



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Χανιά 2021

Διπλωματική Εργασία

Φοιτητής Ζηνοβία Ασκάρ

Μελέτη και Κατασκευή Σύγχρονου Προσθετικού Μέλους Άνω Άκρου

Επιβλέπων Καθηγητής Νικόλαος Μπιλάλης

Πίνακας Περιεχομένων

Διπλωματική Εργασία	1
Πίνακας Περιεχομένων	2
Ευχαριστίες	4
Περίληψη	5
Abstract	6
Κεφάλαιο 1: Προσθετικά Μέλη	7
1.1 Ιστορικά Στοιχεία	7
1.2 Σύγχρονα Προσθετικά Μέλη Άνω Άκρου και Κατηγοριοποίηση τους	8
1.2.1 Κοσμητικά Προσθετικά Μέλη	10
1.2.2 Σωματοκινούμενα Προσθετικά Μέλη	12
1.2.3 Μυοηλεκτρικά Προσθετικά Μέλη	14
Κεφάλαιο 2: Βελτιστοποίηση Διαδικασίας Παραγωγής Προσθετικών Μελών	18
2.1 Κριτήρια Βελτιστοποίησης Κατασκευής Προσθετικού Μέλους	18
2.2 Μέθοδος Χύτευσης για Παραγωγή Προσθετικών Μελών	19
2.2.1 Υβριδικό Μοντέλο	21
2.2 Μέθοδος Τρισδιάστατης Εκτύπωσης για Παραγωγή Προσθετικών Μελών	23
2.2.1 Περιορισμοί	23
2.2.2 Πλεονεκτήματα	25
Κεφάλαιο 3: Κοινότητα e-NABLE	27
3.1 Αναδρομή	27
3.2 Πορεία Κατασκευής και Παράδοσης Συσκευής σε Παραλήπτη	30
3.2.1 Επικοινωνία Εθελοντή - Παραλήπτη	31
3.2.2 Επιλογή και Κατασκευή υπό Κλίμακα Διαθέσιμου Σχεδίου	34
3.2.3 Κατασκευή Συσκευής	37
Κεφάλαιο 4: Διαδικασία Κατασκευής Phoenix Hand	39
4.1 Εκτύπωση Εξαρτημάτων	39
4.1.1 Δάχτυλα	40
4.1.2 Pins & Caps	41
4.1.3 Λοιπά Εξαρτήματα	43
4.2 Συναρμολόγηση Συσκευής	45
4.3 Αστοχίες & Εμπόδια Διαδικασίας	52

4.3.1 Κατά τη Διάρκεια των Εκτυπώσεων	52
4.3.2 Κατά τη Διάρκεια της Συναρμολόγησης	56
Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις	59
Βιβλιογραφία	61

Ευχαριστίες

Αρχικά οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κύριο Μπιλάλη, τον επιβλέποντα καθηγητή μου, που με έφερε σε επαφή με τα συστήματα τρισδιάστατης σχεδίασης, ένα μάθημα που με προσέλκυσε πολύ. Από από τις πρώτες μας συζητήσεις για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας, μου πρότεινε ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα με πολλές προοπτικές που όμως, χωρίς την βοήθεια και την καθοδήγηση του, το αποτέλεσμα του δεν θα ήταν το ίδιο.

Συνεχίζοντας, είναι πολύ σημαντικό να ευχαριστήσω τον οργανισμό e-NABLE και συγκεκριμένα την ελληνική κοινότητα e-NABLE Greece για την ευκαιρία που μου έδωσαν να πιστοποιηθώ ως maker και να προσφέρω έμπρακτα ως εθελόντρια, κερδίζοντας παράλληλα γνώσεις και εμπειρίες. Ειδικότερα, τους ανθρώπους που γνώρισα κατά τη διάρκεια της πιστοποίησης, τον κύριο Γιώργο Αντωνάκο, κύριο Θανάση Μιτζιφίρη και τα παιδιά με τα οποία μοιραστήκαμε αυτή την εμπειρία και με βοήθησαν τόσο με τις γνώσεις και τις συμβουλές τους όσο και με το θετικό και συνεργατικό κλίμα που δημιούργησαν, στο να γνωρίσω μια νέα τεχνολογία, αυτή της τρισδιάστατης εκτύπωσης, και να συμβάλλω στη συγγραφή της διπλωματικής μου.

Είχα την τύχη κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου να περιτριγυρίζομαι και να αποκαλώ φίλους εξαιρετικούς ανθρώπους, είτε δίπλα μου είναι να μας χωρίζουν χιλιόμετρα. Σε καθέναν από αυτούς θέλω να πω ένα ευχαριστώ για την στήριξη, την βοήθεια ή απλά την παρουσία τους. Ίσως και το πιο σημαντικό από όλα είναι το ευχαριστώ προς την οικογένεια μου, τους γονείς μου και τα αδέρφια μου. Είτε έμπρακτα είτε με λόγια και κινήσεις με έκαναν τον άνθρωπο που είμαι σήμερα, με στήριξη και συμπαράσταση σε κάθε μου βήμα.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την μελέτη των προσθετικών μελών άνω άκρου και την κατασκευή τους. Αρχικά, αναφέρεται η πορεία εξέλιξής τους από την πρώτη τους εμφάνιση μέχρι τις σύγχρονες κατασκευές, οι οποίες κατηγοριοποιούνται σε αισθητικές και λειτουργικές συσκευές. Σε συνέχεια, υποκατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τρόπο εκτέλεσης των λειτουργιών τους ενώ σημειώνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε περίπτωσης. Έπειτα, τονίζονται τα κριτήρια βελτιστοποίησης της κατασκευής προσθετικών μελών δηλαδή τα χαρακτηριστικά που πρέπει να μελετώνται ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη μέθοδος κατασκευής. Αναφέρεται η μέθοδος της χύτευσης για παραγωγή προσθετικών μελών, καθώς και υβριδικών μελών που κατασκευάζονται σε συνδυασμό της με μέθοδο τρισδιάστατης εκτύπωσης. Η δεύτερη αναλύεται σε ότι αφορά στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Συνεχίζοντας, γίνεται αναφορά στην κοινότητα e-NABLE με μία σύντομη αναδρομή της και, έπειτα, με περιγραφή της πορείας κατασκευής και παράδοσης μιας συσκευής σε παραλήπτη, όπως αυτή έγινε κατά τη διαδικασία πιστοποίησης ως κατασκευαστή-maker. Τέλος, έγινε ανάλυση της διαδικασίας κατασκευής της συσκευής Phoenix Hand που επιλέχθηκε από την ανοιχτή βιβλιοθήκη της e-NABLE προς τρισδιάστατη εκτύπωση και συναρμολόγηση. Αναφέρονται τόσο τα υλικά και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε όσο και οι παράμετροι που ρυθμίστηκαν, ενώ παρουσιάζονται φωτογραφίες με τις εκτυπώσεις των εξαρτημάτων και την συναρμολόγηση της τελικής συσκευής.

Abstract

The current dissertation was prepared in order to study the upper limb prosthetics and their making. At first, their evolution is mentioned from their first appearance until the contemporary manufactures, which are categorized into aesthetic and functional devices. Then, they are subcategorized according to the way they perform their functions while the advantages and disadvantages of each case are noted. Furthermore, the optimization criteria for the construction of prosthetic limbs are emphasized, i.e. the characteristics that must be studied in order to select the appropriate manufacturing method. The method of casting for production of prosthetic limbs, as well as hybrid limbs which are manufactured in combination with the method of 3D printing, is mentioned. The second is analyzed in terms of its advantages and disadvantages. Continuing, reference is made to the e-NABLE community with a brief overview and then a description of the process of manufacturing and delivering a device to a recipient, as it was done during the certification process as a maker. Finally, the process of manufacturing the Phoenix Hand device selected from the e-NABLE open source library for 3D printing and assembly was analyzed. Both the materials and equipment used and the parameters that were configured are listed, while photos with the printing of the parts and the assembly of the final device, are presented.

