουργία προσθετικών μελών να έχουν φτάσει πολύ κοντά στη δημιουργία προσθετικών μελών με πλήρη λειτουργία από εντολές του ανθρώπινου εγκεφάλου. Έτσι είμαστε ένα βήμα πιο κοντά στην πλήρη και ολοκληρωμένη αντικατάσταση ενός χαμένου μέλους.

2.2 Υλικά κατασκευής προσθετικών άκρων

Τα υλικά που χρησιμοποιούνταν για τη κατασκευή των προσθετικών άκρων (άνω και κάτω) ήταν αρχικά ξύλο, μπρούτζος και σίδηρο. Σήμερα έχουν ανακαλυφθεί νέα υλικά, όπως οι ίνες άνθρακα, πιο ανθεκτικά και πιο ελαφριά, συγκριτικά με το σίδηρο που χρησιμοποιούταν, και σε συνδυασμό με τις νέες εξελιγμένες διαδικασίες είναι πλέον εφικτό να δημιουργηθεί εξωτερικά ένα αρκετά ρεαλιστικό δέρμα [13].

Για τη κατασκευή των προσθετικών μελών, χρησιμοποιούνται υλικά από μια μεγάλη ποικιλία τόσο φυσικών όσο και ανθρωπογενών, δηλαδή υλικά που έχει δημιουργήσει ο άνθρωπος. Οποιαδήποτε υλικά και αν χρησιμοποιηθούν, οφείλουν να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις: βιοσυμβατότητα, αντοχή, ανθεκτικότητα, μικρό βάρος και ευκολία κατασκευής. Τα πιο συνήθη υλικά που επιλέγονται για τη κατασκευή προσθετικών μελών είναι διάφορα πλαστικά, αλλά και τα πιο παραδοσιακά υλικά όπως ξύλο, δέρμα, μέταλλο και ύφασμα χρησιμοποιούνται σε μερικές περιπτώσεις.

Συγκεκριμένα για τη κατασκευή των προσθετικών καλτσών (prosthetic liners) κάτω προσθετικού άκρου, σύμφωνα με σχετικό άρθρο [24], χρησιμοποιείται τζελ σιλικόνης ή διάφορα ελαστομερή ενώ στο παρελθόν χρησιμοποιούνταν αφρώδεις επενδύσεις. Σύμφωνα με διάφορες δοκιμές που έλαβαν χώρα (συμπίεση, τριβή, διατμητική τάση) προέκυψε ότι τα τζελ σιλικόνης όταν συμπιέζονται απελευθερώνουν κάποια υγρά, και με την ιδιότητά τους αυτή αποδείχθηκαν πιο μαλακά και κατά συνέπεια καταλληλότερα για να προστατεύουν ακρωτηριασμένα άκρα με προεξέχοντα οστά. Σε αντίθεση, τα ελαστομερή σιλικόνης αποδείχθηκαν πιο άκαμπτα γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για ακρωτηριασμένα άκρα με πολύ μαλακό δερματικό ιστό και τα προστατεύει από την ολίσθησή τους μέσα στη προσθετική θήκη. Επομένως, τα πιο άκαμπτα υλικά χρησιμοποιούνται σε ακρωτηριασμένα άκρα με μαλακό δερματικό ιστό, ενώ πιο μαλακά υλικά εφαρμόζονται σε άκρα με προεξέχοντα οστά.



Εικόνα 10: Τυπικό μοντέλο κάτω προσθετικού άκρου (πηγή: <https://www.kennedyorthopedics.com/about/news/view/416/moving-from-a-temporary-to-a-definitive-prosthesis>)

Το ξύλο επιλέγεται συνήθως για τη κατασκευή κάτω άκρων και παρέχει σχήμα και εσωτερική αντοχή. Οι ιδιότητες που έχει το ξύλο, δηλαδή ελαφρύ, ισχυρό, φθινό και εύκολο στην κατεργασία, το καθιστούν δύσκολο να αντικατασταθεί από κάποιο άλλο υλικό.

Όπως προαναφέρθηκε, η κατασκευαστικές εταιρείες χρησιμοποιούν μια ποικιλία πλαστικών για τη δημιουργία τεχνητών άκρων. Μερικά από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Το νάιλον (nylon) χρησιμοποιείται για προσθετικές θήκες (prosthetic sockets) και κάλτσες από νάιλον, για την κάλυψη των ακρωτηριασμένων άκρων. Το συγκεκριμένο υλικό διαθέτει αρκετά πλεονεκτήματα όπως αυξημένη αντοχή, ελαστικότητα και χαμηλό συντελεστή τριβής. Παράλληλα, είναι ένα θερμοπλαστικό υλικό, δηλαδή μπορεί να θερμανθεί και να αναδιπλωθεί χωρίς να επηρεάσει αρνητικά τις φυσικές του ιδιότητες.
- Τα ακρυλικά (acrylics) είναι θερμοπλαστικά υλικά με μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και αντοχή από τις πολυεστερικές ρητίνες (αυτές που

περιλαμβάνονται στο νάιλον). Οι ακρυλικές ίνες χρησιμοποιούνται στα νεότερα συνθετικά μείγματα για προσθετικές κάλτσες. Η ακρυλική ρητίνη γίνεται συνεχώς πιο δημοφιλής για πλαστικοποίηση σε προσθετικά υλικά και αυτό διότι έχει υψηλή αντοχή και επιτρέπει μια λεπτομερή, ελαφρύτερη ελασματοποίηση και ταυτόχρονα οι θερμοπλαστικές της ιδιότητες επιτρέπουν ευκολότερες προσαρμογές της πρόσθεσης με επαναθέρμανση του πλαστικού και επανατοποθέτησης του. Επίσης οι ακρυλικές ρητίνες έχουν μαλακότερη αίσθηση από τις πολυεστερικές ρητίνες, αλλά είναι πιο δύσκολες στη χρήση κατά τη διάρκεια κατασκευής τους.

- Το πολυπροπυλένιο (polypropylene), χρησιμοποιείται για αρθρώσεις ισχίου (hip joints), αρθρώσεις γονάτου (knee joints) και θήκες υποδοχής (prosthetic sockets). Χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία για πολλές κατασκευές και σε μεγάλες ποσότητες. Είναι αδιαφανές λευκό υλικό, σχετικά οικονομικό, ανθεκτικό και εύκολο στη χρήση. Μπορεί να συγκολληθεί με χρήση ζεστού αέρα ή αζώτου.

Για την ενίσχυση των υλικών χρησιμοποιούνται δύο βασικοί τύποι ενισχυτικών ινών υψηλής αντοχής: γυαλί και άνθρακα.

- Το γυαλί χρησιμοποιείται συνήθως για την ενίσχυση των πλαστικοποιημένων πολυεστερικών ρητινών όπου θα στερεωθούν μηχανικά εξαρτήματα όπως βίδες. Επίσης χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των λεπτών περιοχών και την αποφυγή της θραύσης.
- Οι ίνες άνθρακα είναι ακριβότερες από τις ίνες γυαλιού αλλά έχουν περισσότερη αντοχή και ακαμψία. Χρησιμοποιούνται επίσης από τους κατασκευαστές εξαρτημάτων για την αντικατάσταση του μετάλλου. Εκτός από τον υψηλό λόγο αντοχής ως προς το βάρος, τα συνθετικά υλικά από ανθρακονήματα έχουν αντοχή σε κόπωση δύο φορές περισσότερη από εκείνη του χάλυβα, του αλουμινίου ή του υαλοβάμβακα. Τέλος, προκατασκευασμένα προσθετικά συστατικά ινών άνθρακα, όπως πυλώνες (pylons) και αρθρώσεις γόνατος (knee joints) μπορούν να μειώσουν σημαντικά το βάρος της πρόσθεσης ενώ αυξάνουν τη δύναμή της [12].

Σήμερα, η δημιουργία των προσθετικών μελών έχει εξελιχθεί τόσο στο μηχανικό σύστημα όσο και στο αισθητικό κομμάτι. Με τη χρήση νέων εξελιγμένων υλικών και

την χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing), η βιομηχανία των προσθετικών έχει βελτιώσει τις ζωές των ανθρώπων που τα έχουν ανάγκη και συνεχίζουν με συνεχόμενες βελτιώσεις. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα για τις νέες τεχνολογίες, ένα εκ των οποίων είναι η εταιρεία UNYQ η οποία με τη χρήση 3D printing δημιουργεί εξωτερικά προστατευτικά καλύμματα για τα κάτω πρόσθετα μέλη. Η συγκεκριμένη εταιρεία έχει στοχεύσει στη δημιουργία καλαίσθητων προστατευτικών, δηλαδή στοχεύει στην ψυχολογία των ανθρώπων που έχουν υποστεί το ατύχημα δημιουργώντας κάτι που οι ίδιοι φορώντας το θα νιώσουν καλύτερα.

2.3 Κατασκευή και απαιτήσεις κατασκευής

Σε αντίθεση με τα παλιά χρόνια, η εξέλιξη της τεχνολογίας και των κατασκευών έχει οδηγήσει στην δημιουργία προσθετικών άκρων πιο εύχρηστων και λειτουργικών. Η τελευταία καινοτομία στον συγκεκριμένο τομέα είναι τα μυοηλεκτρικά άκρα. Η συγκεκριμένη τεχνολογία λαμβάνει τα ηλεκτρικά σήματα των μυών του ασθενούς και τα χρησιμοποιεί για τη κίνηση των τεχνητών άκρων. Η έρευνα ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1940 στη δυτική Γερμανία και από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 οι μυοηλεκτρικές συσκευές ήταν διαθέσιμες.

Για τη κατασκευή τους χρησιμοποιούνται συστήματα τρισδιάστατης σχεδίασης CAD/ CAM για τη προσομοίωση του κάθε ασθενή ώστε να υπάρξει η βέλτιστη ποιότητα στο τελικό προϊόν. Τα προσθετικά άκρα δεν παράγονται σε γραμμή παραγωγής ώστε να πωλούνται μαζικά. Οι ανάγκες του κάθε ατόμου ποικίλουν και γι' αυτό το λόγο δημιουργούνται κατόπιν παραγγελίας και αφού έχουν εκτιμηθεί με ακρίβεια οι απαιτήσεις της εκάστοτε κατασκευής.

Για την καλύτερη εξυπηρέτηση των ατόμων που χρειάζονται τα προσθετικά άκρα, βασική προϋπόθεση είναι να είναι ελαφριά, ανθεκτικά και συνεπώς πιο εύχρηστα. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, το μεγαλύτερο μέρος του άκρου κατασκευάζεται από πλαστικό. Η θήκη υποδοχής (socket), την οποία διαθέτουν τόσο τα άνω όσο και τα κάτω προσθετικά άκρα, είναι συνήθως κατασκευασμένη από πολυπροπυλένιο. Παράλληλα γίνεται χρήση ελαφρότερων μετάλλων όπως το τιτάνιο και το αλουμίνιο για τη κατασκευή του πυλώνα (pylon). Τέλος, η νεότερη εξέλιξη στα

υλικά που χρησιμοποιούνται είναι η χρήση ινών άνθρακα για τον σχηματισμό ελαφρότερου πυλώνα.

Το πέλμα του προσθετικού ποδιού συνήθως κατασκευάζεται από ξύλο αλλά σήμερα υπάρχουν κατασκευές από αφρό πολυουρεθάνης¹ με ξύλινη εσωτερική κατασκευή.

2.3.1 Διαδικασία κατασκευής κάτω προσθετικών άκρων

Αρχικά γίνεται διάγνωση από τον υπεύθυνο γιατρό, και σε συνεργασία με έναν φυσιοθεραπευτή και με έναν ειδικό στη προσθετική μελών, καθορίζει τις απαιτήσεις και τα χαρακτηριστικά που πρέπει να πληρεί το προσθετικό μέλος. Στη συνέχεια η κατασκευάστρια εταιρεία δημιουργεί ένα μοντέλο που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του εκάστοτε ατόμου.

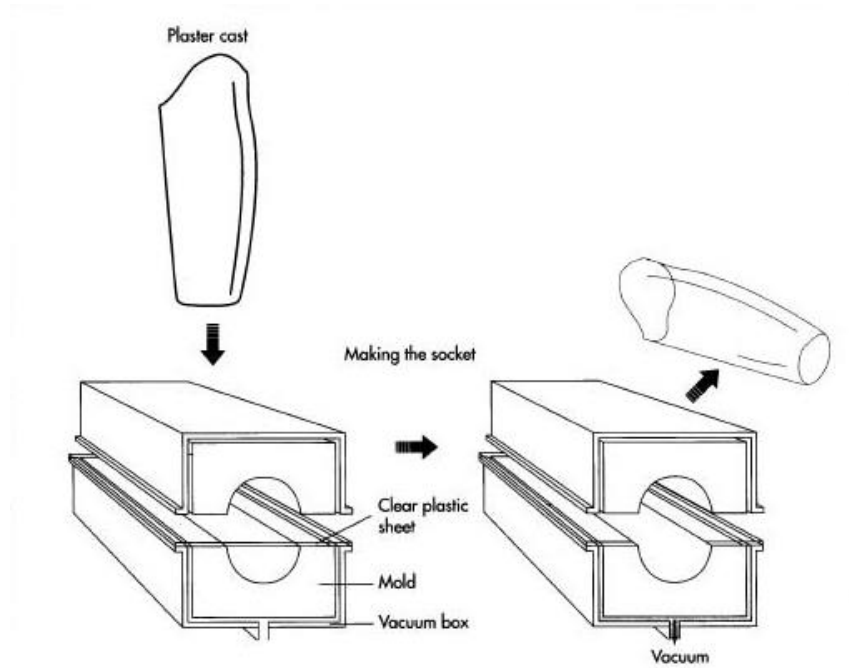
Σε μερικές περιπτώσεις, κάποια μέρη των προσθετικών κατασκευάζονται σε εργοστάσιο, όπως ο πυλώνας (pylon) ή το πέλμα (foot) και αποστέλλονται στον ειδικό της προσθετικής μελών ο οποίος θα συναρμολογήσει το τελικό μοντέλο στον ασθενή.

Επομένως, ανάλογα την περίπτωση και τις ανάγκες του ατόμου, το πρόσθετο μέλος κατασκευάζεται εξ' ολοκλήρου κατόπιν παραγγελίας από την αρχή μέχρι το τέλος για το συγκεκριμένο άτομο ή κατασκευάζεται εν μέρη και χρησιμοποιεί κάποια έτοιμα εξαρτήματα που παράχθηκαν σε γραμμή παραγωγής.

- Μέτρηση και χύτευση
 1. Για την κατασκευή ενός προσθετικού μέλους με τη βέλτιστη ποιότητα και χρηστικότητα είναι αναγκαίο να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη λεπτομέρεια και στην ακρίβεια κατά την κατασκευή, ώστε το αποτέλεσμα να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στο φυσικό πρότυπο.
 2. Ο ειδικός της προσθετικής μετρά τα μήκη των σχετικών τμημάτων και καθορίζει τη θέση των οστών και των τενόντων στο υπόλοιπο τμήμα του άκρου.

¹ συστατικό, χαμηλής διόγκωσης, που πολυμερίζεται με την ατμοσφαιρική υγρασία, έχει άριστη πρόσφυση σε ξύλο, τσιμέντο, πέτρες, μέταλλα κλπ. Ο πολυμερισμός αφρός είναι ανθεκτικός στη φωτιά και μη τοξικός

- Δημιουργία της θήκης υποδοχής (socket)
 1. Ένα φύλλο από διαφανές θερμοπλαστικό υλικό θερμαίνεται σε έναν μεγάλων διαστάσεων φούρνο και ύστερα σχηματίζεται υπό κενό γύρω από το θετικό καλούπι. Δηλαδή το θερμαινόμενο φύλλο τοποθετείται πάνω από τη κορυφή του καλουπιού σε ένα θάλαμο κενού. Στη συνέχεια, ο αέρας μεταξύ του φύλλου και του καλουπιού αναρροφάται έξω από το θάλαμο, συρρικνώνοντας με αυτό το τρόπο το φύλλο γύρω από το καλούπι και αναγκάζοντάς το να πάρει το ακριβές σχήμα του καλουπιού. Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας αποτελεί την δοκιμαστική υποδοχή, δηλαδή με βάση αυτή ο προσθετικός θα εφαρμόσει το πρόσθετο μέλος και θα ελέγξει κατά πόσο ταιριάζει και αν χρειάζεται τροποποιήσεις.
 2. Πριν τη δημιουργία της μόνιμης υποδοχής, ο προσθετικός συνεργάζεται με τον ασθενή για να εξασφαλίσει ότι η υποδοχή είναι άνετη και ότι ταιριάζει σωστά. Γίνονται ποικίλες δοκιμές και ο προσθετιστής μελετά προσεκτικά το βάδισμα του ασθενή. Επειδή το υλικό από το οποίο γίνεται η δοκιμαστική υποδοχή είναι θερμοπλαστικό, μπορεί να θερμανθεί ξανά και να γίνουν μερικές τροποποιήσεις στο σχήμα, εφόσον κριθεί αναγκαίο.
 3. Στη συνέχεια, σχηματίζεται η μόνιμη υποδοχή η οποία κατασκευάζεται συνήθως από πολυπροπυλένιο και μπορεί να σχηματιστεί, όπως και η υποδοχή δοκιμής, υπό κενό πάνω σε ένα καλούπι. Είναι συνηθισμένο να συρρικνώνεται μετά την επέμβαση, σταθεροποιώντας περίπου ένα χρόνο αργότερα. Έτσι η υποδοχή αντικαθίστανται εκείνη την εποχή και στη συνέχεια όταν οι ανατομικές αλλαγές απαιτούν κάποια αλλαγή [2].