Κεφάλαιο 1: Προσθετικά Μέλη

1.1 Ιστορικά Στοιχεία

Η ανάγκη κατασκευής των πρώτων προσθετικών μελών, εμφανίστηκε παράλληλα με τις ιατρικές επιστήμες ενώ εξελισσόταν κι αυτή, μαζί με την πρόοδο της ανθρωπότητας. Αν και δεν έχει καθοριστεί ακριβής χρονική στιγμή που ο άνθρωπος αναγνώρισε την παραπληγία της απώλειας κάποιου άκρου και ενδιαφέρθηκε να την αντιμετωπίσει, ήταν επιτακτική η ανάγκη αντικατάστασής της για λόγους λειτουργικότητας, αισθητικής αλλά και καλής ψυχολογίας.

Οι πρώτες απόπειρες αποκατάστασης του χαμένου άκρου αποτελούνταν από απλές κατασκευές με κομμάτια ξύλου, δέρματος και υφάσματος. Ωστόσο αυτό συνεπαγόταν πολλούς περιορισμούς καθώς αποτελούσε ένα απλό στατικό μέρος του σώματος με διευκολύνσεις να περιορίζονται σε καλύτερη ισορροπία και εμφάνιση. Το πρώτο εύρημα σχετικά με τα προσθετικά άκρα κατατάσσεται γύρω στα 950-710 π.Χ. στην Αίγυπτο.



Εικόνα 1.1: Πρώτο εύρημα προσθετικού άκρου (Πηγή:
https://www.researchgate.net/publication/309039944_Design_Experimental_Analysis_of_Human_Hand_Prosthetic)

Τον 15ο αιώνα, τα προσθετικά μέλη περιορίζονταν σε ξύλινα άκρα και γάντζους μόνο με τους εύπορους παθόντες να έχουν τη δυνατότητα πολύπλοκων κατασκευών. Την περίοδο αυτή, ένα νέο υλικό προστέθηκε στις πρώτες ύλες καθώς ξεκίνησε η ευρεία χρήση

του μετάλλου. Ωστόσο, οι μεταλλικές πλέον κατασκευές, είχαν το μειονέκτημα μεγάλου βάρους και, κατ' επέκταση, δυσλειτουργιών στον χρόνο εφαρμογής και στη χρήση τους.

Με την πρόοδο των επιστημών, αναπτύχθηκε κι η γνώση γύρω από τον ανθρώπινο οργανισμό και την ανατομία, ωστόσο η κατασκευή ενός απόλυτα λειτουργικού προσθετικού μέλους παρέμεινε δύσκολη. Η περαιτέρω έρευνα γύρω από την κινησιολογία, τη φυσιολογία και την ανατομία συνέβαλε στην εξέλιξη των κατασκευών ώστε να αποκτήσουν χρηστικότητα πέραν της αισθητικής τους αξίας. Σε αυτό βοήθησε κι η εξέλιξη νέων μηχανολογικών εξαρτημάτων και μηχανισμών που δεν σχετίζονταν πάντα με την ιατρική, όπως τα ελατήρια και τα γρανάζια.

Στην περίοδο 1600-1700, παρατηρείται μεγάλη βελτίωση στις τεχνικές των προσθετικών μελών και των ιατρικών δεδομένων που τις επηρεάζουν, κυρίως με την ανάπτυξη της έρευνας και της χρήσης φαρμάκων. Το γεγονός αυτό, έδωσε στην ιατρική κοινότητα την ευκαιρία διάθεσης του απαιτούμενου χρόνου προκειμένου να γίνει η αναγκαία μελέτη και διαχείριση πάνω στην κάθε διαφορετική περίπτωση ακρωτηριασμού.

Τέλος, μετά τη βιομηχανική επανάσταση ακολούθησαν μεγάλοι πόλεμοι (Αμερικανικός Εμφύλιος, Πρώτος Παγκόσμιος και αργότερα Δεύτερος Παγκόσμιος Πόλεμος) οι οποίοι άφησαν πίσω τους δεκάδες χιλιάδες ανθρώπους με την εν λόγω αναπηρία. Έτσι, η ιατρική επιστήμη κλήθηκε να συμβάλει με έρευνες, προσπάθειες και νέες κατασκευές προκειμένου να παρέχουν τα απαιτούμενα ιατρικά βοηθήματα.

1.2 Σύγχρονα Προσθετικά Μέλη Άνω Άκρου και Κατηγοριοποίηση τους

Η διαδρομή από τις πρώτες, πρωτόγονες κατασκευές προσθετικών μελών μέχρι τα σημερινά μοντέλα είναι πολύ μεγάλη, με τις σύγχρονες κατασκευές να καθιστούν πλέον τον ασθενή ανεξάρτητο και αυτοεξυπηρετούμενο. Συνεχώς γίνονται έρευνες και πειραματισμοί ενώ δοκιμάζονται νέες τεχνικές και μέθοδοι για την παραγωγή προσθετικών μελών άνω άκρου με στόχο την εύρεση αυτής που συνδυάζει καλύτερα τα απαιτούμενα και ζητούμενα χαρακτηριστικά.

Σήμερα, τα λειτουργικά τεχνητά προσθετικά μέλη χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέρει και ο B.J. Alcock (1969) ο διαχωρισμός γίνεται σε απλά κοσμητικά μέλη και σε λειτουργικά μηχανήματα. Αναλυτικά, σε ότι αφορά στα διακοσμητικά προσθετικά μέλη, είτε βρίσκονται εν κινήση είτε σε ανάπαυλα, το άκρο έχει ειδική μορφή και εμφάνιση, με τη δυνατότητα περιορισμένων και συγκεκριμένων κινήσεων. Πέραν τούτου, η φυσική τους εμφάνιση τους δίνει την δυνατότητα να αναγνωρίζονται ως κανονικά άκρα.

Από την άλλη πλευρά, τα λειτουργικά μηχανήματα προσθετικών μελών είναι ικανά να υποστηρίξουν φυσική και αμφίδρομη επικοινωνία με το περιβάλλον. Η λειτουργικότητα των εν λόγω προσθετικών, περιλαμβάνει την ικανότητα κίνησης και άσκησης δύναμης σε εξωτερικούς παράγοντες αλλά και την αλληλεπίδραση του περιβάλλοντος χώρου προς ανταπόκριση του προσθετικού μέλους σε εξωτερικό ερέθισμα.

Προκειμένου να σχεδιαστεί το κατάλληλο προσθετικό μέλος με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση, οφείλουν να ληφθούν υπόψη τόσο τα ζητούμενα χαρακτηριστικά του προσθετικού μέλους όσο και οι συνθήκες διαβίωσης του δέκτη. Αυτή τη θέση υποστηρίζει ο B.J. Alcock (1969) με έναν ακριβή παραλληλισμό, συγκρίνοντας έναν ένοπλο ιππέα με έναν χωρικό κατά τον μεσαίωνα. Ο πρώτος, λόγω της θέσης του αλλά και της ικανότητάς του να παράγει έργο, είχε επιτακτική ανάγκη ενός νέου άκρου με την καλύτερη δυνατή εμφάνιση αλλά και ταυτόχρονη δυνατότητα να του παρέχει λειτουργικότητα. Από την άλλη ο χωρικός, καθώς αρχικά δεν διαθέτει την απαιτούμενη οικονομική δυνατότητα αλλά παράλληλα χρειάζεται ένα προσθετικό μέλος που απλά θα τον βοηθάει να κινείται, αρκείται στην προσωπική του κατασκευή ενός άκρου από ξύλο και δέρμα.

Συνοψίζοντας ο B.J. Alcock (1969) θέτει τρεις παράγοντες οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδίασης και κατασκευής του προσθετικού άκρου. Αρχικά τονίζει τη σημασία της προσπάθειας που καταβάλει ο παραλήπτης στην εργασία του σε συνδυασμό με την τρέχουσα γνώση και εξέλιξη πάνω στην ιατρική, την επιστήμη και την μηχανολογία. Συνεχίζει αναφέροντας το κοινωνικό πλαίσιο και τις περιβάλλουσες συνθήκες με τις οποίες θα αλληλεπιδρά ο ασθενής με το νέο προσθετικό μέλος. Κλείνει με επισήμανση στην αισθητική του προσθετικού μέλους και στη σημασία του για τον παραλήπτη.