Εικόνα 11: Δημιουργία θήκης υποδοχής (πηγή: <http://www.madehow.com/Volume-1/Artificial-Limb.html>)

2.3.2 Κατασκευή της πρόσθεσης

Υπάρχουν πολλοί τρόποι κατασκευής των τμημάτων ενός προσθετικού άκρου. Τα πλαστικά μέρη που το αποτελούν, όπως οι επενδύσεις, κατασκευάζονται με τις συνήθεις μεθόδους πλαστικής μορφοποίησης. Αυτές περιλαμβάνουν τη δημιουργία κενού, την έγχυση χύτευσης, τον εξαναγκασμό του το τηγμένο πλαστικό σε ένα καλούπι, αφήνοντάς το να κρυώσει και εξωθώντας το μέσα σε μία διαμορφωμένη μήτρα. Επίσης, οι πυλώνες που κατασκευάζονται από τιτάνιο ή αλουμίνιο μπορούν να δημιουργηθούν με τη διαδικασία της χύτευσης. Σε αυτή τη περίπτωση, το υγρό μέταλλο αναγκάζεται σε χαλύβδινη μήτρα κατάλληλου σχήματος. Τέλος, τα ξύλινα μέρη του πρόσθετου μέλους, μπορούν να δημιουργηθούν με πλάνιση (είναι μία μορφή κατεργασίας του ξύλου που επιτυγχάνεται με περιφερειακή τομή κατά την οποία το ξύλο διέρχεται από κυλινδρικό μέσο κατεργασίας το οποία διαθέτει μαχαίρια πλάνισης στη περιφέρειά του) και να τρυπηθούν. Συνολικά τα διάφορα εξαρτήματα συναρμολογούνται με βίδες, συγκολλήσεις και πλαστικοποίηση.

2.4 Κατασκευαστικές εταιρείες

Η παγκόσμια αγορά προσθετικών μελών χαρακτηρίζεται από πέντε κυρίαρχες κατασκευαστικές εταιρείες οι οποίες κατέχουν μεγάλο μερίδιο αγοράς και παράλληλα παρέχουν ένα ευρύ φάσμα τόσο συμβατικών προσθετικών μελών όσο και προηγμένων και πιο σύγχρονων. Η Ottobock Healthcare και Ossur κατατάχθηκαν πρώτη και δεύτερη αντίστοιχα, τόσο ως προς τον όγκο πωλήσεων όσο και ως προς τα έσοδα. Οι συγκεκριμένες εταιρείες έχουν ένα ευρύ φάσμα γεωγραφικής παρουσίας και ταυτόχρονα έχουν μακροχρόνιες συμβάσεις με κυβερνητικούς οργανισμούς, όπως στρατιωτικές και μη κερδοσκοπικές οργανώσεις.

Οι πέντε κυρίαρχες κατασκευαστικές εταιρείες παγκοσμίως είναι οι εξής :

- Blatchford: παράγει προσθετικά μέλη με μικροεπεξεργαστές ενώ παράλληλα προσφέρει ένα ευρύ φάσμα εξειδικευμένων ορθοπεδικών προσθετικών.



Εικόνα 12: Προσθετικό άκρο της εταιρείας Blatchford (μοντέλο LiNX) (πηγή: <https://www.blatchford.co.uk/products/linx/>)

- Fillauer: κατασκευάζει περισσότερα από 3,200 προσθετικά και ορθοπεδικά προϊόντα για παιδιά και ενήλικες, άνω και κάτω άκρων. Είναι γνωστή για το προσθετικό σύστημα ασφάλισης ανάρτησης.



Εικόνα 13: Μοντέλο nexo της εταιρείας Fillauer (πηγή: <http://fillauer.com/Upper-Extremity-Prosthetics/nexo.php>)

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του παραπάνω μοντέλου της συγκεκριμένης εταιρείας είναι το γεγονός ότι είναι έως και 50% ελαφρύτερο από άλλες κατασκευές προσθετικών άνω άκρων.



Εικόνα 14: Μοντέλο obsidian της εταιρείας Fillauer (πηγή: <http://fillauer.com/Lower-Extremity-Prosthetics/feet/obsidian.php>)

Το μοντέλο obsidian απευθύνεται σε αθλητές όλων των ηλικιών και στοχεύει στην υψηλή απόδοση τους κατά την διάρκεια των δραστηριοτήτων τους.



Εικόνα 15: Μοντέλο Aeris Performance 2 της εταιρείας Fillauer (πηγή: <http://fillauer.com/Lower-Extremity-Prosthetics/feet/aeris-performance-2.php>)

Μερικά από τα πλεονεκτήματα του μοντέλου Aeris Performance 2 είναι η αυξημένη ενεργειακή απόδοση του πυλώνα, η ενισχυμένη πελματική κάμψη για μεγαλύτερη σταθερότητα στη φτέρνα και τέλος ο απλός σχεδιασμός της κατασκευής εγκυάται την μακροχρόνια χρήση της χωρίς την εμφάνιση βλαβών.

- Ossur: κατασκευάζει, αναπτύσσει και πουλάει μη επεμβατικό ορθοπεδικό εξοπλισμό, όπως υποστηρικτικά προϊόντα (support products), θεραπεία συμπίεσης (compression therapy) και προσθετικά μέλη. Η εταιρεία σημείωσε έσοδα ύψους 521 εκατομμυρίων δολαρίων το 2016. Παράλληλα αξίζει να σημειωθεί πως η αύξηση των πωλήσεων της προσθετικής ήταν 19% το 2016.



Εικόνα 16: Μοντέλο Balance Knee της εταιρείας Ossur (πηγή: <https://www.ossur.co.uk/prosthetic-solutions/products/balance-solutions/balance-knee>)

Το μοντέλο Balance Knee προσφέρει σταθερότητα κατά την βάδιση και απευθύνεται κυρίως σε άτομα με μέτρια κινητική δραστηριότητα, δηλαδή δεν απευθύνεται σε αθλητές ή πολύ δραστήριους ανθρώπους.



Εικόνα 17: Μοντέλο Pro-Flex Pivot της εταιρείας Ossur (πηγή: <https://www.ossur.co.uk/prosthetic-solutions/products/dynamic-solutions/pro-flex>)

Το μοντέλο Pro-Flex Pivot έχει μηχανοκίνητη ώθηση, έχει τη δυνατότητα μείωσης του φορτίου και της κρουστικής δύναμης κατά 11% καθώς και τη μείωση της εξωτερικής ροπής του γονάτου κατά 15%. Παράλληλα, προσφέρει μια πιο φυσική κίνηση κατά τη βάδιση, δηλαδή προσομοιάζει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό το φυσικό πόδι, γεγονός που δίνει υψηλή ικανοποίηση στους ασθενείς που το χρησιμοποιούν.

- **Ottobock Healthcare:** είναι γερμανική εταιρεία η οποία είναι θυγατρική του ομίλου επιχειρήσεων Ottobock. Διαθέτει τέσσερα τμήματα τα οποία είναι τα ακόλουθα: ορθοπεδικά, προσθετικά, λύσεις κινητικότητας και ιατρική περίθαλψη. Η εταιρεία δραστηριοποιείται σε περισσότερες από 50 χώρες με μεγάλα κανάλια πωλήσεων και διανομής.



Εικόνα 18: Bebionic Hand της εταιρείας Ottobock (πηγή: https://shop.ottobock.us/CPQ-Configurable-Category/Ottobock-bebionic-Hand/p/BB1000~50_B)

Το Bebionic Hand αποτελεί ένα πλήρως λειτουργικό βιονικό χέρι το οποίο έχει τρεις επιλογές για καρπό ανάλογα με τις απαιτήσεις του κάθε ασθενή. Επίσης, διατίθεται σε δύο διαφορετικά μεγέθη (Εικόνα 18) και έχει δυνατότητα εφαρμογής ειδικού γαντιού ώστε να ταιριάζει στην απόχρωση του δέρματος του κάθε ασθενή [28].



Εικόνα 19: Μοντέλο Genium της εταιρείας Ottobock (πηγή: <https://shop.ottobock.us/Prosthetics/Lower-Limb-Prosthetics/Knees---Microprocessor/Genium/Genium/p/3B1-3~5ST>)

Το μοντέλο Genium αποτελεί έναν μηχανισμό γονάτου ο οποίος διαθέτει μικροεπεξεργαστή που παρέχει υψηλό βαθμό διαισθητικής λειτουργίας σε άτομα που κινούνται γρήγορα σε συνεχώς μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα.

- Ohio Willow Wood: κατασκευάζει, σχεδιάζει και διανέμει προσθετικά άκρα και λύσεις για χειρουργικές επεμβάσεις ακρωτηριασμού.



Εικόνα 20: Μοντέλο Alpha DESIGN AK Liners της εταιρείας WillowWood (πηγή: <https://www.willowwoodco.com/products-services/liners/custom/alpha-design-ak-liners/>)

Το μοντέλο Alpha DESIGN AK Liners αποτελεί μια επένδυση για ακρωτηριασμένα άκρα και στοχεύει στην άνεση των ασθενών. Είναι κατασκευασμένο από ειδικό gel, φιλικό προς το δέρμα θερμοπλαστικό ελαστομερές υλικό και διατίθεται στην αγορά με ποικίλες επιλογές υφάσματος.



Εικόνα 21: Μοντέλο WillowWood One Transfemoral System (πηγή: <https://www.willowwoodco.com/products-services/willowwood-one/willowwood-one-system/>)

Το μοντέλο WillowWood One transfemoral System αποτελεί μια θήκη υποδοχής του ακρωτηριασμένου άκρου η οποία διαθέτει δύο σημεία στεγανοποίησης και αποτελεί μια πιο σταθερή και ανθεκτική κατασκευή.

Σύμφωνα με τα στατιστικά που δημοσίευσε η Technavo το 2016 το μερίδιο αγοράς των κάτω προσθετικών μελών ανήλθε στο 85%. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 22% των ακρωτηριασμών προήλθε από αυτοκινητιστικά ατυχήματα. Τέλος, τα έσοδα από τις πωλήσεις κατά το έτος 2016 ήταν \$1,786 εκατομμύρια και εκτιμάται πως το 2021 θα ανέλθει στα \$2,192.5 εκατομμύρια [15].

3. Σχεδιαστικό πρόγραμμα NX Siemens

3.1 Συστήματα CAD/ CAM

Ορισμοί:

- CAD (Computer Aided Design) είναι η σχεδίαση προϊόντων με χρήση Η/Υ.
- CAM (Computer Aided Manufacturing) είναι η παραγωγή με χρήση Η/Υ των προϊόντων που σχεδιάστηκαν μέσω CAD.

Ένα σύστημα CAD/CAM ορίζεται ως σχεδιομελέτη και παραγωγή με χρήση Η/Υ που στοχεύει στη δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου του προϊόντος, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλο τον κύκλο ανάπτυξης και εισαγωγής του προϊόντος στην αγορά.

«Ο βασικός λόγος ύπαρξης των συστημάτων αυτών είναι η ανάπτυξη ενός «σωστού» προϊόντος στην αρχή, στον ελάχιστο δυνατό χρόνο ανάπτυξης, με το ελάχιστο δυνατό κόστος και την καλύτερη δυνατή ποιότητα [4]».

Η χρήση των συστημάτων αυτών σε συνδυασμό με τεχνολογίες και μεθοδολογίες συγγενείς σε αυτά, στοχεύει στη μείωση των σφαλμάτων, στην βελτίωση του ελέγχου των προϊόντων στο αρχικό στάδιο ανάπτυξής τους, πριν την εισαγωγή τους στην αγορά και τη χρήση από τον πελάτη, συνδιάζοντας τη μείωση του κόστους και του χρόνου ανάπτυξης.

Η ανάπτυξη ενός προϊόντος χωρίζεται σε τέσσερα (4) στάδια, στον προσδιορισμό, την σχεδιομελέτη, το πρωτότυπο και την παραγωγή του προϊόντος. Αυτά τα στάδια είναι άμεσα συσχετιζόμενα καθώς η οποιαδήποτε μεταβολή σε κάποιο από αυτά επηρεάζει το άλλο.

Στάδιο προσδιορισμού: δίδεται η αρχική μορφή του προϊόντος που θέλουμε να δημιουργήσουμε ή γίνονται βελτιώσεις σε ένα ήδη υπάρχων προϊόν που θέλουμε να εξελίξουμε.

Στάδιο σχεδιομελέτης: γίνεται ο ακριβής προσδιορισμός της μορφής του προϊόντος, η μελέτη, η ανάπτυξη και η τεκμηρίωσή του. Στο στάδιο αυτό γίνεται χρήση πολλών εργαλείων. Συγκεκριμένα, στη σύνθεση χρησιμοποιούνται εργαλεία για σχεδίαση, μοντελοποίηση με απόδοση της ακριβούς μορφής των αντικειμένων, δημιουργίας συναρμολογήσεων καθώς και προσομοίωσης. Τα συγκεκριμένα αποτελούν τα βασικά συστήματα σχεδιομελέτης και επομένως ταυτίζονται με τα συστήματα CAD. Τα συστήματα αυτά είναι καθοριστικά, διότι αποδίδουν με ακρίβεια και πληρότητα το μοντέλο του εκάστοτε προϊόντος, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί σε όλες τις εφαρμογές που θα ακολουθήσουν για την παραγωγή του. Με τη χρήση των συστημάτων αυτών, έχουμε τη δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου του προϊόντος, τον έλεγχο της συμβατότητας των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελείται καθώς και την κινηματική του ανάλυση.

Στάδιο του πρωτοτύπου: γίνεται ο έλεγχος της σχεδιομελέτης που προηγήθηκε και της λειτουργίας του προϊόντος. Περιλαμβάνει διάφορες διαδικασίες ελέγχου και δοκιμών σε εργαστηριακό και φυσικό περιβάλλον λειτουργίας του προϊόντος. Υπάρχουν διάφορα πρωτότυπα, όπως φυσικά, υπολογιστικά, εικονικά και ανταποκρίνονται σε όλο το προϊόν ή μόνο σε ένα τμήμα του. Στο στάδιο αυτό, χρησιμοποιούνται εργαλεία δημιουργίας του πρωτοτύπου (digital mockup) και της πλασματικής παραγωγής (virtual prototyping and manufacturing), τα οποία συνδιάζουν τα συστήματα σχεδιομελέτης και παραγωγής με τα συστήματα εικονικής πραγματικότητας.

Στάδιο παραγωγής: Περιλαμβάνει τον προγραμματισμό των κατεργασιών που απαιτούνται για το κάθε εξάρτημα του προϊόντος, την παραγγελία των υλικών, των εργαλείων και την εκτέλεση των κατεργασιών καθώς και τον έλεγχο της παραγωγής [4].

Το NX Siemens 11.0 είναι ένα ευέλικτο και εξελιγμένο σχεδιαστικό πρόγραμμα που δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού, αναπαράστασης και βιομηχανοποίησης προϊόντων που επιθυμούν οι διάφορες εταιρείες να προωθήσουν στην αγορά. Οι δυνατότητες που παρέχει το συγκεκριμένο πρόγραμμα είναι πολλές τόσο στον σχεδιασμό όσο και στην μηχανολογική και ηλεκτρολογική αναπαράσταση του εκάστοτε προϊόντος [3].