Κάθε κατασκευή οφείλει να γίνεται με γνώμονα τον παραλήπτη, τις ανάγκες του, τις δυνατότητές του και τις συνθήκες στις οποίες ζει, αλλά με κυριότερο κριτήριο να μπορεί να εξισορροπηθεί το στοιχείο της λειτουργικότητας του μέλους με αυτό της αισθητικής του. Δεν τίθεται ζήτημα επιτυχίας ή όχι του κατασκευαστή καθώς μέσα σε συγκεκριμένα όρια, περιορισμούς και ανάγκες που έχουν τεθεί, ο παραλήπτης είναι σημαντικό να μείνει ικανοποιημένος μετά την αντικατάσταση ενός άκρου του.

Σύμφωνα με τον Uellendahl J. (2017), ένας εν δυνάμει παραλήπτης, έχει συγκεκριμένες απαιτήσεις από το προσθετικό μέλος που πρόκειται να αποκτήσει, οι οποίες αφορούν τρεις παράγοντες, την εμφάνιση του μέλους, την άνεση και ευκολία που παρέχει και την λειτουργικότητα που προσφέρει. Τα μέλη που συνδυάζουν με τον καλύτερο τρόπο αυτές τις απαιτήσεις είναι τα μυοηλεκτρικά και τα σωματοκινούμενα.

Ωστόσο, ο ένας παράγοντας έρχεται σε αντιδιαστολή με τον άλλον καθώς η λειτουργικότητα της κατασκευής, έχει αντίκτυπο στην εμφάνισή του αλλά και στην άνεση που προσφέρει. Αυτό διότι για να επιτευχθεί η λειτουργικότητα, απαιτείται συγκεκριμένη

εσωτερική και εξωτερική δομή της κατασκευής, η οποία μπορεί να είναι ογκώδης, βαριά ή άβολη.

Αξίζει να αναφερθεί, όπως τονίζει κι ο Uellendahl J. (2017), πως οι περισσότεροι άνθρωποι με αναπηρία άνω άκρου θεωρούν μεγαλύτερης σημασίας τον παράγοντα της εμφάνισης, ειδικά όταν βρίσκονται σε αρχικό στάδιο αποκατάστασης του άκρου τους. Η εμφάνιση του μέλους εξισώνεται με την λειτουργικότητά του, ενώ κι οι δύο παράγοντες είναι επιθυμητοί. Ωστόσο είναι πιθανό ένας παραλήπτης να αρνηθεί μια κατασκευή η οποία δεν ανταποκρίνεται στις προσδοκίες του σε ότι αφορά στην εμφάνισή του, καθώς πρωταρχική αξία του παραλήπτη είναι η κοινωνική του ενσωμάτωση, χωρίς να νιώθει παραγκωνισμένος λόγω της αναπηρίας του.

Σε ότι αφορά σε προσθετικά μέλη άνω άκρου, ο διαχωρισμός γίνεται με τον τρόπο που έχει προαναφερθεί με τα μέλη να είναι είτε διακοσμητικά είτε λειτουργικά. Αναλυτικότερα, τα δεύτερα μπορούν να υποκατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τον τρόπο εκτέλεσης των λειτουργιών τους σε σωματοκινούμενα (body-powered prosthetics) και σε μυοηλεκτρικά. Κάθε τύπος τεχνητού χεριού έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Ο εν δυνάμει παραλήπτης ενημερώνεται για τις επιλογές που διαθέτει, αναλογίζεται τις ανάγκες και τις επιθυμίες του και λαμβάνει μια τελική απόφαση με βάση την οποία θα αποκαταστήσει την αναπηρία του.

1.2.1 Κοσμητικά Προσθετικά Μέλη

Οι κοσμητικές προσθετικές κατασκευές άνω άκρου, μπορούν να θεωρηθούν και σιλικονένιες αποκαταστάσεις κατασκευασμένες κατά παραγγελία για τον εκάστοτε παραλήπτη. Αποτελούν ένα πλήρως παθητικό άκρο ενώ κατασκευάζονται με τρόπο ώστε να καλύπτουν κυρίως αισθητικές ανάγκες.



Εικόνα 1.2: Διακοσμητικά προσθετικά μέλη άνω άκρου (Πηγή: <http://www.care-prosthetics.eu/products.html>)

- Πλεονεκτήματα

Αρχικά, τα κοσμητικά προσθετικά μέλη έχουν την ικανότητα να αποκαταστήσουν την αισθητική της απώλειας ενός άκρου με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Αποτελούν κατασκευές από σιλικόνη, ένα υλικό το οποίο μπορεί να πάρει εύκολα τη ζητούμενη μορφή η οποία θα βασίζεται εξ ολοκλήρου στην ανατομία του δέκτη.

Πολύ σημαντική είναι η προσθήκη χρώματος σε αυτά τα προσθετικά μέλη ώστε να μην διαφοροποιείται, και να αναγνωρίζεται ως προσθετικό μέλος δύσκολα. Σε αυτό συντελεί και η προσθήκη ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του παραλήπτη πάνω στην κατασκευή όπως φλέβες ή φακίδες.

Συνεχίζοντας, είναι αρκετά ελαφριές κατασκευές με αποτέλεσμα να μην δημιουργούν περιορισμούς στον χρήστη κατά την διάρκεια εφαρμογής τους. Επίσης λόγω του μικρού τους βάρους και της σύνθεσης τους, δίνουν στον παραλήπτη την ευκαιρία να βρει μια επιφάνεια στην οποία σταθεροποιεί ή ακόμα και κουβαλάει στηριγμένα αντικείμενα.

Τέλος είναι πολύ σημαντικό ότι δίνουν μία εύκολη λύση αποκατάστασης αναπηρίας, με την οποία ο δέκτης έχει το αίσθημα της ολότητας και της ισορροπίας στο σώμα του. Αποκαθιστά μεταξύ άλλων τις ψυχολογικές του ανάγκες και δεν νιώθει κοινωνικά στιγματισμένος.

- Μειονεκτήματα

Τα εν λόγω προσθετικά αποτελούν ιδανική λύση για όσους έχουν ως μοναδικό κριτήριο επιλογής την αποκατάσταση του αισθητικού τομέα. Ωστόσο, δεν προσφέρουν καμία λειτουργικότητα κατά τη χρήση τους. Είναι πλήρως αδρανισμένα άκρα και δεν δίνουν καμία δυνατότητα συγκράτησης αντικειμένου, σφίξιμο γροθιάς ή άνοιγμα και κλείσιμο δακτύλων.

Ακόμα, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως, κατά την κατασκευή των συγκεκριμένων προσθετικών μελών, δεν μπορεί να επιτευχθεί επαναληψιμότητα. Συγκεκριμένα προκειμένου να παραχθούν εξατομικευμένα προσθετικά μέλη, απαιτούνται μετρήσεις, δοκιμές και έλεγχοι ώστε να ταιριάζουν στον εκάστοτε παραλήπτη. Κάθε παραγόμενο προσθετικό είναι διαφορετικό επομένως απαιτείται η ξεχωριστή κατασκευή του με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο χρόνος παραγωγής και να περιορίζεται η επαναληψιμότητα και αναπαραγωγή υπαρχόντων κατασκευών.

Συνεχίζοντας, η παραγωγή τους αποτελεί μια χρονοβόρα διαδικασία με συγκεκριμένη μεθοδολογία κατασκευής. Ξεκινώντας, δημιουργείται το αρχικό μοντέλο, επιλέγονται τα κατάλληλα χρώματα και κατασκευάζεται το καλούπι. Η εν λόγω διαδικασία σε συνδυασμό με

την εξατομίκευση και εκ νέου δημιουργία κάθε μοντέλου και καλουπιού δημιουργεί εκτενή χρονικά πλαίσια και χρόνους παραγωγής.

1.2.2 Σωματοκινούμενα Προσθετικά Μέλη

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ως επιλογή αποκατάστασης τα σωματοκινούμενα προσθετικά μέλη (body-powered prosthesis). Η κατασκευή τους στηρίζεται σε ένα σύστημα καλωδίων και ιμάντων για τον έλεγχο του άκρου ενώ όλο το προσθετικό μέλος δένεται και στηρίζεται με αυτό τον τρόπο στον κορμό του παραλήπτη. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα σύνδεσης είτε γάντζου είτε παλάμης ως τερματική συσκευή του προσθετικού μέλους.