3.2 Animation (motion - simulation)

Η συγκεκριμένη λειτουργία του σχεδιαστικού προγράμματος NX Siemens προσφέρει την αναπαράσταση της κίνησης του τελικού μοντέλου που κατασκευάστηκε με σκοπό να επιβεβαιωθεί η ορθή λειτουργία της κατασκευής και να υπάρξουν τυχόν διορθώσεις από τον σχεδιαστή. Η κινηματική ανάλυση του τελικού μοντέλου επιτυγχάνεται ακολουθώντας τα εξής βήματα:

- Δημιουργία της συναρμολόγησης
- Καθορισμός των συνδέσεων (links) μεταξύ των τμημάτων (parts) της συναρμολόγησης
- Καθορισμός των αρθρώσεων (joints) και των οδηγών (drivers) της συναρμολόγησης
- Επίλυση του κινηματικού προβλήματος
- Ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Εσωτερικά του προγράμματος, τα εξαρτήματα (κινούμενα σώματα), οι αρθρώσεις και οι οδηγοί μετατρέπονται σε ένα μαθηματικό σύστημα διαφορικών εξισώσεων, το οποίο στη συνέχεια επιλύεται για τον προσδιορισμό των επιθυμητών ποσοτήτων. Συγκεκριμένα, προσδιορίζονται οι μετατοπίσεις, οι ταχύτητες καθώς και οι επιταχύνσεις των κινούμενων σωμάτων και αρθρώσεων της συναρμολόγησης. Κάθε εξάρτημα που ορίζεται ως κινούμενο σώμα πρέπει να αποκόπτεται απ' την συναρμολόγηση, καθώς στη συνέχεια δημιουργούνται έξι δυναμικές εξισώσεις (περιγράφουν δυνάμεις και επιταχύνσεις) και έξι κινηματικές εξισώσεις (περιγράφουν θέσεις και ταχύτητες). Αυτές οι εξισώσεις σχηματίζουν έτσι ένα σύστημα εξισώσεων που περιγράφουν τη συνολική κίνηση της συναρμολόγησης. Ο αριθμός των αγνώστων στο παραπάνω σύστημα εξισώσεων μπορεί να μειωθεί προσθέτοντας περιορισμούς.

Στο πρόγραμμα υπάρχουν δύο ειδών αναπαραστάσεις της κίνησης:

- *Κινηματική ανάλυση (kinematics)*: όπου δεν λαμβάνονται υπόψη τυχόν δυνάμεις που προκαλούν τη κίνηση
- *Δυναμική ανάλυση (dynamics)*: όπου παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ των δυνάμεων και της κίνησης ταυτόχρονα

Στα κινηματικά συστήματα προσδιορίζονται όλοι οι βαθμοί ελευθερίας (degrees of freedom - DOF) ορίζοντας κατάλληλα τις αρθρώσεις (joints) και τους οδηγούς (drivers) της κατασκευής.

4. Εφαρμογή

4.1 Άνω προσθετικό άκρο (Prosthetic hand)

4.1.1 Θεωρητικό μέρος

Έχει παρατηρηθεί ότι οι ακρωτηριασμοί των άνω άκρων είναι πιο σπάνιοι σε σχέση με των κάτω άκρων και ταυτόχρονα η προσθετική τους αποκατάσταση είναι πολύ πιο δύσκολη, διότι το χέρι εκτελεί μια σειρά σύνθετων λειτουργιών και κινήσεων (καρπός, παλάμη, δάχτυλα). Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ η τεχνολογία έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια, δεν έχει φτάσει ακόμα στο επίπεδο της πλήρους αντιγραφής του ανθρώπινου χεριού γεγονός που πρέπει να κατανοήσουν και να αποδεχτούν οι ασθενείς.

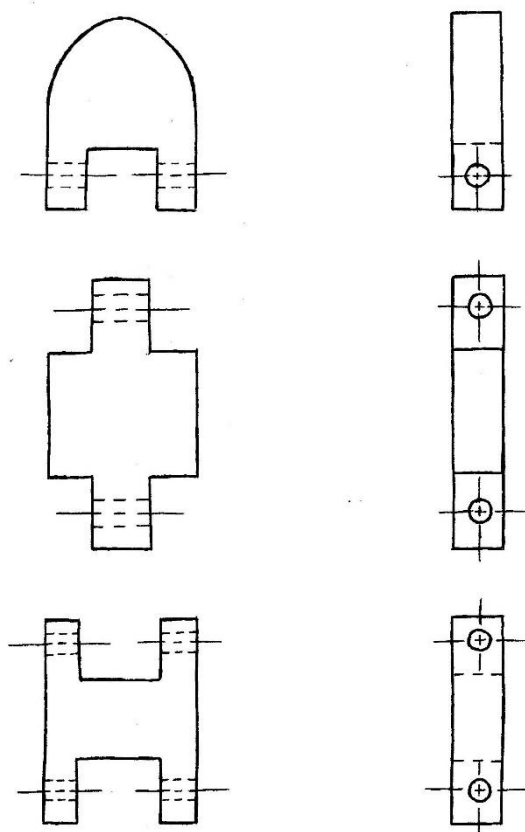
Υπάρχουν τρεις κατηγορίες προσθέσεων για τα άνω άκρα:

1. *Κοσμητικές παθητικές προσθέσεις:* λειτουργούν παθητικά και για τις κινήσεις τους απαιτείται η χρήση του υγιούς μέλους. Είναι πολύ ελαφριές, όμορφες αισθητικά, εύκολες στην εισαγωγή και έχουν χαμηλό κόστος.
2. *Μηχανικές λειτουργικές προσθέσεις:* απαιτούν κίνηση από μέρη του σώματος για να λειτουργήσουν. Έχουν μέτρια αισθητική εμφάνιση, μέτριο βάρος και μέτριο κόστος. Επίσης είναι πολύ ανθεκτικές όμως απαιτούν ενέργεια για τη κίνησή τους γεγονός που τις καθιστά πιο κουραστικές.
3. *Μυοηλεκτρονικές λειτουργικές προσθέσεις:* είναι πιο βαριές, πιο ακριβές και απαιτούν περισσότερη συντήρηση καθώς και αρκετή εξάσκηση. Δεν απαιτούν ενέργεια από τον χρήστη ούτε κίνηση από μέρη του σώματος για να λειτουργήσουν και έχουν σχετικά καλή αισθητική εμφάνιση [10].

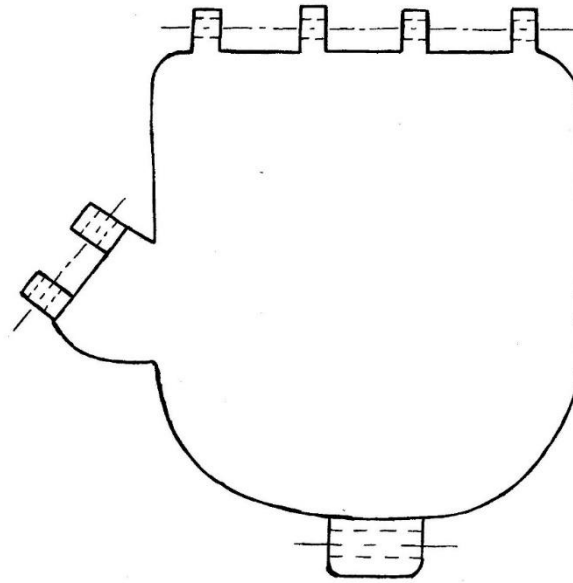
4.1.2 Κόστος

Σύμφωνα με σχετικό άρθρο, η τιμή των άνω προσθετικών μελών διαφέρει ανάλογα με το βαθμό λειτουργικότητάς τους και τον τύπο του ακρωτηριασμού του κάθε ασθενή. Συγκεκριμένα, για ένα τυπικό κοσμητικό μέλος το κόστος είναι λιγότερο από \$5,000, ενώ για ένα μηχανικό λειτουργικό προσθετικό βραχίονα η τιμή ανέρχεται στα \$10,000. Τέλος, ένας εξελιγμένος μυοηλεκτρικός βραχίονας που κατευθύνεται με τη κίνηση των μυών τιμολογείται μεταξύ \$ 20,000- \$100,000 ή και περισσότερο [12].

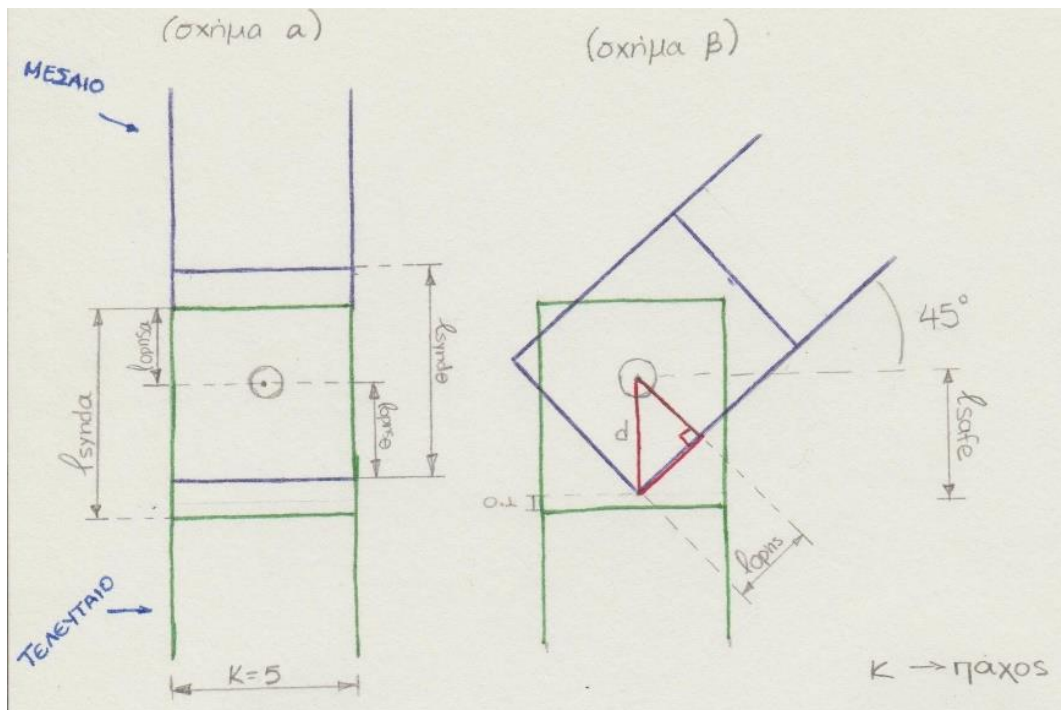
4.1.3 Παρουσίαση αρχικών σχεδίων στο χαρτί



Εικόνα 22: Σκαρίφημα εξαρτημάτων δαχτύλων



Εικόνα 23: Σκαρίφημα παλάμης



Εικόνα 24: Υπολογισμός διακένου μεταξύ των εξαρτημάτων των δαχτύλων.

Κατά τη σχεδίαση του μοντέλου του προσθετικού χεριού στο πρόγραμμα NX Siemens, παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα κατά τη κίνηση του τελικού μοντέλου. Το συγκεκριμένο πρόβλημα ήταν ότι κατά την κίνηση των δαχτύλων (λύγισμα) τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελούνται επικάλυπταν το ένα το άλλο. Επομένως, χρειάστηκε να υπολογιστεί το κατάλληλο διάκενο που θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους

τα εξαρτήματα ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα κατά τη κίνηση. Στην Εικόνα 24, παρουσιάζεται το συγκεκριμένο πρόβλημα, το οποίο εμφανίζεται όταν η κλίση μεταξύ των εξαρτημάτων είναι ίση με 45° , διότι σε εκείνη τη γωνία είναι το πιο κρίσιμο σημείο όπου μπορεί να επικαλύψει το ένα εξάρτημα το άλλο. Άρα υπολογίζουμε την απόσταση d ως εξής:

Αρχικά θεωρούμε: $l_{synda} = l_{synd\theta}$ και $l_{ophsa} = l_{ophs\theta}$

Για συμμετρικές γεωμετρίες σε αρσενικό και θηλυκό, αλλάζοντας μόνο η θέση του άξονα περιστροφής (δηλαδή το κέντρο του κύκλου).

Θέλουμε διάκενο 0.1 mm

Ορίζουμε $l_{safe} = (d + 0.1) \text{ mm}$ (1)

Από το ορθογώνιο τρίγωνο (σχήμα β στην εικόνα 24) ισχύει: $d^2 = (l_{ophs})^2 + \left(\frac{\kappa}{2}\right)^2$ (2)

Θεωρούμε $l_{ophs} = 2.5 \text{ mm}$ ώστε να ταιριάζει στην κατασκευή γεωμετρικά.

Από τη σχέση (2) προκύπτει ότι: $d = \sqrt{(2,5)^2 + (2,5)^2} = 3,43$ άρα $d = 3.5 \text{ mm}$

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι: $l_{safe} = 3.6 \text{ mm}$

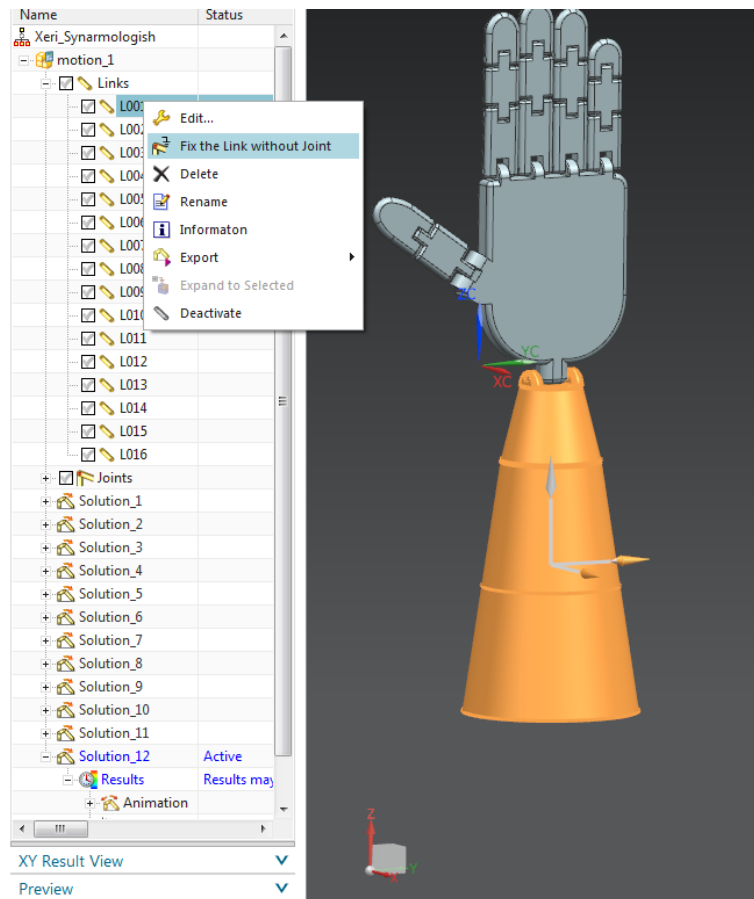
Από τα σχήματα α, β έχομε: $l_{synda} = l_{ophsa} + l_{safe\theta} - 0.1$ και $l_{synd\theta} = l_{ophs\theta} + l_{safea} - 0,1$

Άρα $l_{synda} = 2.5 + 3.6 - 0.1 = 6 \text{ mm}$ ή $l_{synda} = l_{synd\theta} = 6 \text{ mm}$

4.1.4 Motion Simulation (άνω προσθετικό άκρο – χέρι)

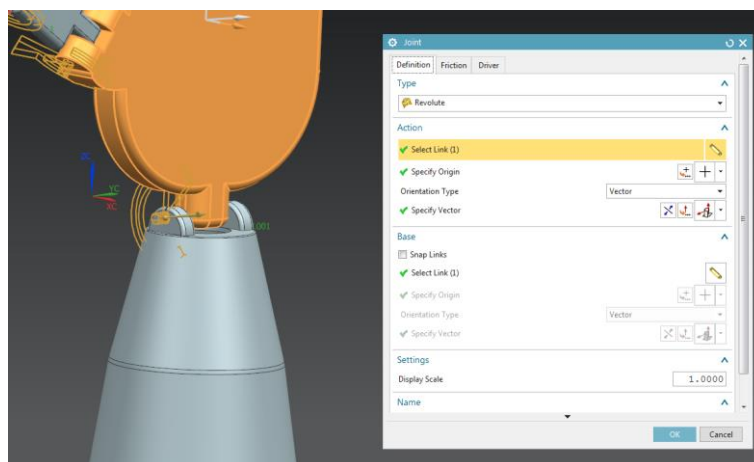
Ανοίγοντας το πρόγραμμα επιλέγουμε File→Open→Assembly, επιλέγουμε το tab του Application και στη συνέχεια στο Motion, στο δένδροδιάγραμμα κάνουμε κλικ πάνω στο όνομα του αρχείου (assembly) και επιλέγουμε New Simulation.