Η λειτουργία και ο έλεγχος τέτοιων προσθετικών μελών στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό σε άλλα μέρη του σώματος του παραλήπτη, όπως στον ώμο, στο στήθος ή στους αγκώνες τα οποία ασκούν τις απαιτούμενες δυνάμεις στα εξαρτήματα του προσθετικού. Η δύναμη αυτή μεταφέρεται μέχρι την τερματική συσκευή μέσω των ιμάντων κλείνοντας έτσι το χέρι ή ανοίγοντας το με απελευθέρωση της δύναμης.



Εικόνα 1.3: Σωματοκινούμενα προσθετικά μέλη άνω άκρου
(Πηγή: <https://www.ottobock-export.com/en/prosthetics/upper-limb/solution-overview/arm-prostheses-body-powered/>)

- Πλεονεκτήματα

Γενικά σε ότι αφορά τις συγκεκριμένες συσκευές, αποτελούν μια πρακτική και εύκολη επιλογή αποκατάστασης ενός χαμένου άκρου καθώς είναι πιο οικονομικοί μηχανισμοί συγκριτικά με τους μυοηλεκτρικούς. Ακόμα, δεν βασίζονται σε εξωτερικές πηγές ισχύος για να λειτουργήσουν.

Είναι επίσης σημαντικό το ότι μέσα από τα συστήματα των καλωδίων που διαθέτουν, παρέχουν ιδιοδεκτική ανατροφοδότηση. Η εν λόγω ανατροφοδότηση αναφέρθηκε πρώτη φορά από τον Simpson, D.C. (1972) ως εκτεταμένη φυσιολογική ιδιοδεκτικότητα, *extended physiological proprioception* (EPP), σύμφωνα με την οποία το σύστημα ελέγχου παρέχει ανατροφοδότηση σε ότι αφορά στην δύναμη, τη θέση και την ταχύτητα των εξαρτημάτων του προσθετικού μέλους, όπως τόνισε και ο Uellendahl, J (2017).

Αξίζει να αναφερθεί πως είναι απαραίτητο να γίνει διαφοροποίηση μεταξύ των δύο τερματικών συσκευών, του γάντζου και του χεριού καθώς, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω, το χέρι δεν παρουσιάζει τα ίδια πλεονεκτήματα με τον γάντζο. Συγκεκριμένα, ο γάντζος αποτελεί έναν απλό και ελαφρύ σχεδιασμό, ικανό να υποστηρίξει πολλές και διαφορετικές δραστηριότητες και ειδικά πιο βαριές και απαιτητικές εργασίες.

Ακόμα, επίσης σε ότι αφορά στον γάντζο, είναι ανθεκτικός αφού δεν είναι εύκολο να προκληθούν σε αυτόν βλάβες από εξωγενείς παράγοντες. Αναλυτικά, δεν είναι επιρρεπής σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, με λάσπη ή νερό και δεν εμφανίζουν εύκολα βλάβες μετά από έκθεσή τους σε τέτοιες συνθήκες.

- Μειονεκτήματα

Ξεκινώντας, αξίζει να τονιστεί όπως έγινε και από τον Uellendahl, J (2017) η διαφορά που παρουσιάζεται μεταξύ του γάντζου και του χεριού, ως τερματική συσκευή στα σωματοκινούμενα προσθετικά μέλη και στην περίπτωση των μειονεκτημάτων. Συγκεκριμένα, ο γάντζος δεν αποκαθιστά το αισθητικό κομμάτι της απώλειας άκρου στον παραλήπτη ενώ, από την άλλη πλευρά, το χέρι μπορεί να θεωρηθεί ελάχιστα λειτουργικό.

Και σε αυτή την περίπτωση επομένως, έρχεται σε αντιπαράθεση η απαιτούμενη λειτουργικότητα με την ζητούμενη εμφάνιση του προσθετικού μέλους. Ο γάντζος μπορεί να προσφέρει μεγάλη βοήθεια στην δραστηριοποίηση και παραγωγικότητα του παραλήπτη, χωρίς όμως να επαναφέρει την εμφάνιση του φυσιολογικού άκρου. Την ίδια στιγμή, το χέρι παρέχει ένα πιο ομαλό και αισθητικά ικανοποιητικό αποτέλεσμα, ενώ δεν είναι λειτουργικό και, αντ' αυτού, αποτελεί μια σχεδόν παθητική συσκευή η οποία δεν μπορεί να ανταπεξέλθει ούτε για την εκτέλεση κάποιων καθημερινών εργασιών.

Ακόμα, σε ότι αφορά στην τερματική συσκευή του χεριού, είναι σημαντικό το ότι είναι μια πιο βαριά συσκευή, δύσκολα διαχειρίσιμη, ειδικά αν ληφθεί υπόψη το ότι αποτελεί στην ουσία ένα αδρανοποιημένο άκρο. Έτσι βγαίνει και το συμπέρασμα ότι, για την ανύψωσή του και γενικά, την μικρή ενεργοποίησή του, απαιτείται η άσκηση αρκετά μεγάλης δύναμης.

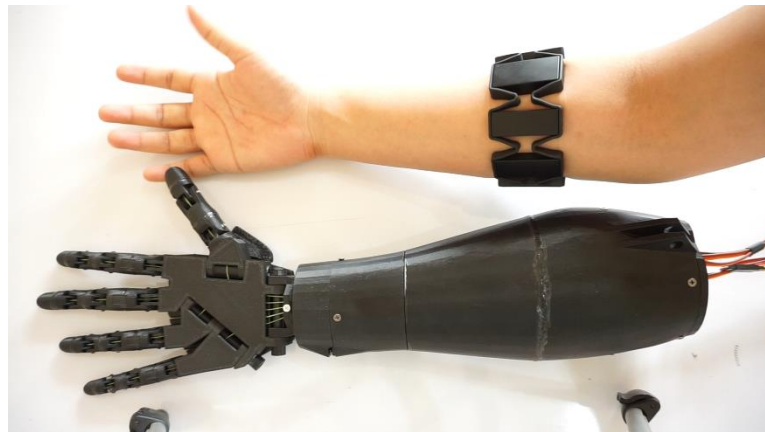
Συνεχίζοντας, ένα σωματοκινούμενο προσθετικό μέλος δεν είναι εύκολο στην εφαρμογή του, δηλαδή είναι δύσκολο για τον παραλήπτη να το βάλει και να το βγάλει μόνος του. Στο ίδιο πλαίσιο, ένας χρήστης σωματοκινούμενου προσθετικού, προκειμένου να αλλάξει την τερματική συσκευή χρειάζεται βοήθεια καθώς απαιτείται αποσύνδεση και επανασύνδεση των καλωδίων.

Τελειώνοντας ένας σημαντικός περιορισμός που συναντάται στη χρήση σωματοκινούμενων προσθετικών μελών είναι αυτός της δυσφορίας που προκαλούν. Αρχικά ολόκληρη δομή του προσθετικού μέλους, τα καλώδια και το σύστημα ελέγχου δεν παρέχει άνεση και ευκολία, ενώ παράλληλα για τη σωστή του λειτουργία απαιτεί μεγάλες δυνάμεις. Η μεταφορά αυτών των δυνάμεων μπορεί να προκαλέσει μέχρι και τοπικούς πόνους μεταξύ του υπολειπόμενου άκρου και της υποδοχής του προσθετικού αλλά και αφύσικες κινήσεις από την ενεργοποίηση.

1.2.3 Μυοηλεκτρικά Προσθετικά Μέλη

Κλείνοντας με τις επιλογές που παρέχονται σε έναν εν δυνάμει παραλήπτη, αναφέρονται τα μυοηλεκτρικά μέλη. Τα συγκεκριμένα προσθετικά μέλη εκμεταλλεύονται τις νευρικές πληροφορίες οι οποίες στην ουσία παρέχονται από τους μυς του σώματος, μέσω των συσπάσεών τους. Συγκεκριμένα, τα ηλεκτρικά σήματα που παράγονται κατά τη διάρκεια των μυϊκών συσπάσεων, αποτελούν το αποτέλεσμα των εντολών κίνησης που παράγονται στον κινητήριο φλοιό του εγκεφάλου και μεταφέρονται κατά μήκος των περιφερειακών νεύρων. Επομένως, τα μυοηλεκτρικά μέλη μπορούν να θεωρηθούν νευρικές διεπαφές καθώς χρησιμοποιούν τα εν λόγω σήματα ως εντολές ελέγχου.

Ένα τέτοιο προσθετικό άκρο λειτουργεί με την υποστήριξη των μυών του υπολειπόμενου άκρου μέσω ενός αισθητήρα στο εσωτερικό του τεχνητού μέλους, ο οποίος το καθιστά ικανό να εξασφαλίζει αυτά τα ηλεκτρικά σήματα, να τα μεταφράζει στις απαραίτητες κινήσεις και, εν τέλει, να τις εκτελεί αναλόγως.



Εικόνα 1.4: Μυοηλεκτρικά προσθετικά μέλη άνω άκρου (Πηγή: <https://transmitter.ieee.org/makerproject/view/c180f>)

- Πλεονεκτήματα

Τα μυοηλεκτρικά μέλη αποτελούν την επιλογή που συνδυάζει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τον αισθητικό και λειτουργικό παράγοντα. Η αποκατάσταση της αναπηρίας του παραλήπτη μέσω τέτοιου προσθετικού μέλους καλύπτει τόσο τις λειτουργικές όσο και τις αισθητικές ανάγκες, οι οποίες είναι πολύ σημαντικές για τον παραλήπτη κυρίως στα πρώτα στάδια αποκατάστασης.

Συνεχίζοντας, είναι πολύ σημαντική η αυτονομία και αυτοαναστολή που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα προσθετικά μέλη. Λόγω αυτού, μειώνεται η ανάγκη ύπαρξης της ιπποσκευής, δηλαδή της ζώνης που δένεται στον κορμό του παραλήπτη, συγκρατώντας το προσθετικό μέλος πάνω του. Η συγκεκριμένη ζώνη απαιτείται τόσο σε προσθετικά μέλη αποκατάστασης αναπηρίας πάνω από τον αγκώνα όσο και κάτω από αυτόν. Πιο συγκεκριμένα, σε κατασκευές κάτω από τον αγκώνα, η ζώνη αυτή και έχει βοηθητικό ρόλο για τη σωστή λειτουργία του προσθετικού μέλους.

Το εν λόγω χαρακτηριστικό των μυοηλεκτρικών μελών, επιτρέπει στον δέκτη να φοράει τη ζώνη λιγότερο σφιχτά, εφόσον η χρήση της είναι μειωμένη. Σε μία κατασκευή όπου ο παράγοντας της άνεσης είναι περιζήτητος για τον χρήστη και η απουσία της αποτελεί ένα από τα συνήθη παράπονα, είναι πολύ σημαντική οποιαδήποτε διευκόλυνση. Επομένως, με μείωση της χρήσης αυτής της ζώνης, το προσθετικό μέλος είναι πολύ πιο άνετο, διαχειρίσιμο στην εφαρμογή του και ελεγχόμενο από τον παραλήπτη.

Όπως αναφέρθηκε πολυ στοχευμένα και από τον Uellendahl, J (2017), για τη λειτουργία των μυοηλεκτρικών χρησιμοποιούνται οι μυς του φυσικού χεριού. Σε όλα τα επίπεδα αναπηρίας, είτε πάνω είτε κάτω από τον αγκώνα, ο έλεγχος συνδέεται με την λειτουργία του φυσικού μέλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ο παραλήπτης να έχει

συναίσθηση του φυσιολογικού ελέγχου, παρόμοιου με αυτόν που μπορεί να ασκήσει στο φυσικό του άκρο. Στο ίδιο πλαίσιο, αυτά τα μέλη έχουν τη δυνατότητα να εκτελέσουν και να διατηρήσουν μεγάλη δύναμη χειρολαβής, ενώ από τον χρήστη δεν απαιτούν έντονη προσπάθεια ή δύναμη για την παραγωγή της λαβής ούτε μεγαλύτερη συγκέντρωση για την διατήρησή της.

Ένα πιο πρακτικό πλεονέκτημα που προσφέρουν τα συγκεκριμένα προσθετικά είναι αυτό της εναλλαγής. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται η ευκαιρία εύκολης και γρήγορης αλλαγής στην συσκευή κατάληξης του προσθετικού μέλους, ενώ υπάρχει ποικιλία αλλαγών, όπως γάντζος ή παλάμη. Ακόμα, ο καρπός υποδοχής περιστρέφεται ώστε να δώσει στην τερματική συσκευή τη σωστή κατεύθυνση.

- Μειονεκτήματα

Ξεκινώντας, η λειτουργία των μυοηλεκτρικών προσθετικών μελών περιορίζεται από την απαίτηση ύπαρξης συγκεκριμένων συνθηκών. Αρχικά, χωρίς επαρκή δραστηριοποίηση των μυών του υπολειπόμενου άκρου, δεν παράγονται ηλεκτρικά σήματα για την ενεργοποίηση των κινήσεων του προσθετικού. Επίσης, για την λειτουργία του εν λόγω προσθετικού απαιτούνται μπαταρίες, οι οποίες χρειάζονται καθημερινή φόρτιση, γεγονός το οποίο επίσης μπορεί να είναι περιοριστικό στη χρηστικότητα της κατασκευής.

Στη συνέχεια, ένα ακόμα εμπόδιο μπορεί να θεωρηθεί το ότι τα μυοηλεκτρικά προσθετικά μέλη αποτελούν μία κατασκευή επιρρεπή απέναντι σε εξωτερικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, μπορεί να υποστούν βλάβη μετά από επαφή τους με νερό, χώμα ή λάσπη. Ακόμα, ζημιά μπορεί να προκληθεί και από πιθανές ηλεκτρονικές παρεμβολές. Ωστόσο αξίζει να αναφερθεί πως με βελτιώσεις των συσκευών αυτών, ο μηχανισμός πλέον σφραγίζεται και στεγανοποιείται για να αποφευχθούν οι εν λόγω βλάβες.

Κλείνοντας, τα μυοηλεκτρικά μέλη έχουν μεγαλύτερα βάρη και δομή με πολλαπλές αρθρώσεις που καθιστά τον χειρισμό τους πιο δύσκολο. Επίσης, αυτές οι κατασκευές έχουν μεγαλύτερο κόστος τόσο για την απόκτηση όσο και για την μετέπειτα φροντίδα τους, ενώ είναι πιθανό να χρειάζονται ανά διαστήματα επισκευή ή συντήρηση από τον κατασκευαστή.

Όπως πολύ στοχευμένα τονίζουν οι Williams M. R. και Walter W. (2015), εύκολα μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι, το ιδανικό προσθετικό μέλος άνω άκρου θα συνδυάζει τα πλεονεκτήματα που παρέχει η κάθε κατηγορία, εξαλείφοντας τα αρνητικά στοιχεία. Έτσι θα παράγονταν μέλη ελαφριά, άνετα, λειτουργικά, εύκολως ελεγχόμενα και ανθεκτικά στη διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας. Αυτή η σειρά προτεραιότητας τίθεται πάντα σε αναλογία με τις ανάγκες των ασθενών, οι οποίοι έχουν ως πρωταρχική επιθυμία στην αναζήτησή τους για προσθετικό άκρο, έναν αρθρωτό, πολυλειτουργικό μηχανισμό που θα συνδυάζει παραγωγικά λειτουργικότητα και αισθητική.