Αρχικά χρησιμοποιούμε την εντολή Link όπου συνδέουμε τα εξαρτήματα του μοντέλου τα οποία κινούνται ταυτόχρονα. Στη συνέχεια επιλέγουμε το σταθερό εξάρτημα στην συγκεκριμένη περίπτωση αυτό είναι το *wrist_neo* πατώντας δεξί κλικ και επιλογή Fix the Link without Joint.

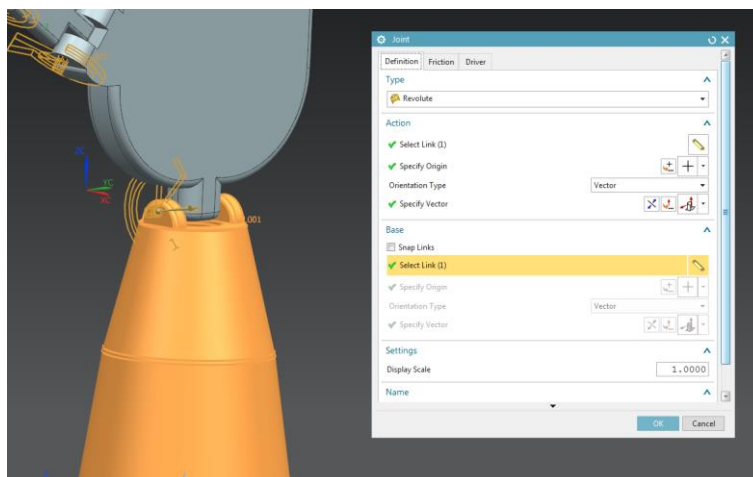


Βρισκόμενοι στην καρτέλα Home, επιλέγουμε την εντολή Joint με την οποία δηλώνουμε το είδος της κίνησης κάθε μέρους του μοντέλου. Επιλέγουμε Joint και στο Type επιλέγουμε Revolute (περιστροφική κίνηση).

Στον τομέα του Action Specify Origin επιλέγουμε Arc/Eclipse/Sphere Center . Πατάμε πάνω στο Select Link ώστε να δώσουμε το Link της κίνησης.

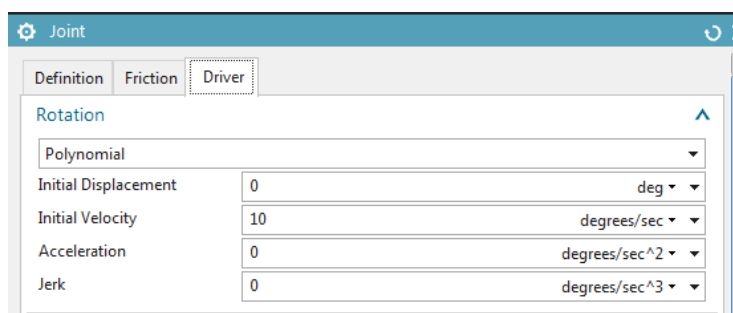


Εικόνα 25: Προσδιορισμός Link1



Εικόνα 26: Προσδιορισμός Link2

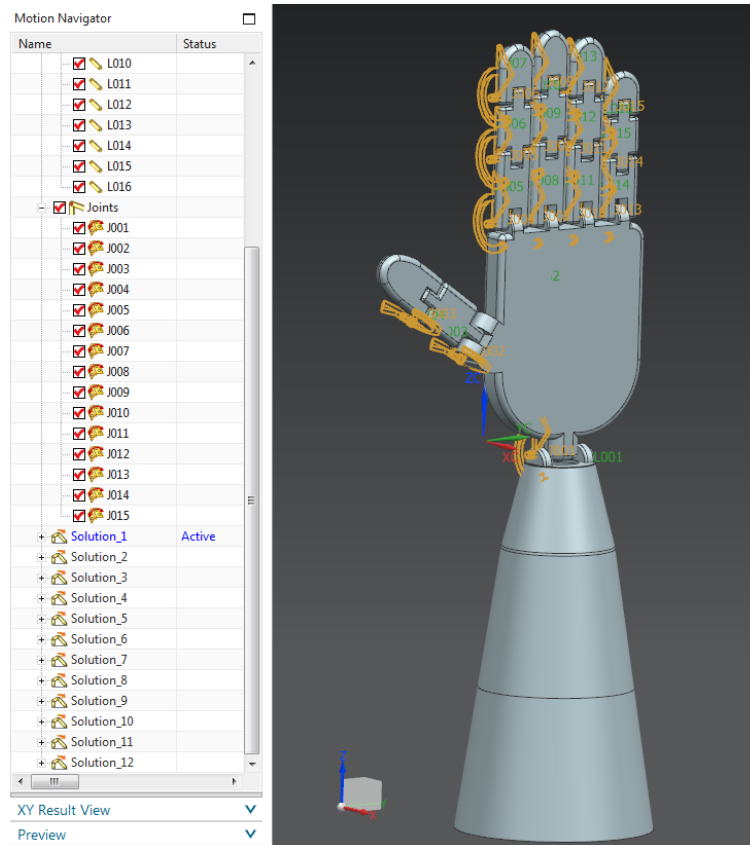
Από την καρτέλα του Driver στις επιλογές διαλέγουμε Polynomial και στο Initial Velocity ορίζουμε την τιμή 10 deg/turn.



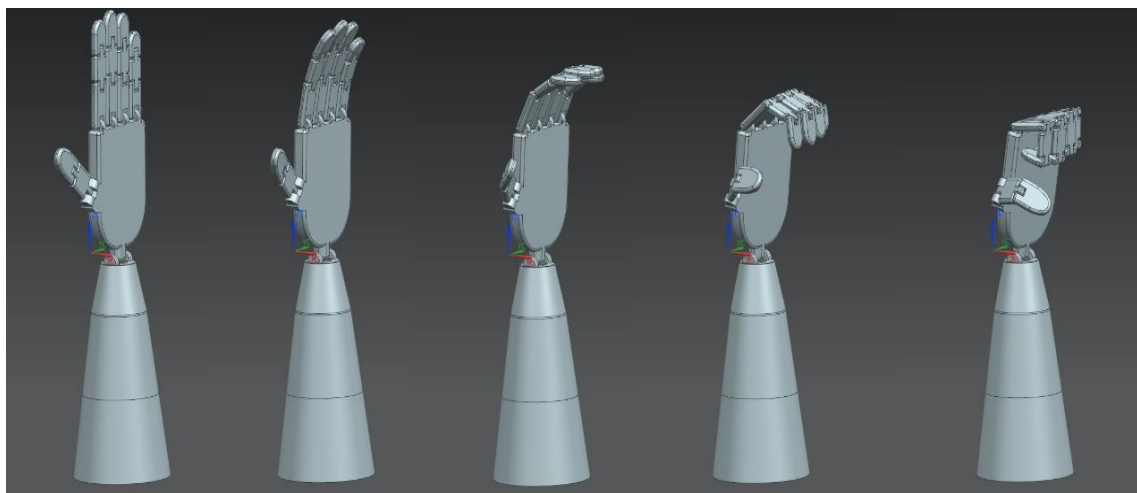
Εικόνα 27: Καρτέλα του Driver

Επιλέγουμε το Solution δίδοντας τις επιθυμητές τιμές για τις παραμέτρους που μας ζητάει και επιλέγουμε την εντολή Solve. Για να κινηθεί το μοντέλο πατάμε την επιλογή Animation και στην συνέχεια Play.

Με όμοιο τρόπο δίνουμε κίνηση σε όλα τα εξαρτήματα της συναρμολόγησης έχοντας τελικά 15 διαφορετικές και ανεξάρτητες κινήσεις μεταξύ τους.

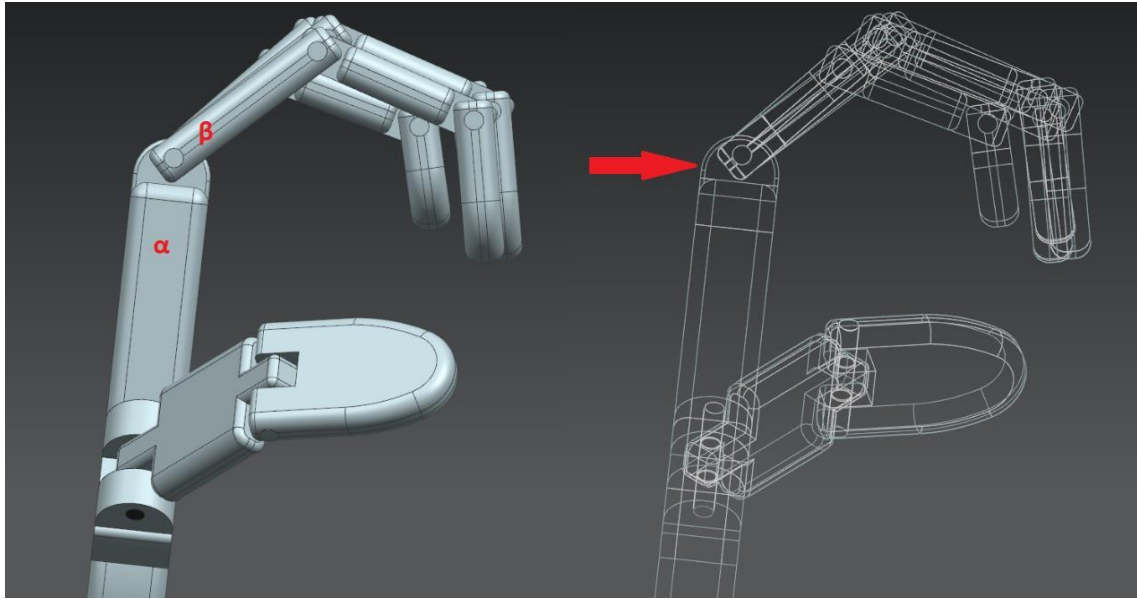


Εικόνα 28: Μοντέλο χεριού με διανύσματα κινήσεων



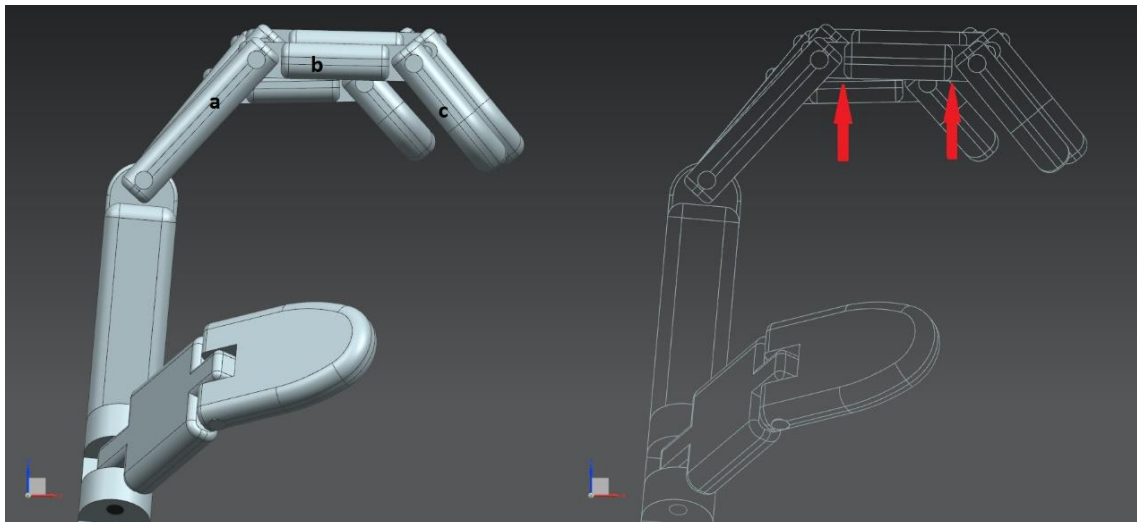
Εικόνα 29: Παρουσίαση κίνησης χεριού

Έχοντας χρησιμοποιήσει κατάλληλες σχέσεις μεταξύ των διαστάσεων (Expressions) στα εξαρτήματα του μοντέλου, μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι κατά την κίνηση δεν υπάρχει επαφή.

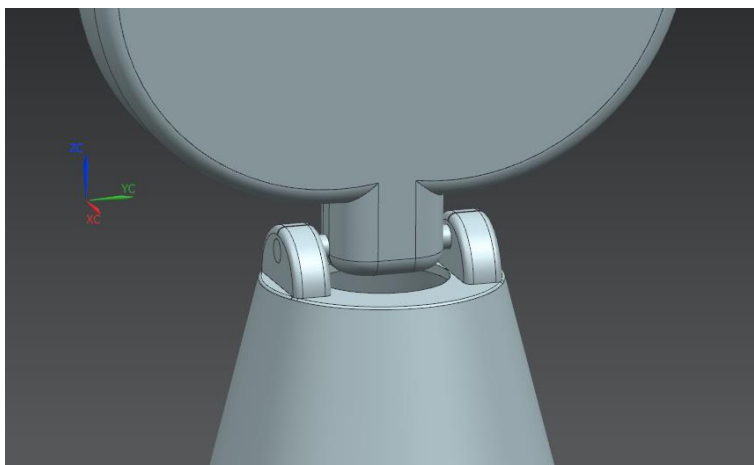


Εικόνα 30: Σημείο εκκίνησης, όπου η γωνία α, β είναι 45 μοίρες

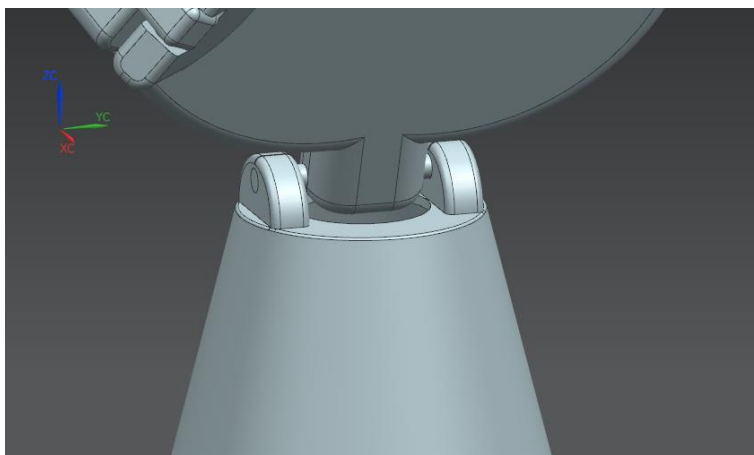
Γνωρίζοντας ότι οι βάσεις των δάκτυλων με την παλάμη έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να επικαλύπτονται όταν η γωνία του ενός ως προς το άλλο είναι 45° , παρατηρούμε ότι οι σχέσεις των αποστάσεων που δόθηκαν λειτούργησαν σωστά. Εάν υπήρχε επικάλυψη θα μπορούσαμε να το δούμε με την κίνηση του μοντέλου διορθώνοντας το τελικό σχέδιο. Όμοια ισχύει και σε όλα τα κινούμενα μέρη, δακτύλων και καρπού.



Εικόνα 31: Σημείο εκκίνησης όπου η γωνία a, b, c είναι 45 μοίρες.