Ωστόσο, μέχρι σήμερα τα προηγμένα, κατά βάση μυοηλεκτρικά, προσθετικά μέλη που είναι διαθέσιμα στην αγορά, προκειμένου να βελτιστοποιήσουν μία συγκεκριμένη ανάγκη, καταλήγουν να υστερούν σε κάποια άλλη απαίτηση. Συγκεκριμένα, όλο και περισσότερα αρθρωτά μέλη διατίθενται στην αγορά όπως τα Touch Bionics i-limb, Steeper bebionic3, και Michelangelo από το Otto Bock. Οι μηχανισμοί αυτοί διαθέτουν μεμονωμένα δάχτυλα με ανεξάρτητες ή μερικώς ανεξάρτητες κινήσεις, έναν αντικρούσιμο αντίχειρα με ικανότητα περιστροφής ενώ έχουν τη δυνατότητα να εκτελέσουν διάφορες μορφές λαβής. Αν και σημειώνουν ουσιαστική βελτίωση σε ότι αφορά στη λειτουργία και την εμφάνισή τους, οι αυξημένες τους δυνατότητες συνεπάγονται αυξημένο βάρος συγκριτικά με απλούστερες κατασκευές. Αυτό οφείλεται στην πιο περίπλοκη δομή τους καθώς και στο ότι εμπεριέχουν αυξημένο αριθμό κινητήρων και μοτέρ.

Κεφάλαιο 2: Βελτιστοποίηση Διαδικασίας Παραγωγής Προσθετικών Μελών

Η σημερινή εποχή, μπορεί να χαρακτηριστεί από τη σπουδαία άνοδο της τεχνολογίας σε διάφορους τομείς. Επομένως, για την παραγωγή, κατασκευή και διανομή ενός προσθετικού μέλους, είτε πάνω είτε κάτω άκρου, υπάρχουν εναλλακτικές μέθοδοι και διαδικασίες. Κάθε μία εξ αυτών συγκρινόμενη με μία άλλη, υπερέχει σε ορισμένα σημεία ενώ υστερεί σε άλλα. Για παράδειγμα, κάποιες μέθοδοι είναι οικονομικές και γρήγορες ενώ δεν είναι ευέλικτες, τη στιγμή που μία άλλη ενδέχεται να είναι προσαρμοστική μεν αλλά πιο δαπανηρή και χρονοβόρα.

Για το λόγο αυτό, καθίσταται επιτακτική η ανάγκη μελέτης της εκάστοτε κατασκευής προσθετικού μέλους ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη διαδικασία παραγωγής του, με γνώμονα τα εκάστοτε ζητούμενα χαρακτηριστικά. Εξίσου σημαντική είναι κι η ανάλυση τόσο των απαιτήσεων του δέκτη, όσο και τον δυνατοτήτων και περιορισμών του υπολειπόμενου άκρου του. Αν, λόγου χάριν, ο δέκτης έχει επιτακτική ανάγκη για άμεση αποκατάσταση πρέπει να επιλεγεί η ανάλογη μέθοδος όπως κι αν, αντίστοιχα, χρειάζεται μια περίπλοκη και εξατομικευμένη πρόσθεση.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, ένας εν δυνάμει παραλήπτης ανάλογα με τις ανάγκες και τις επιθυμίες του λαμβάνει μία απόφαση αναφορικά με τις επιλογές αποκατάστασης που διαθέτει. Όμως κατά την κατασκευή τους συναντώνται προβλήματα και εμπόδια τα οποία η τεχνολογία γύρω από την ανάπτυξη προσθετικών μελών καλείται να βελτιστοποιήσει.

2.1 Κριτήρια Βελτιστοποίησης Κατασκευής Προσθετικού Μέλους

Τα χαρακτηριστικά που πρέπει να μελετώνται προκειμένου να επιλέγεται η κατάλληλη διαδικασία και να παράγεται το βέλτιστο αποτέλεσμα υπόκεινται κάτω από τις ανάγκες του παραλήπτη. Αρχικά, το μεγαλύτερο εμπόδιο που συναντάται είναι το ότι η αγορά των περισσότερων κατασκευών που έχουν παραχθεί με σκοπό να έχουν λειτουργικότητα είναι ιδιαίτερα δαπανηρές. Ο συγκεκριμένος περιορισμός αποκτά άλλη βαρύτητα κυρίως αν αναλογιστούμε το γεγονός πως οι περισσότεροι άνθρωποι με ανάγκες για προσθετικά μέλη προέρχονται από αναπτυσσόμενες χώρες με χαμηλό οικονομικό υπόβαθρο.

Ακόμα, κάθε παραλήπτης αντιμετωπίζει διαφορετικές δυσκολίες και έχει διαφορετικές ανάγκες πρόσθεσης. Δεν είναι πάντα εύκολη η επιλογή συγκεκριμένου προσθετικού μέλους καθώς δεν υπόκειται κάτω από μία συγκεκριμένη μεθοδολογία και απόφαση. Η επιλογή εξαρτάται από το φύλο, την ηλικία του δέκτη αλλά και από τις συνθήκες απώλειας του άκρου. Πιο συγκεκριμένα, η ανώμαλη απώλεια άκρου που υπέστει ένας άνθρωπος μετά από έκρηξη βόμβας, χρήζει διαφορετικής αντιμετώπισης από έναν ομαλό ακρωτηριασμό για θεραπεία από ασθένεια.

Συνεχίζοντας, ένα ιδιαίτερα σημαντικό κριτήριο επιλογής προσθετικού μέλους είναι αυτό της άνεσης που προσφέρει στον παραλήπτη. Καθώς η κατασκευή αυτή θα αποτελέσει μέρος του σώματος του δέκτη, είναι επιτακτική η ανάγκη να μπορεί να του παρέχει άνεση και ευκολία χειρισμού. Συγκεκριμένα, είναι σημαντικό να επιλεγθούν κατάλληλα υλικά ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι ελαφρύ, εύχρηστο και ταυτόχρονα λειτουργικό. Το προσθετικό μέλος είναι απαραίτητο να προσφέρει το αίσθημα της ολότητας στον παραλήπτη και να του αποκαθιστά την ισορροπία του σώματός του με τον βέλτιστο τρόπο.

Ένα πιο πρακτικό ζήτημα, αφορά την γενική ευκολία της εκάστοτε διαδικασίας παραγωγής του προσθετικού μέλους. Πιο αναλυτικά, κάποιες από τις διαδικασίες απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό, ειδικά μηχανήματα και κατάρτιση. Το γεγονός αυτό σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμούς στην ευκολία, στην ταχύτητα και κατ' επέκταση στην αξιοπιστία και λειτουργικότητα του αποτελέσματος.

Τέλος, κάθε διαδικασία κατασκευής προσθετικού μέλους δύναται να απαιτεί την ύπαρξη συγκεκριμένων συνθηκών σε ότι αφορά στην ανατομία του παραλήπτη. Για παράδειγμα, όπως θα αναφερθεί και σε επόμενο κεφάλαιο, σε ότι αφορά στην κατασκευή προσθετικών μελών μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης, για την αποτελεσματικότητα της κατασκευής πρέπει να υπάρχει επαρκές μηχανικό σύστημα ενεργοποίησης. Συγκεκριμένα, είναι αναγκαία η ύπαρξη λειτουργικού υπολειπόμενου άκρου, είτε καρπού είτε βραχίονα ώστε να παράγεται η απαραίτητη τάση για να εκτελείται η κίνηση του προσθετικού μέλους.

2.2 Μέθοδος Χύτευσης για Παραγωγή Προσθετικών Μελών

Μία μέθοδος παραγωγής προσθετικών μελών μπορεί να αποτελέσει αυτή της χύτευσης. Σύμφωνα με τον εθνικό οργανισμό ερυθρού σταυρου ICPC (International Committee of the Red Cross), η τεχνολογία κατασκευής προσθετικών μελών, είναι σημαντικό να αποτελεί μια τεχνολογία εύκολη στην επεξεργασία ώστε να κατασκευάζονται μέλη κατά παραγγελία ειδικά για να συναντήσουν τις ανάγκες του παραλήπτη.

Όταν ο οργανισμός έκανε την είσοδο του στην αποκατάσταση το 1979 με χρήση διαθέσιμων τοπικά υλικών όπως ξύλο και δέρμα, τα διάφορα εξαρτήματα για τη συναρμολόγηση του προσθετικού κατασκευάζονταν από τους ίδιους. Σε επόμενο βήμα,

αρχές της δεκαετίας του 1990, ξεκίνησε η τυποποίηση της διαδικασίας κατασκευής προσθετικών μελών, προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι υπηρεσίες και τα αποτελέσματα.