Εικόνα 32: Πλάγια προβολή παλάμης-καρπού (αρχικό σημείο)



Εικόνα 33: Πλάγια προβολή παλάμης-καρπού (τελικό σημείο)

4.2 Κάτω προσθετικό άκρο (Prosthetic leg)

4.2.1 Συστατικά πρόσθεσης κάτω άκρου

Ένα προσθετικό κάτω άκρω περιλαμβάνει συνήθως μία θήκη υποδοχής, έναν μηχανισμό γονάτου, έναν πυλώνα και ένα πέλμα. Πιο αναλυτικά:

- Θήκη υποδοχής: είναι εκεί που συνδέεται το ακρωτηριασμένο άκρο με το πρόσθετο μέλος. Εκτός από τη προστασία του άκρου που πρέπει να παρέχει, ταυτόχρονα είναι αναγκαίο να διαβιβάζει κατάλληλα τις δυνάμεις που ασκούνται κατά τη βάρδιση και τη στήριξη.
- Άρθρωση γονάτου: πρέπει να πληρεί τις εξής προϋποθέσεις
 1. Στήριξη κατά τη φάση στήριξης της βάρδισης
 2. Ομαλό έλεγχο κατά τη φάση της αιώρησης
 3. Διατήρηση της κίνησης χωρίς περιορισμούς στο κάθισμα και στο λύγισμα

Οι συνηθέστεροι τύποι μηχανισμού προθετικού γονάτου είναι:

1. Υδραυλικός τύπος γονάτου που λειτουργεί με λάδι ή αέρα και επιτρέπει την εναλλαγή του ρυθμού βάρδισης. Χρησιμοποιείται ένα έμβολο σε έναν κύλινδρο γεμάτο με υγρό, το οποίο διευκολύνει τη φάση αιώρησης του βηματισμού. Αποτελεί μία βαριά κατασκευή, δαπανηρή και υψηλή σε συντήρηση.
2. Γόνατο με χειροκίνητο κλείσιμο που παρέχει μεγάλη σταθερότητα, όμως ο βηματισμός απαιτεί μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση.
3. Γόνατο με τέσσερις μοχλούς και μετατόπιση του κέντρου περιστροφής, το οποίο παρέχει ικανοποιητική σταθερότητα.
4. Πολυκεντρικό γόνατο το οποίο είναι βαριά κατασκευή και δαπανηρή καθώς απαιτεί υψηλή συντήρηση.
5. Γόνατο ενεργοποιημένο από βάρος ή ασφάλεια, το οποίο δεν μπορεί να λυγίσει κατά τη διάρκεια της υποδοχής του βάρους όμως παρέχει σταθερότητα κατά της φάση της στήριξης.

- **Πυλώνας:** είναι ένα σωλήνας ή ένα περίβλημα που συνδέει τη θήκη υποδοχής με την τελική κατασκευή. Μπορεί να είναι εξωσκελετικός (μαλακός αφρός που έχει διαμορφωθεί ώστε να ταιριάζει με το άλλο άκρο και καλύπτεται με ένα σκληρο, τοποθετημένο σε στρώματα περίβλημα) ή ενδοσκελετικός (ένα εσωτερικό, μεταλλικό πλαίσιο με μαλακή κάλυψη για την αισθητική).
- **Πέλμα:** είναι μια απλή κατασκευή και μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορες ανάγκες, όπως για παράδειγμα σε αθλητές.

4.2.2 Μηχανισμός γονάτου

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε να σχεδιαστεί ένα προσθετικό πόδι με έναν ιδιαίτερο σχεδιαστικό παράγοντα. Η πλειοψηφία των προσθετικών κάτω άκρων χρησιμοποιεί υδραυλική ανάρτηση για τον μηχανισμό του γονάτου και συνεπώς την κίνηση του ατόμου ή χρήση αισθητήρων με αποτέλεσμα ο ασθενής να μπορεί να κινεί το μέλος όταν δίνει εντολή ο μυς. Το συγκεκριμένο πρόσθετο μέλος λειτουργεί με τη χρήση ενός μηχανισμού γονάτου που ονομάζεται three compartment knee prosthesis και χρησιμοποιείται ουσιαστικά για την αρθροπλαστική γονάτου. Η επιλογή αυτή προέκυψε ως μια προσπάθεια σχεδίασης ενός διαφορετικού πρόσθετου μέλους με λιγότερο βάρος και μεγαλύτερη ευκολία κίνησης του ατόμου που θα το χρησιμοποιεί. Μια από τις εταιρείες που το κατασκευάζει είναι η B Braun και άλλη μια η Zimmer Biomet [6].



Εικόνα 34: Μοντέλο μηχανισμού γόνατος που χρησιμοποιήθηκε ως "πρότυπο" για τη σχεδίαση του κάτω προσθετικού άκρου

4.2.3 Κόστος

Τα προσθετικά κάτω άκρα ποικίλουν ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται, δηλαδή υπάρχουν τα συμβατικά που είναι για απλή βάδιση αλλά υπάρχουν και πιο εξειδικευμένα που είναι για άτομα που τρέχουν και ασχολούνται με διάφορα αθλήματα.

Ένα τυπικό προσθετικό πόδι, στην απλούστερη μορφή του, κοστίζει λιγότερο από \$10,000 και πάνω από \$70,000 κάποιο με εξειδικευμένη κατασκευή το οποίο κατευθύνεται με τη σύσπαση των μυών του ατόμου. Όμως η τιμή εξαρτάται κυρίως από τις ανάγκες και τον βαθμό ακρωτηριασμού του εκάστοτε ασθενή.

Σύμφωνα με μια αναφορά που δημοσιεύθηκε από τους Dr. Grant McGimpsey και Terry C. Bradford του Ινστιτούτου Βιοτεχνολογίας και Κέντρου Νευροπροσθετικής, του Πολυτεχνείου Worcester, ένα προσθετικό πόδι για ακρωτηριασμό κάτω από το γόνατο (below-the-knee prosthesis) και για απλή βάδιση σε επίπεδο έδαφος κοστίζει περίπου \$5,000- \$7,000, ενώ για κάποιο που επιτρέπει τη βάδιση σε σκάλες και ανώμαλο έδαφος κοστίζει μέχρι και \$10,000. Για προσθετικό πόδι που απευθύνεται σε αθλητές η τιμή του ανέρχεται περίπου στα \$15,000. Τα προσθετικά κάτω άκρα με υδραυλικά συστήματα κίνησης τιμολογούνται πάνω από \$15,000, ενώ εκείνα με συστήματα υπολογιστή που είναι τα πιο εξελιγμένα η τιμή τους

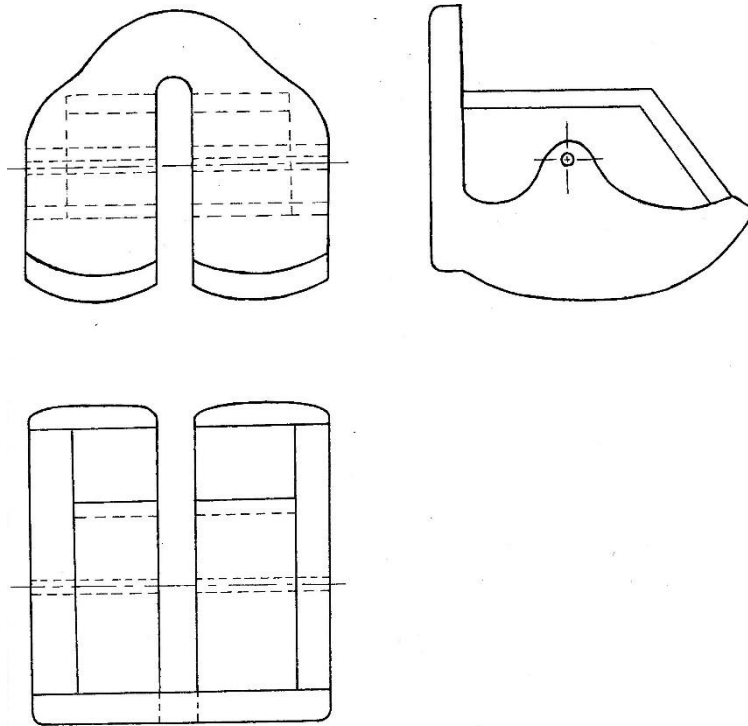
ξεπερνά τα \$20,000. Συγκεκριμένα, το μοντέλο C-leg της Otto-Bock, για πάνω από το γόνατο προσθετική (above-the-knee prosthesis), μπορεί η τιμή του να φτάσει τα \$50,000 (χωρίς το πέλμα) ή πάνω από \$70,000 για ολόκληρο το προσθετικό πόδι [18].

Τα προσθετικά πόδια χρειάζεται να αντικαθίστανται αρκετές φορές κατά τη διάρκεια ζωής του ασθενή, διότι απαιτούν συνεχείς αναπροσαρμογές. Συγκεκριμένα, μια έρευνα που έγινε από το Τμήμα Υποθέσεων Βετεράνων, έδειξε ότι κατά τη διάρκεια της ζωής ενός βετεράνου με ένα ακρωτηριασμένο πόδι το συνολικό κόστος για τη συντήρηση και την αλλαγή του προσθετικού μέλους άγγιξε τα \$1.4 εκατομμύρια [19].

4.2.4 Παρουσίαση σχεδίων στο χαρτί

Ως πρότυπο σχεδίασης χρησιμοποιήθηκε ο μηχανισμός που φαίνεται στην Εικόνα 34, σε μια προσπάθεια διαφορετικής προσέγγισης σχεδίασης του κάτω προσθετικού άκρου.

Κατά την έρευνα αγοράς και την αναζήτηση των τύπων μηχανισμού προσθετικών κάτω μελών, δεν βρέθηκε κάποια κατασκευή που να χρησιμοποιεί το συγκεκριμένο μοντέλο για την κίνηση του γονάτου. Επομένως, επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος για πιθανή σχεδίαση ενός νέου προσθετικού μέλους, πιο οικονομικού με μικρότερο βάρος αλλά με πιο περιορισμένες δυνατότητες σε σχέση με τα προσθετικά μέλη υδραυλικής ανάρτησης ή με τα μυοηλεκτρικά άκρα που κινούνται με τις εντολές των μυών.



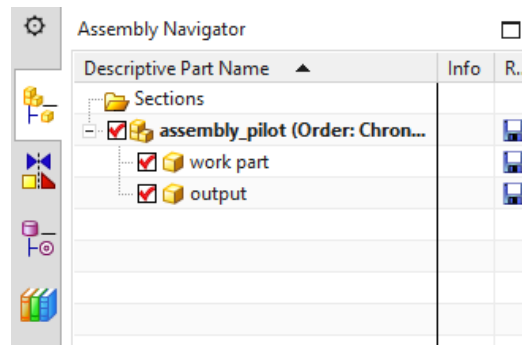
Εικόνα 35: Αρχικό σχέδιο μηχανισμού γόνατος

Στην Εικόνα 35 παρουσιάζεται η σχεδίαση της επιγονατίδας που έγινε στο αρχικό στάδιο σχεδίασης του προσθετικού μέλους. Στη συνέχεια, όταν το παραπάνω σχέδιο έγινε στο πρόγραμμα σχεδίασης NX Siemens πραγματοποιήθηκαν κάποιες βελτιώσεις και προσαρμογές στο σύνολο του προσθετικού άκρου.

4.2.5 Γενικές οδηγίες Top-Down σχεδίασης – Wave Geometry Linker

Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου πραγματοποιείται η δημιουργία ενός δέντρου συναρμολόγησης.

Δημιουργούμε αρχείο assembly, έστω ότι το ονομάζουμε assembly_pilot, το οποίο αποτελεί τη βάση για το σχεδιασμό του τελικού αντικειμένου. Πηγαίνουμε στη καρτέλα δενδροδιαγράμματος Assembly Navigator, κάνουμε αριστερό κλικ στο αρχείο assembly_pilot, στη συνέχεια στη καρτέλα Assemblies, επιλέγουμε Create New και δημιουργούμε δύο επιμέρους αρχεία συναρμολογήσεων, ένα work part και ένα output.



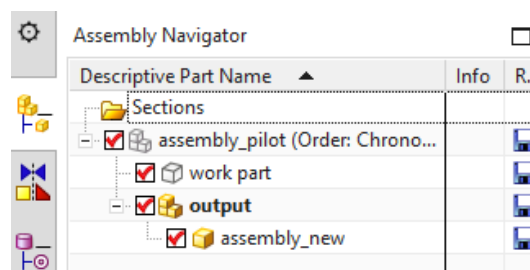
- Στο αρχείο work part σχεδιάζονται όλα τα αντικείμενα της συναρμολόγησης:

Κάνοντας δεξί κλικ στο αρχείο *work part* και επιλέγοντας ξανά Make Work Part, ξεκινάμε την σχεδίαση των εξαρτημάτων (κατά σειρά) του τελικού αντικείμενου με πρώτο αυτό που αποτελεί τον «πυλώνα», εισάγοντας τις σχέσεις των διαστάσεων (Expressions) που καθορίζουν τη σωστή γεωμετρία του. Το κάθε εξάρτημα που σχεδιάζουμε έχει ως οδηγό του το προηγούμενο, δηλαδή χρησιμοποιούμε ως References στα σχέδια τη γεωμετρία του είδη υπάρχοντος στερεού.

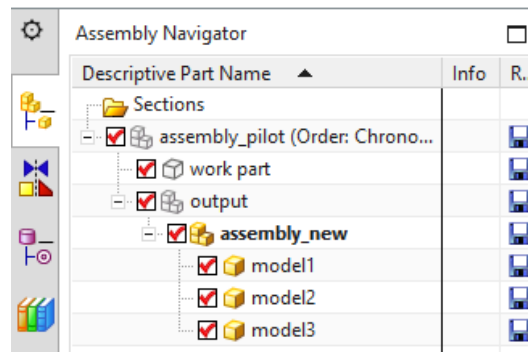
- Στο αρχείο output εισάγεται η τελική γεωμετρία του κάθε εξαρτήματος.

Αφού ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός όλων των εξαρτημάτων της συναρμολόγησης στο αρχείο work part, δημιουργούμε αρχείο assembly, έστω ότι το ονομάζουμε assembly_new, το οποίο θα είναι το ίδιο αρχείο συναρμολόγησης αν σχεδιάζαμε με την ευρεία χρησιμοποιούμενη μέθοδο από κάτω προς τα πάνω (bottom-up design).

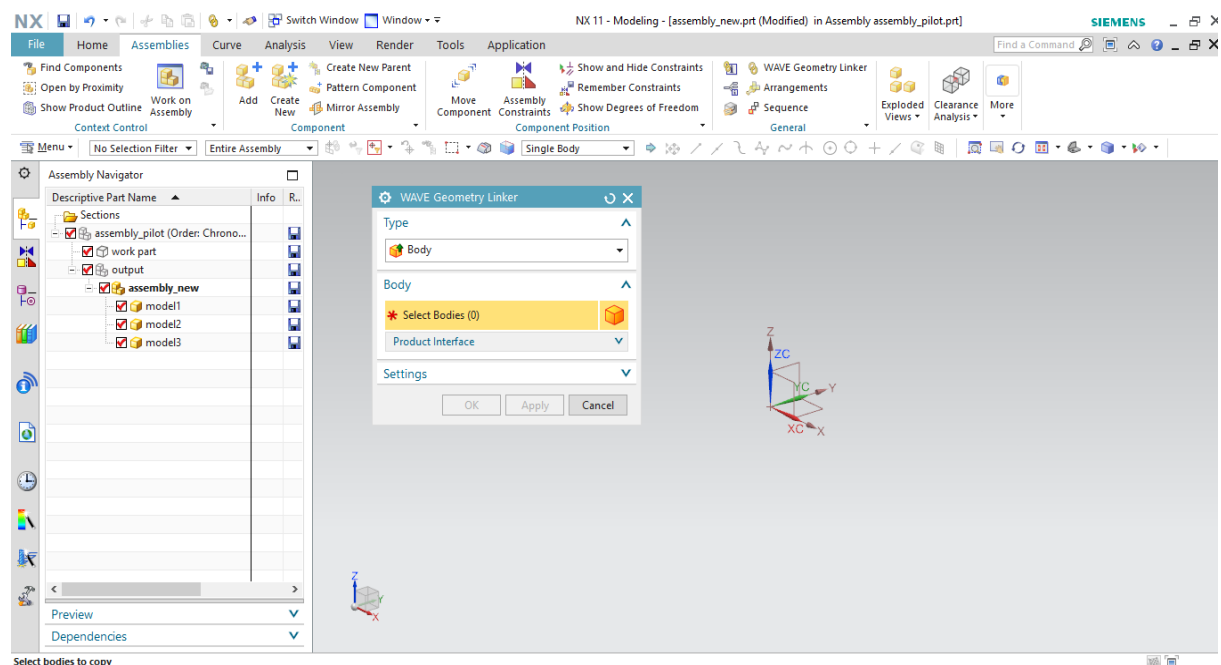
Για τη δημιουργία του αρχείου assembly_new, κάνουμε δεξί κλικ στο αρχείο output και επιλέγουμε Make Work Part. Στη συνέχεια επιλέγουμε όπως πριν στην καρτέλα Assemblies, Create New και δημιουργούμε το αρχείο συναρμολόγησης assembly_new.