Με στόχο την ανάπτυξη αυτής της διαδικασίας, ο εν λόγω οργανισμός ICRC (2016) συνέταξε ένα φύλλο οδηγιών κατασκευής προσθετικών με χρήση της μεθόδου χύτευσης με βάση τα διεθνή πρότυπα προσθετικής και ορθοτικής (International Prosthetic and Orthotic (P&O) Standards). Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι, θεωρήθηκε προτιμότερο να αναπτύξουν μία δική τους τεχνολογία, ενώ απέφυγαν την αγορά έτοιμων, τυποποιημένων εξαρτημάτων με σκοπό την συναρμολόγηση των συσκευών. Τέτοια εξαρτήματα έχουν πολύ μεγαλύτερο κόστος στην αγορά και, πέραν τούτου, όπως τονίζεται στοχευμένα, αποτελεί διαδικασία που δεν συνάδει με την γενική φιλοσοφία του οργανισμού.

Σε αυτό το φύλλο οδηγιών περιγράφεται βήμα προς βήμα η μέθοδος χύτευσης όπως εκτελείται από τον οργανισμό. Οι διαδικασίες διαφέρουν ελαφρώς μεταξύ της κατασκευής προσθετικού για αποκατάσταση αναπηρίας πάνω από τον αγκώνα (trans-humeral amputation) με αυτή για αναπηρία κάτω από τον αγκώνα (trans-radial amputation).

Συγκεκριμένα, ξεκινάει η χύτευση του μέλους, είτε από τον ώμο είτε από τον αγκώνα και γίνονται διορθώσεις. Στα προσθετικά μέλη που ξεκινούν από τον ώμο τοποθετείται υποδοχή για το εξάρτημα του ώμου ενώ σε αυτά που ξεκινούν από τον αγκώνα, τοποθετείται ο καρπός.

Στη συνέχεια, σκεπάζονται τα εξαρτήματα που έχουν κατασκευαστεί με πολυπροπυλένιο. Στα μέλη κάτω από τον αγκώνα κατασκευάζεται και η δεύτερη υποδοχή η οποία επίσης δέχεται το πολυπροπυλένιο. Κατασκευάζονται διαδρομές κατά μήκος των εξαρτημάτων, έτοιμες να υποδεχτούν τα καλώδια και τέλος, τοποθετείται ο τελικός γάντζος, το σύστημα ελέγχου και τα καλώδια που απαιτούνται.



Εικόνα 2.1: Αποτέλεσμα χύτευσης προσθετικού μέλους κάτω από τον αγκώνα (trans-radial). (Πηγή: <https://www.icrc.org/en/doc/assets/files/other/eng-trans-radial.pdf>). **Εικόνα 2.2:** Αποτέλεσμα χύτευσης προσθετικού μέλους πάνω από τον αγκώνα (trans-humeral). (Πηγή: <https://www.icrc.org/en/doc/assets/files/other/eng-trans-humeral.pdf>)

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία, αναπτύχθηκε από τον εθνικό οργανισμό ερυθρού σταυρού για την αποφυγή αγοράς έτοιμων, τυποποιημένων εξαρτημάτων. Σκοπός ήταν η ανάπτυξη μιας τυποποιημένης και εύκολα διαθέσιμης τεχνολογίας η οποία όμως θα επιτρέπει αλλαγές ανάλογα με το κλίμα και τις συνθήκες διαφορετικών περιοχών. Ακόμα, επιζητούσαν μία τεχνολογία με εύκολη εκμάθησή της από τους τεχνικούς, τόσο στην εκτέλεση και επιδιόρθωση των κατασκευών, όσο και στη χρήση του εξοπλισμού. Σε ότι αφορά τα τελικά αποτελέσματα, η διαδικασία όφειλε να παράγει ανθεκτικές και άνετες κατασκευές, εύκολες τόσο στη χρήση τους όσο και στη συντήρισή τους.

2.1.1 Υβριδικό Μοντέλο

Μία ακόμα μέθοδος παραγωγής προσθετικών μελών που μπορεί να αποβεί συμφέρουσα είναι αυτή της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Αποτελεί μια από τις ιδανικότερες επιλογές σε ότι αφορά στην εξατομίκευση του προσθετικού μέλους, αφού οι αλλαγές γίνονται με εύκολο και γρήγορο τρόπο με τροποποιήσεις μόνο στο CAD αρχείο. Ακόμα, προτιμάτε για την απλότητα και το χαμηλό της κόστος, καθώς απαιτεί ένα αρχικό κεφάλαιο απόκτησης του εξοπλισμού και, στη συνέχεια, τα υλικά εκτύπωσης τα οποία είναι αρκετά οικονομικά.

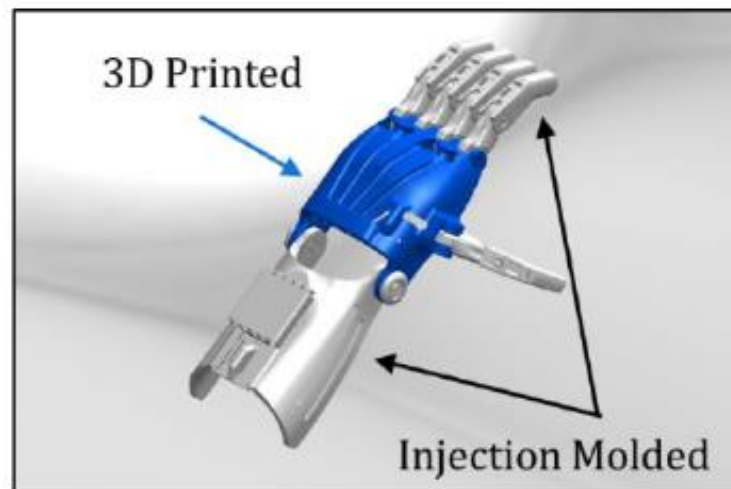
Ωστόσο, αποτελεί μια πολύ μεγάλη χρονικά διαδικασία αφού για την παραγωγή ενός προσθετικού μέλους άνω άκρου χρειάζονται από 32 έως 53 ώρες. Στο ίδιο πλαίσιο, μετά την κατασκευή ενός προσθετικού μέλους είναι σημαντική η δοκιμή του από τον παραλήπτη και η επιδιόρθωση τυχόν αστοχιών του, προεκτείνοντας ακόμα περισσότερο τον συνολικό χρόνο παραγωγής. Επίσης, συναντάται περιορισμός στην επιλογή υλικών καθώς δεν υπάρχει μεγάλη ποικιλία στα συμβατά με τρισδιάστατη εκτύπωση πλαστικά.

Σε ότι αφορά στην διαδικασία της χύτευσης που προαναφέρθηκε, η εν λόγω διαδικασία έχει πολύ μεγάλο κόστος, τόσο κατά την αρχική επένδυση όσο και κατά τη διάρκεια εκτέλεσης και συντήρησης. Το αρχικό κεφάλαιο είναι μεγάλο αλλά πέραν τούτου, προκειμένου να επιτευχθεί εξατομίκευση, κάθε φορά απαιτείται η εκ νέου κατασκευή καινούργιου καλουπιού το οποίο χρειάζεται κόστος αλλά και αναπτυξιακό χρόνο. Επομένως, εκτός του κόστους αυξάνεται κι ο χρόνος προετοιμασίας της παραγωγής του προσθετικού μέλους σε μία διαδικασία η οποία εξ αρχής είναι περίπλοκη.

Παρόλα αυτά, η διαδικασία χύτευσης αυτή καθε αυτή δεν απαιτεί μεγάλο χρόνο. Επομένως, σε συνήθη μεγέθη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοινά καλούπια, μπορεί να παραχθεί γρήγορο αποτέλεσμα αλλά και να επιτευχθεί επαναληψιμότητα. Ακόμα, δεν παρουσιάζονται περιορισμοί σε ότι αφορά στα υλικά προς χύτευση. Ανάλογα με τις απαιτήσεις, τις οικονομικές δυνατότητες ή το επιθυμητό βάρος, υπάρχει δυνατότητα επιλογής του κατάλληλου υλικού μέσα από μεγάλη ποικιλία.