Στη συνέχεια δημιουργούμε αρχεία εξαρτημάτων (model) ίσα με αυτά που σχεδιάστηκαν στο work part δίνοντάς τους ονόματα. Για τη δημιουργία τους, αρχικά επιλέγουμε με δεξί κλικ το αρχείο assembly_new, επιλέγουμε όπως πριν Make Work Part και στη συνέχεια Create New αρχείου Model.

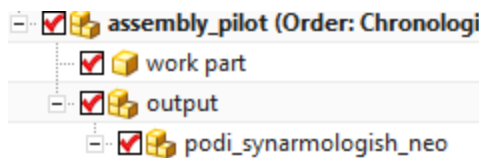


Επιλέγοντας κάθε ένα αρχείο από αυτά που εισήγαμε, χρησιμοποιούμε την εντολή Wave Geometry Linker και την επιλογή στερεού σώματος (Body) από την καρτέλα Assemblies επιλέγοντας το αντίστοιχο αντικείμενο από το work part. Αποθηκεύοντας το αρχείο δημιουργούμε το τελικό αντικείμενο με τα επιμέρους εξαρτήματα του έχοντας ως κύριο πλεονέκτημα την αυτόματη διόρθωση / αλλαγή του ενός ως προς το άλλο.



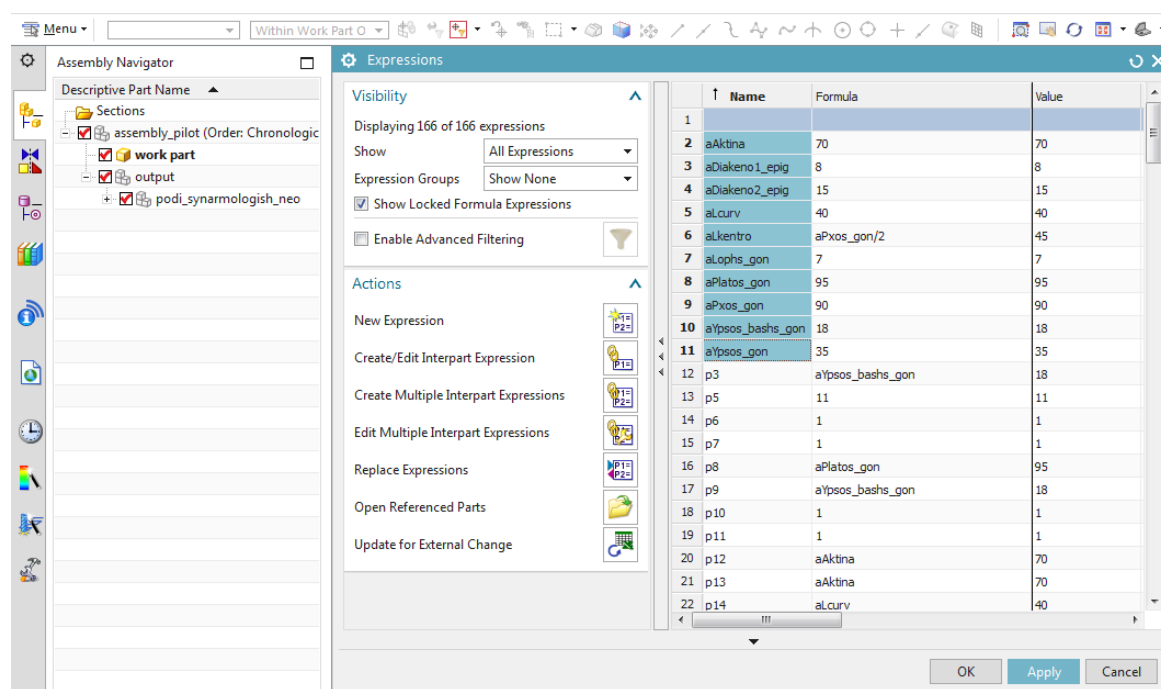
4.2.6 Σχεδιασμός κάτω προσθετικού άκρου με Top-Down σχεδίαση

Ακολουθούμε τη διαδικασία που περιγράφεται στη προηγούμενη ενότητα δημιουργώντας το δενδροδιάγραμμα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 36.



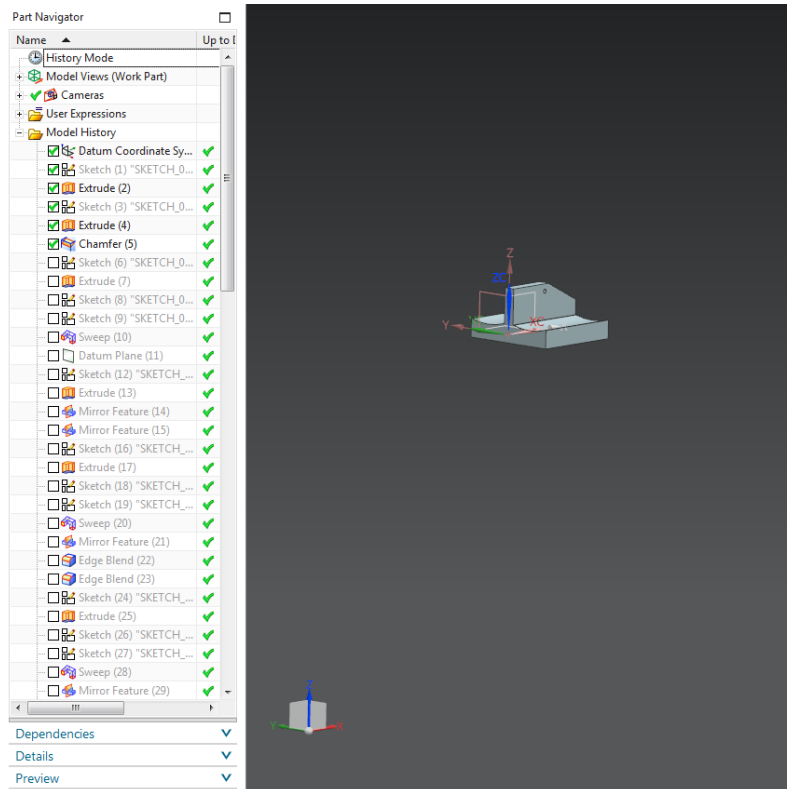
Εικόνα 36: Δενδροδιάγραμμα σχεδίασης προσθετικού ποδιού

Στη συνέχεια ορίζουμε τις σχέσεις γεωμετρίας (Expressions) μεταξύ των εξαρτημάτων, οι οποίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 37.

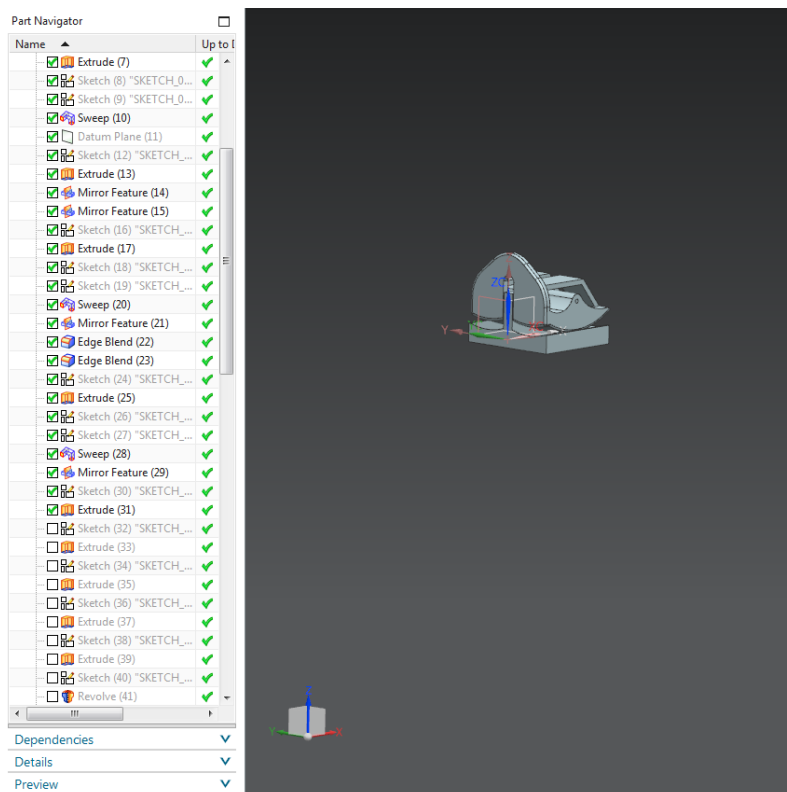


Εικόνα 37: Εισαγωγή σχέσεων από καρτέλα Tools, επιλέγοντας το εικονίδιο Expressions στο Work part

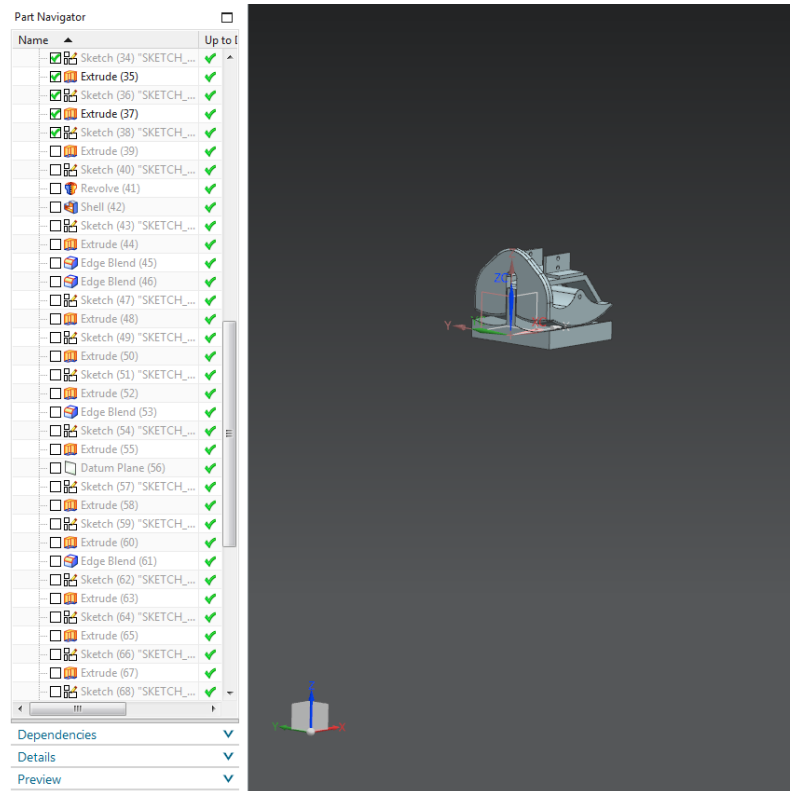
Τα εξαρτήματα σχεδιάστηκαν με την ακόλουθη σειρά:



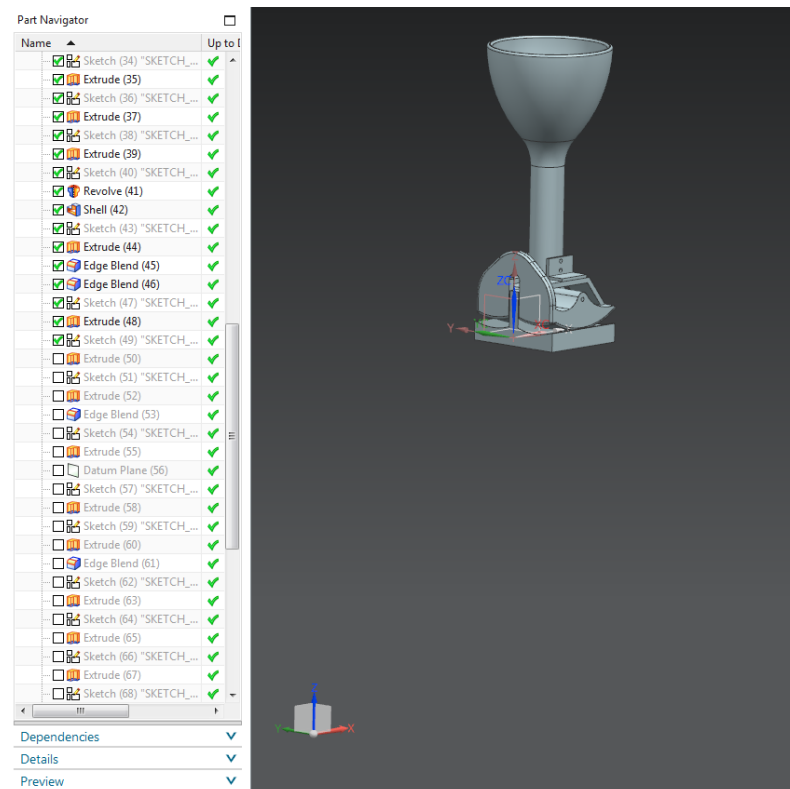
Εικόνα 38: Μέσο εξάρτημα γονάτου



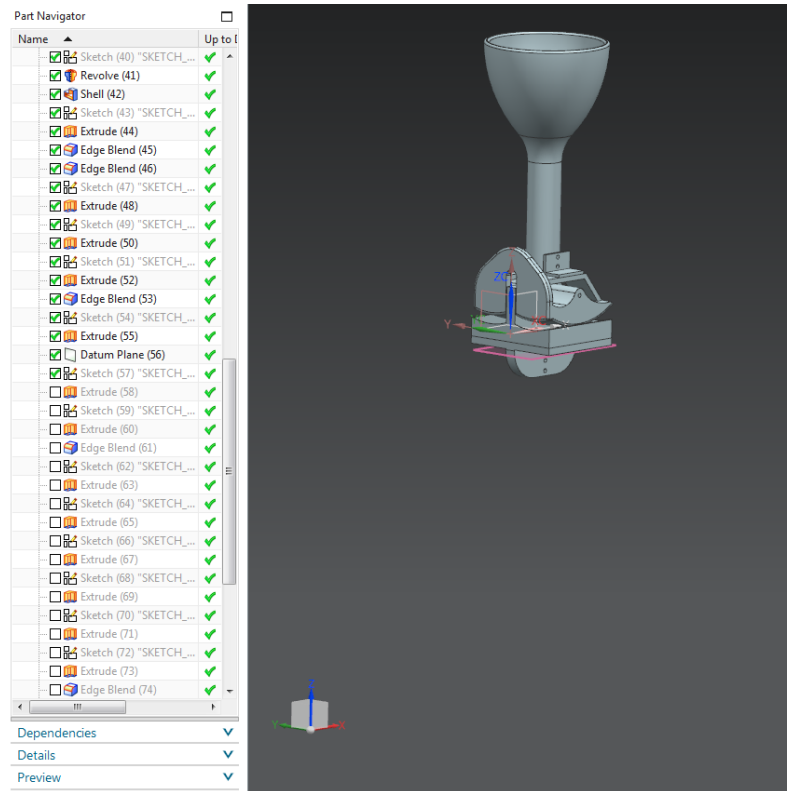
Εικόνα 39: Επιγονατίδα



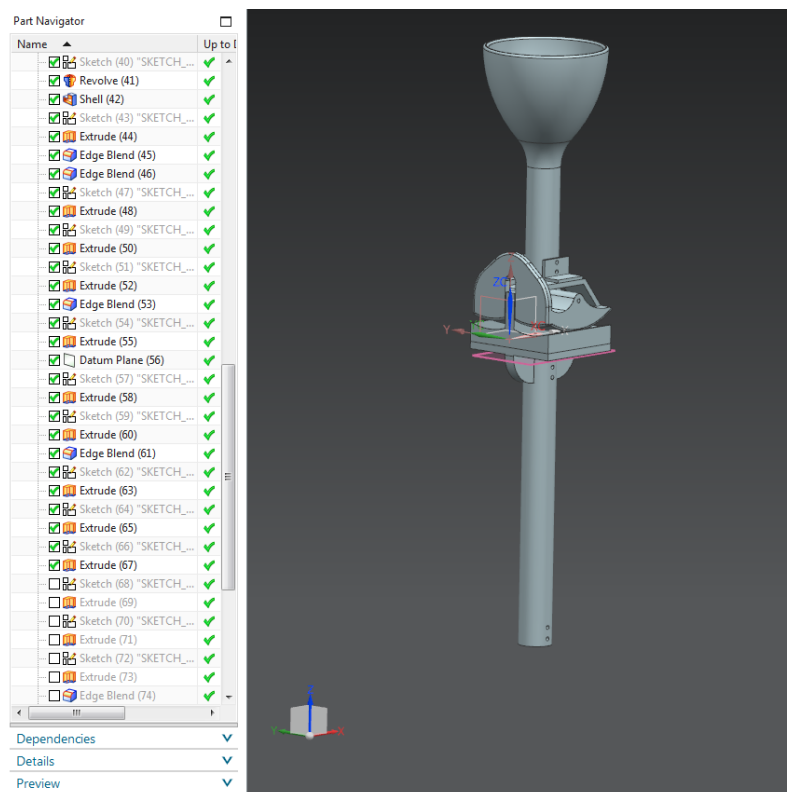
Εικόνα 40: Σύνδεσμος επιγονατίδας και μέσου εξαρτήματος γονάτου & βάση μηρού



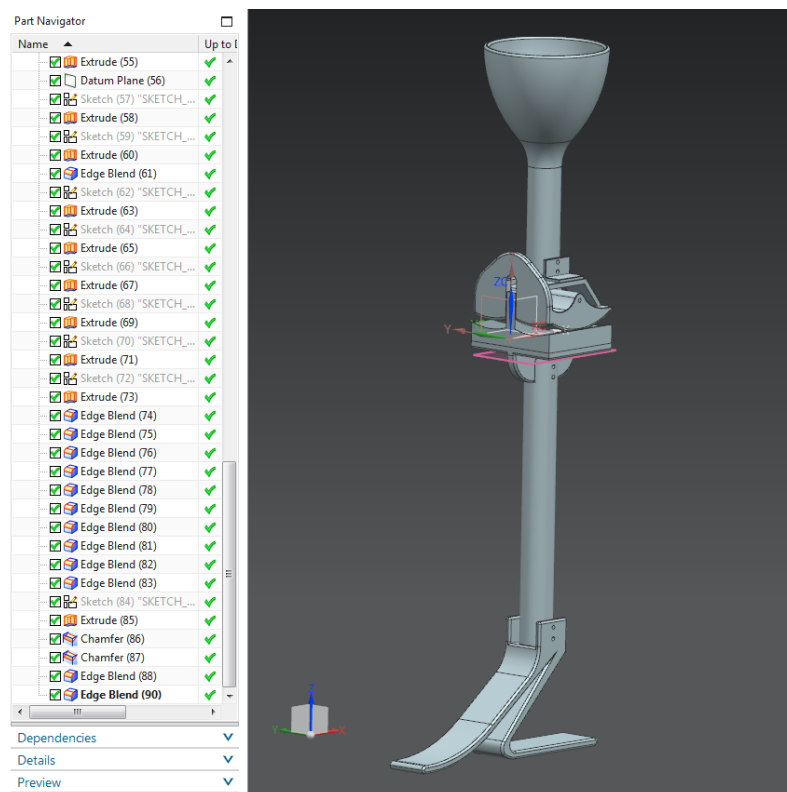
Εικόνα 41: Μηρός και σύνδεσμος μηρού και βάσης του



Εικόνα 42: Βάση γονάτου



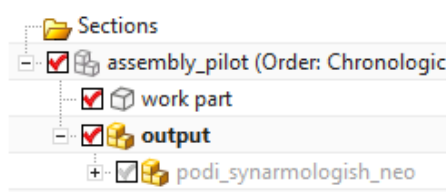
Εικόνα 43: Καλάμι ποδιού & σύνδεσμος βάσης γονάτου και καλάμι ποδιού



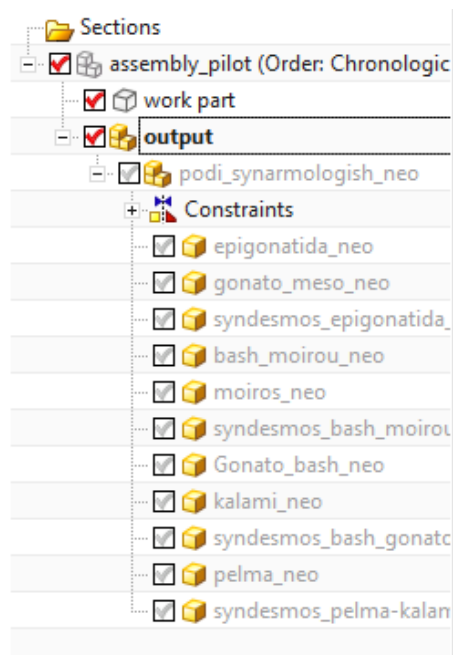
Εικόνα 44: Πέλμα & σύνδεσμος πέλματος με καλάμι ποδιού (Τελικό σχέδιο ποδιού)

4.2.7 Εφαρμογή Wave Geometry Linker

Έχοντας ολοκληρώσει το σχεδιασμό του ποδιού στο αρχείο work part, δημιουργούμε αρχείο assembly με όνομα “pod_i_synarmologish_neo”, το οποίο αντιστοιχεί στο αρχείο assembly_new που αναφέρθηκε στην ενότητα 4.2.5.

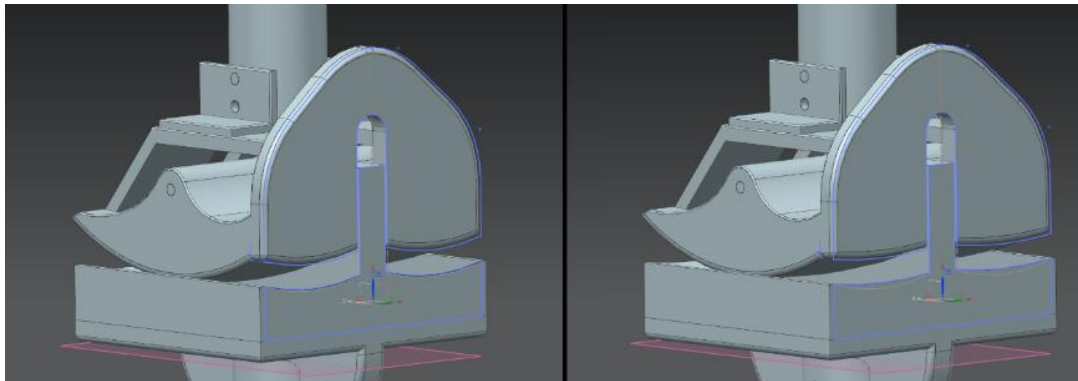


Στη συνέχεια δημιουργούμε αρχεία εξαρτημάτων (model) ίσα με αυτά που σχεδιάσαμε στο work part δίδοντας τους ονόματα.



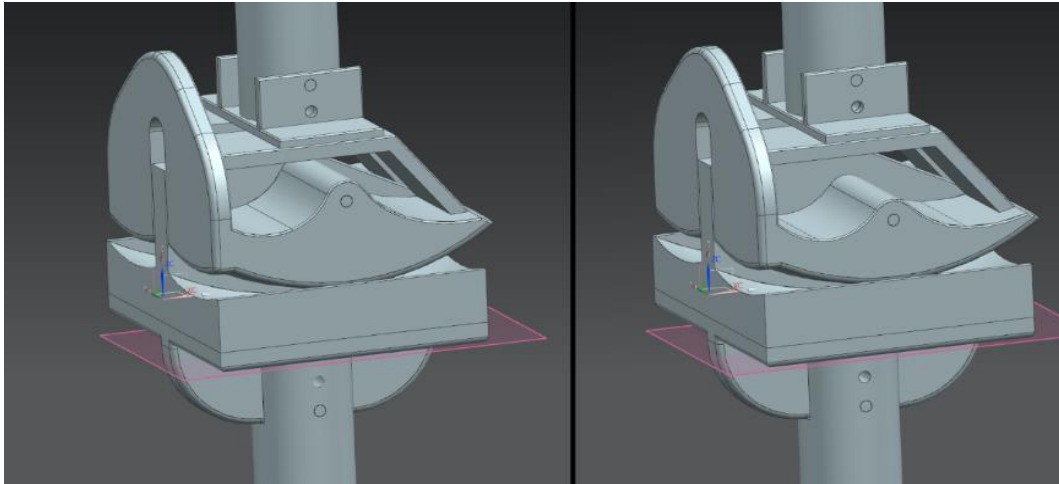
Παράδειγμα 1

Αλλαγή ακτίνας τόξου στο αρχείο “μέσο εξάρτημα γονάτου” από 90 mm (αριστερά) σε 150 mm (δεξιά), επηρεάζει και το εξάρτημα “επιγονατίδα”.



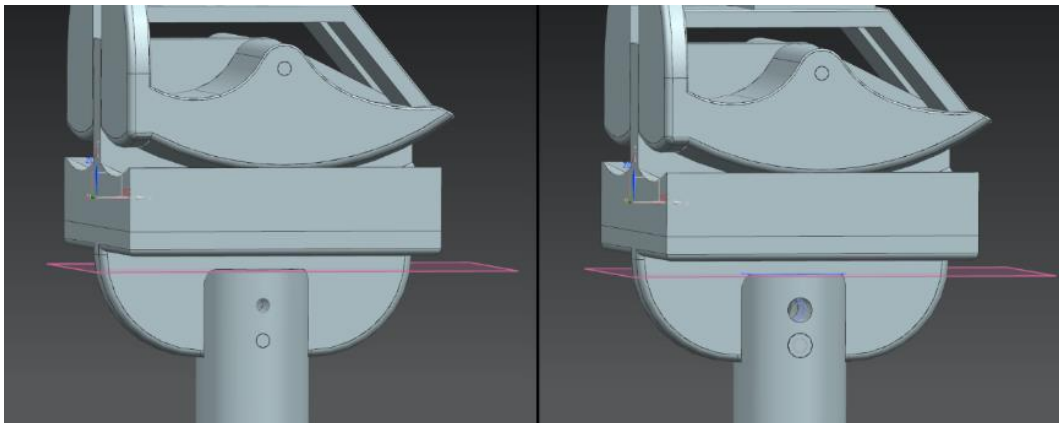
Παράδειγμα 2

Αλλαγή κάθετης απόστασης οπής συνδέσμου επιγονατίδας και μέσου εξαρτήματος από 7 mm (αριστερά) σε 15 mm (δεξιά) στο “μέσο εξάρτημα επιγονατίδας”, επηρεάζει και το εξάρτημα “επιγονατίδα”.



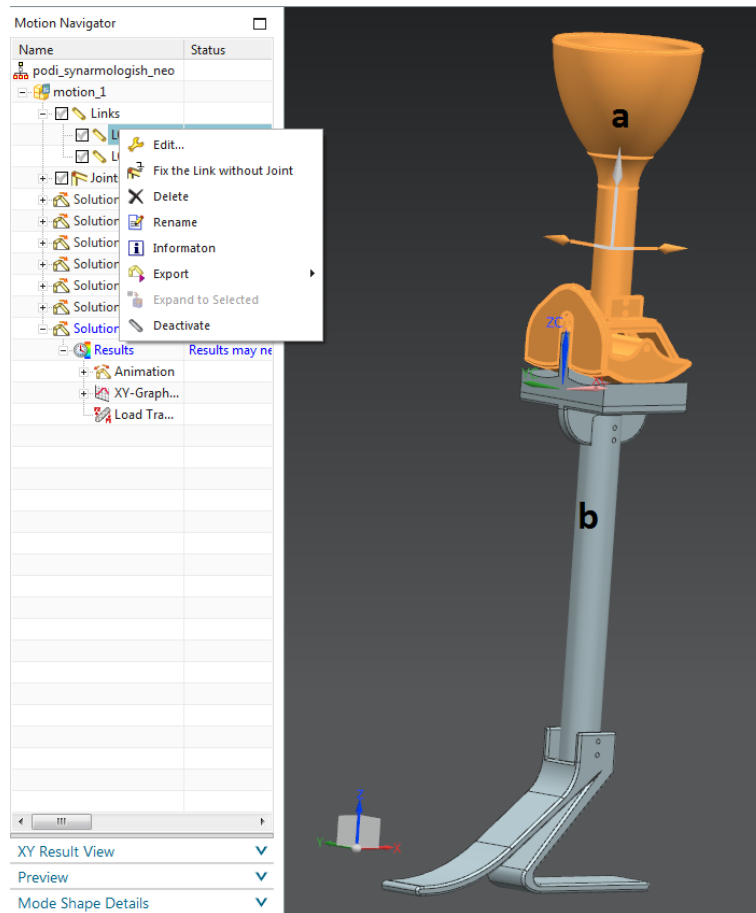
Παράδειγμα 3

Αλλαγή διαμέτρου οπής συνδέσμου βάσης γονάτου και καλάμι ποδιού από 4 mm (αριστερά) σε 7 mm (δεξιά), στη “βάση γονάτου”, επηρεάζει και το σύνδεσμο αλλά και την οπή στο “καλάμι”.

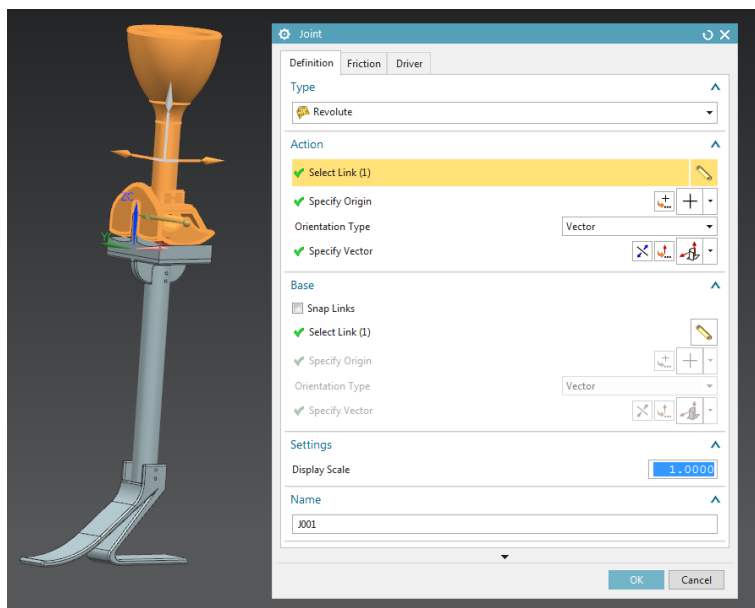


4.2.8 Motion Simulation (κάτω προσθετικό άκρο – πόδι)

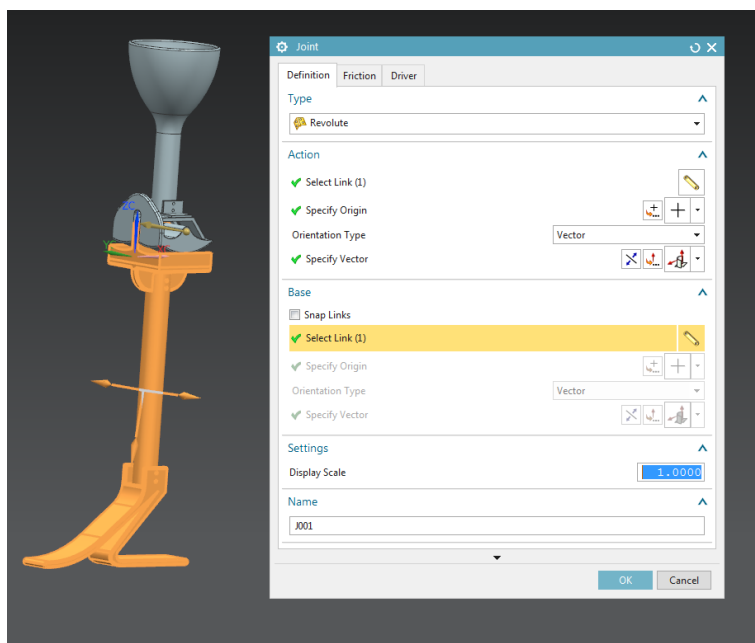
Όμοια με το χέρι, χρησιμοποιούμε την εντολή Link όπου συνδέουμε τα εξαρτήματα του μοντέλου τα οποία κινούνται ταυτόχρονα. Σε αυτό το μοντέλο έχουμε δύο (2) Links , το a μαρκαρισμένα με πορτοκαλί χρώμα και τα υπόλοιπα b. Στη συνέχεια, επιλέγουμε το σταθερό εξάρτημα a κάνοντας δεξί κλικ και επιλογή Fix the Link without Joint.



Βρισκόμενοι στην καρτέλα του Home, επιλέγουμε την εντολή Joint με την οποία θα δηλώνουμε το είδος της κίνησης κάθε μέλους του μοντέλου. Επιλέγουμε Joint, στο Type επιλέγουμε Revolute (περιστροφική κίνηση). Στον τομέα του Action Specify Origin επιλέγουμε Arc/Eclipse/Sphere Center . Πατάμε πάνω στο Select Link ώστε να δώσουμε το Link της κίνησης.

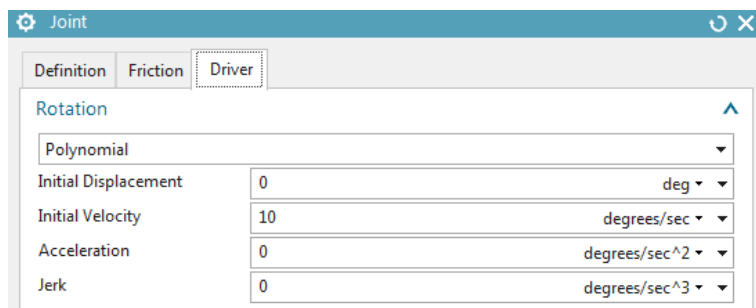


Εικόνα 45: Προσδιορισμός Link 1

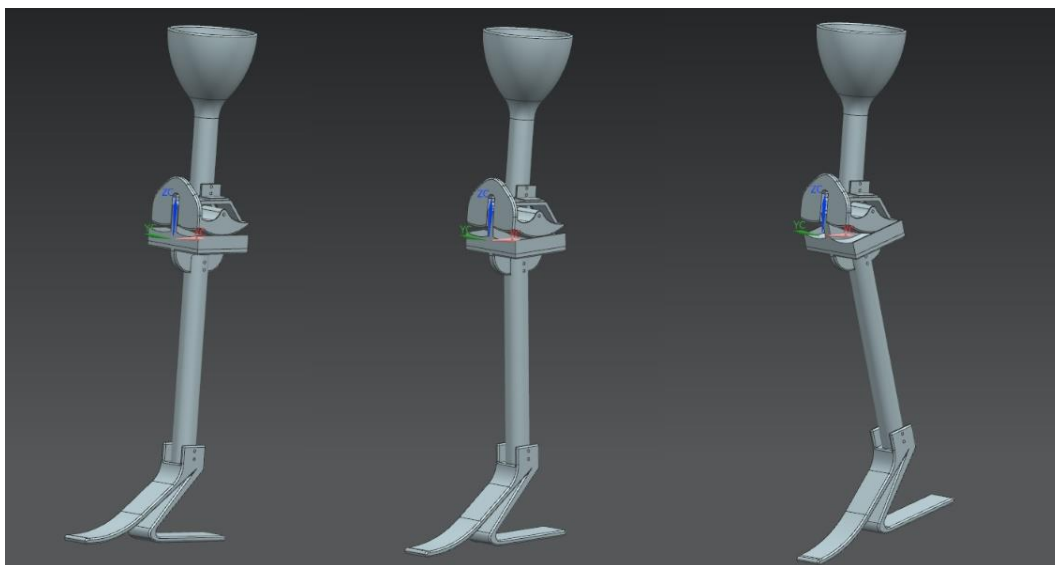


Εικόνα 46: Προσδιορισμός Link 2

Στη συνέχεια, από την καρτέλα του Driver στις επιλογές, διαλέγουμε Polynomial και στο Initial Velocity ορίζουμε την τιμή 10 deg/turn.

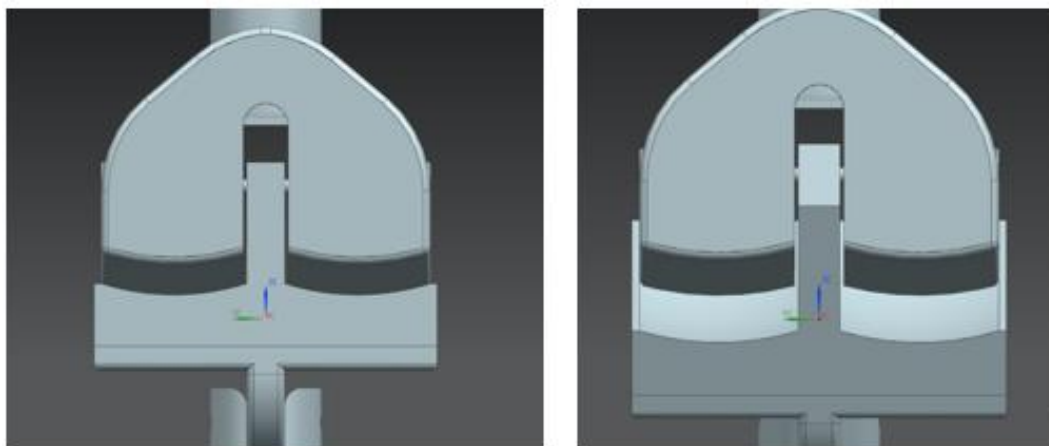


Όμοια, επιλέγουμε το Solution δίδοντας επιθυμητές τιμές για τις παραμέτρους που μας ζητάει και επιλέγουμε την εντολή Solve. Για να κινηθεί το μοντέλο πατάμε την επιλογή Animation και στην συνέχεια Play.

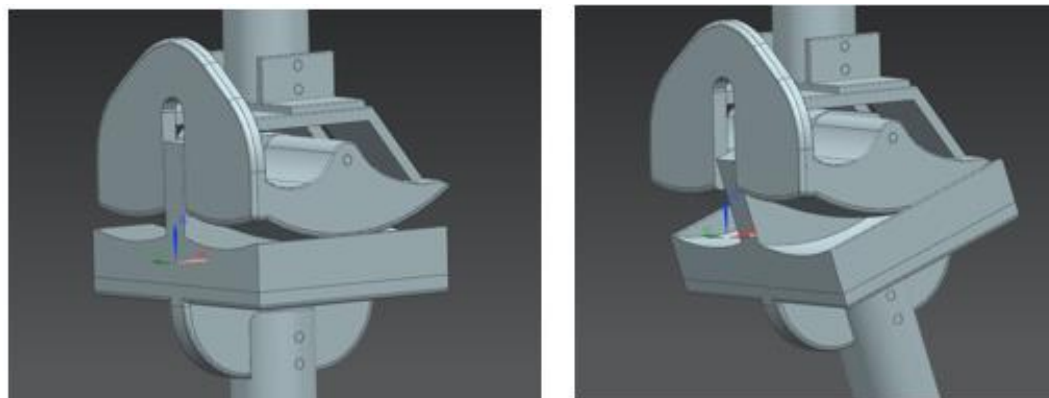


Εικόνα 47: Παρουσίαση κίνησης ποδιού

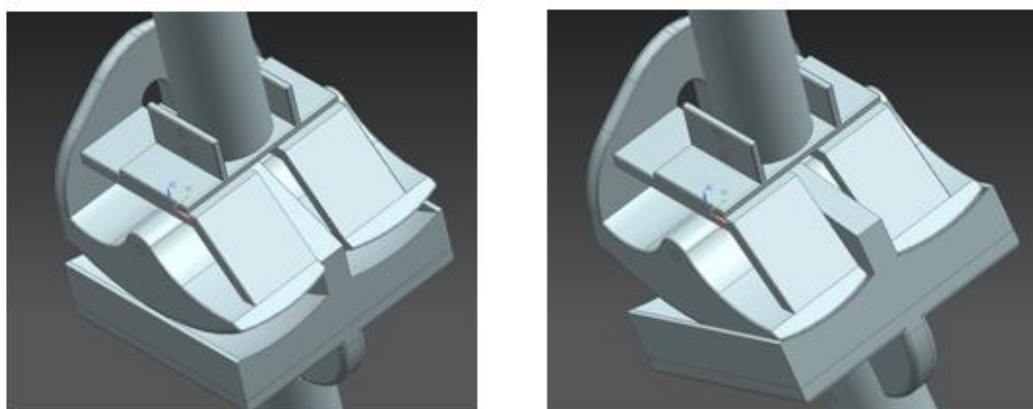
Και σε αυτό το μοντέλο έχοντας χρησιμοποιήσει κατάλληλες σχέσεις μεταξύ των διαστάσεων (Expressions) στα εξαρτήματα του μοντέλου μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι κατά την κίνηση δεν υπάρχει επαφή.



Εικόνα 48: Πρόοψη γονάτου (αρχικό σημείο/τελικό σημείο)



Εικόνα 49: Πλάγια προβολή γονάτου (αρχικό σημείο/τελικό σημείο)



Εικόνα 50: Πλάγια προβολή γονάτου (αρχικό σημείο/τελικό σημείο)

5. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, τα προσθετικά μέλη αποτελούν ένα μέσο ανάκτησης της φυσιολογικής λειτουργίας του ανθρώπου και είναι ιδιαίτερα σημαντικά για ανθρώπους που είτε γεννήθηκαν χωρίς κάποιο από τα άκρα τους ή υπέστησαν ακρωτηριασμό. Η κατασκευή τους απαιτεί τον λεπτομερή σχεδιασμό και μοντελοποίησή τους διότι εκτός από την λειτουργικότητα που θα πρέπει να έχουν, θα πρέπει παράλληλα να είναι αισθητικά όμορφα ώστε το άτομο να νιώθει ευχάριστα. Η δημιουργία τους προϋποθέτει την συνεργασία πολλών διαφορετικών ειδικοτήτων, όπως γιατρούς, φυσιοθεραπευτές, ειδικούς στη προσθετική και σχεδιαστές ώστε το τελικό προϊόν να πληρεί όλες τις προϋποθέσεις του εκάστοτε ατόμου. Επειδή οι ανάγκες του κάθε ασθενή διαφέρουν, απαιτείται άψογη συνεργασία μεταξύ των παραπάνω ατόμων έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες του ατόμου. Είναι προφανές ότι όσο εξελίσσεται η τεχνολογία και οι τεχνογνωσίες, ταυτόχρονα εξελίσσεται και ο κλάδος της κατασκευής προσθετικών μελών. Επομένως είναι λογικό να πιστεύουμε ότι στα επόμενα χρόνια θα έχουν αναπτυχθεί ακόμα καλύτερα, πιο ανθεκτικά, εύχρηστα και αισθητικά προσθετικά μέλη.

6. Βιβλιογραφία

1. Lawson Bell M., (2015), “*THE HISTORY OF PROSTHETICS*”,
<http://unyg.com/the-history-of-prosthetics/> , [πρόσβαση 26/4/2019]
2. Made How, “*Artificial Limb*”, <http://www.madehow.com/Volume-1/Artificial-Limb.html>, [πρόσβαση 26/4/2019]
3. SIEMENS, “*NX Siemens*”,
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/>, [πρόσβαση 30/4/2019]
4. Μπιλάλης Ν., Μαραβελάκης Ε., (2012), “*ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM & ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ*”, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα.
5. Avramouli D., Karageorgos A., Ntintakis I., Rapti E., (2015), “*Συστήματα Computer Numerical Control (CNS) και Computer Aided Manufacturing (CAM)* ”, Book Chapter 7,
<https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/1490/2/%CE%9ACE%B5%CF%86%CE%AC%CE%BB%CE%B1%CE%B9%CE%BF%207.pdf>,
[πρόσβαση 2/5/2019]
6. Medical Expo “*Three- compartment knee prosthesis*”,
<https://www.medicalexpo.com/prod/aesculap/product-70641-663442.html>,
[πρόσβαση 15/3/2019]
7. Zimmer, Inc., “*Persona: The personalized knee*”,
<https://www.zimmerbiomet.com/medical-professionals/knee/product/persona-knee-system.html>, [πρόσβαση 10/9/2019]
8. Wikipedia, “*Τραυματικός ακρωτηριασμός*”,
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CF%81%CE%B1%CF%85%CE%B%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%B1%CE%BA%CF%81%CF%89%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82, [πρόσβαση 17/9/2019]
9. CADroad, “*Top-down modeling – How to exploit strongest features of NX CAD*”, <http://cadroad.com/nx-cad-top-down/>, [πρόσβαση 15/3/2019]

10. Orthocyprus, “Πρόσθετα μέλη”, http://gym-xenop-georg.att.sch.gr/sde2017/blik_prostheta_meli.pdf, [πρόσβαση 18/9/2019]
11. CostHelper, “Prosthetic Arm Cost”, <https://health.costhelper.com/prosthetic-arms.html>, [πρόσβαση 7/9/2019]
12. Michael J. Quigley, C.P.O., “Prosthetic Management: Overview, Methods, and Materials”, <http://www.oandplibrary.org/alp/chap04-01.asp>, [πρόσβαση 14/9/2019]
13. Δρ. Καραστεργίου Σ., (2003), “ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΞΥΛΟΥ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ Ι.”, http://www.wfdd.teilar.gr/material/EDU_FILES/324_Didaktikes_simeivseis.pdf, [πρόσβαση 20/8/2019]
14. Eastern Daylight Time, (2017), “Top 5 Vendors in the Orthopedic Prosthetics Market from 2017 to 2021: Technavio”, <https://www.businesswire.com/news/home/20170601006465/en/Top-5-Vendors-Orthopedic-Prosthetics-Market-2017>, [πρόσβαση 14/9/2019]
15. ATHENS ORTHOPEDIC EXPERTS, “Τα εξατομικευμένα εμφυτεύματα Persona φέρουν επανάσταση στην Αρθροπλαστική γόνατος!”, <https://www.athensorthoexperts.gr/%CE%B5%CE%BC%CF%86%CF%85%CF%84%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1-persona/>, [πρόσβαση 2/9/2019]
16. Φανδρίδης Ι., (2008), “ΠΡΟΣΘΕΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΑΚΡΩΝ ΕΠΙΛΟΓΗ – ΧΡΗΣΗ – ΕΠΑΝΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ”, Διπλωματική εργασία, http://eureka.teithe.gr/jspui/bitstream/123456789/8615/1/Fandridis_Ioannis.pdf, [πρόσβαση 14/9/2019]
17. Amputee Coalition, (2019), “History of The Prosthetic Leg Through The Ages”, <https://www.amputee-coalition.org/history-prosthetic-leg/>, [πρόσβαση 14/7/2019]
18. Cost Helper, “Prosthetic Leg Cost”, <https://health.costhelper.com/prosthetic-legs.html>, [πρόσβαση 16/9/2019]
19. Dr. Grant McGimpsey , Terry C. Bradford, “Limb Prosthetics Services and Devices”, White Paper, https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/2017/04/28/239_limb_prosthetics_services_devices.pdf, [πρόσβαση 18/8/2019]

20. Ottobock, “*C-Leg above knee prosthetic leg*”,
<https://www.ottobockus.com/prosthetics/lower-limb-prosthetics/solution-overview/c-leg-above-knee-system/>, [πρόσβαση 13/9/2019]
21. David K. Blough, PhD, Sharon Hubbard, MS, Lynne V. McFarland, PhD, Douglas G. Smith, MD, Jeffrey M. Gambel, MD, MPH, MSW, Gayle E. Reiber, PhD, (2010), “*Prosthetic cost projections for servicemembers with major limb loss from Vietnam and OIF/ OEF*”,
<https://www.rehab.research.va.gov/jour/10/474/Blough.html>, [πρόσβαση 1/9/2019]
22. Maurice LeBlanc, MSME, CP, (2008), “*Give Hope – Give Hand- The LN-4 Prosthetic Hand*”, <https://web.stanford.edu/class/engr110/2011/LeBlanc-03a.pdf>, [πρόσβαση 7/10/2019]
23. Glenn K. Klute, Brian C. Glaister, Jocelyn S. Berge, (2010), “*Prosthetic Liners for Lower Limb Amputees: A Review of the Literature*”,
<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.3109/03093641003645528>,
[πρόσβαση 9/10/2019]
24. KENNEY ORTHOPEDICS, “*Moving from a Temporary to a Definitive Prosthesis*”,<https://www.kenneyorthopedics.com/about/news/view/416/moving-from-a-temporary-to-a-definitive-prosthesis>, [πρόσβαση 9/10/2019]
25. Mark Patrick, “*The Progression of Prosthetic Technology*”,http://images.info.mouser.com/Web/MouserElectronics/%7Bcbce8bdd0-cb3a-408c-b489-dcab34b168da%7D_478874-Prosthetic-Tech-Whitepaper-EN-HR.pdf, [πρόσβαση 9/10/2019]
26. Spector D, (2014), “*Artificial Limbs Have Gone Through An Amazing Evolution*”, <https://www.businessinsider.com/the-evolution-of-prosthetic-technology-2014-8>, [πρόσβαση 5/5/2019]
27. Ottobock, “*bebionic Hand Specification Sheet*”,
<https://shop.ottobock.us/media/pdf/bebionicHandSpecSheetnew.pdf>,
[πρόσβαση 10/10/2019]