Όπως τονίζεται και από τους King, M. et.al (2015), καμία από τις προαναφερθέντες μεθόδους δεν ικανοποιεί κάθε απαίτηση. Για τον λόγο αυτό, όπως αναφέρουν κι οι συγγραφείς, προκειμένου να ικανοποιηθούν τα ζητούμενα κριτήρια ώστε να παραχθεί ένα ολοκληρωμένο αποτέλεσμα, η προτεινόμενη μέθοδος συνδυάζει τις δύο διαδικασίες χύτευσης και τρισδιάστατης εκτύπωσης, με σκοπό στα σημεία στα οποία υστερεί η μια μέθοδος να υπερέχει η άλλη.

Συγκεκριμένα, με χρήση αυτών των δύο μεθόδων, επιτυγχάνεται μεταβλητότητα ενώ παράλληλα υπάρχει ένα τυποποιημένο και μεθοδολογημένο πλαίσιο. Δίνεται επίσης η ευκαιρία παραγωγής σε μειωμένο συνολικό χρόνο στον οποίο όμως συμπεριλαμβάνεται η δυνατότητα δοκιμών και ελέγχων μεταξύ του παραλήπτη και του κατασκευαστή. Το υβριδικό επομένως αποτέλεσμα παράγεται γρήγορα, εύκολα, οικονομικά, με γνώμονα τον εκάστοτε παραλήπτη και τις ανάγκες του.



Εικόνα 2.3: Υβριδικό μοντέλο (Πηγή: <https://scihub.do/https://ieeexplore.ieee.org/document/7343955>)

2.2 Μέθοδος Τρισδιάστατης Εκτύπωσης για Παραγωγή Προσθετικών Μελών

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης για την κατασκευή προσθετικού μέλους άνω άκρου, η διαδικασία της οποίας θα αναλυθεί σε επόμενα κεφάλαια. Η τρισδιάστατη εκτύπωση ως μέθοδος παραγωγής προσθετικών μελών, πέραν του ότι εκτελέστηκε πρακτικά, ελέγχθηκε και σε θεωρητικό πλαίσιο.

Προφανώς όπως και κάθε άλλη διαδικασία κατασκευής, έτσι κι η τρισδιάστατη εκτύπωση, μπορεί να εξεταστεί από δύο οπτικές. Ενώ από τη μία παρουσιάζει πληθώρα πλεονεκτημάτων και ευκολιών, παράλληλα, μειονεκτήματα, περιορισμοί και δυσκολίες, δυσχεραίνουν την εν λόγω διαδικασία.

2.2.1 Περιορισμοί

Συγκεκριμένα για την παραγωγή προσθετικών μελών μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι Sachin K. Makvana et.al (2016), μελέτησαν τους περιορισμούς που ενδέχεται να εμφανιστούν στην εφαρμογή και στη σχεδιάσή τους. Αρχικά επισημαίνουν πως πρόκειται για μια κατασκευή η οποία στην ουσία εντάσσεται στο σώμα του ανθρώπου. Ως εκ τούτου, τα υλικά κατασκευής ενός προσθετικού μέλους, πρέπει να επιλέγονται με βάση το ότι το βάρος του δεν πρέπει να υπερβαίνει το συνολικό βάρος του δέκτη. Επίσης, με αναφορές στη δική τους βιβλιογραφία, τονίζουν πως το επιθυμητό βάρος του μέλους είναι μέχρι τα 3.5 κιλά ώστε να μπορεί να είναι άνετο και βολικό κατά την κίνησή του.

Σε ότι αφορά στους περιορισμούς, το σύνολο της διαδικασίας, δυσχεραίνει η απαίτηση ύπαρξης ενός υπολειπόμενου άκρου με συγκεκριμένες δυνατότητες. Συγκεκριμένα, πρέπει ο δέκτης με το εναπομείναν άκρο του να είναι ικανός να ασκήσει επαρκή τάση στο προσθετικό μέλος. Αυτό συμβαίνει καθώς, η πλειοψηφία των άνω άκρων στις ανοιχτές βάσεις δεδομένων του e-Nable, εθελοντικός οργανισμός στον οποίο θα γίνει σε συνέχεια εκτεταμένη αναφορά, περιέχουν στο σχέδιο χορδές προκειμένου μέσω αυτών να εκτελούνται οι ενέργειες. Επομένως, για την εκτέλεση της όποιας κίνησης ή ενέργειας, το μέρος του καρπού ή του μπράτσου που εξακολουθεί να είναι λειτουργικό, δημιουργεί την τάση που χρειάζονται οι χορδές και επιτελείται έτσι το πιάσιμο, το τράβηγμα και η ενεργοποίηση των δακτύλων.

Πλέον, με το κόστος των εκτυπωτών προσθετικής κατασκευής να μειώνεται συνεχώς, οι γνώστες αυτής της τεχνολογίας μπορούν εύκολα να τους προμηθευτούν. Παρόλα αυτά, αν και είναι εύκολη τεχνολογία στη χρήση της χωρίς να απαιτείται μεγάλη εξειδίκευση, η διάθεση τους περιορίζεται σε ακαδημαϊκούς, ερευνητές, οργανισμούς παρά σε ιδιώτες. Συγκεκριμένα, όπως πολύ εύστοχα τονίζουν οι King, M. et.al (2015), λόγω των περιορισμένων πόρων η πρόσβαση του παραλήπτη σε τρισδιάστατο εκτυπωτή και σε εξειδικευμένο χρήστη είναι περιορισμένη, γεγονός που τοποθετεί ένα επιπλέον εμπόδιο.

Ακόμα, το γεγονός ότι είναι μια διαδικασία με αυξημένο χρόνο κατασκευής εμποδίζει ακόμα περισσότερο την διαδικασία και την παραγωγικότητα. Από τους προαναφερθέντες συγγραφείς, King, M. et.al (2015), επισημαίνεται ότι συχνό φαινόμενο κατά την εκτύπωση αποτελεί η δυσλειτουργία των εκτυπωτών κατά την οποία το υλικό μπορεί να δημιουργήσει ζάρες, σκισίματα ή τυλίγματα κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης. Ωστόσο, με τη βελτιστοποίηση της εν λόγω τεχνολογίας, το γεγονός αυτό αναμένεται να ελαχιστοποιηθεί. Γνωστοποιείται επίσης το ότι ένα μεμονωμένο χέρι, για να εκτυπωθεί χρειάζεται από 32 έως 54 ώρες. Αυτά σε συνδυασμό με το ότι ο δέκτης πρέπει να κάνει αρχικές μετρήσεις και διαστασιολογήσεις και, στη συνέχεια, δοκιμές και αλλαγές καθιστά την διαδικασία εξαιρετικά χρονοβόρα. Επομένως, αν η πρόσβασή του στα μηχανήματα είναι δύσκολη, δυσκολεύεται εκ νέου η εκτέλεση.

Τέλος, η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει εξατομίκευση και η κατασκευή του προσθετικού βασίζεται εξ ολοκλήρου στον δέκτη και τις ανάγκες του. Ωστόσο το γεγονός αυτό, αν και πλήρως θετικό και ευνοϊκό, δημιουργεί με τη σειρά του περιορισμούς στο σύνολο της διαδικασίας. Συγκεκριμένα, δεν υπάρχει η δυνατότητα επαναληψιμότητας με επαναχρησιμοποίηση κάποιου σχεδίου ή STL αρχείου. Σε κάθε νέο δέκτη το σχέδιο χρειάζεται τροποποίηση και επεξεργασία, με παράλληλες αλλαγές στο παραγόμενο STL αρχείο.

2.2.2 Πλεονεκτήματα

Όπως έχει προαναφερθεί, ναι μεν η τρισδιάστατη εκτύπωση συναντά περιορισμούς και εμπόδια, έχει όμως αρκετά πλεονεκτήματα τα οποία σε γενικές γραμμές την καθιστούν μία συμφέρουσα διαδικασία σε ότι αφορά στην παραγωγή προσθετικών μελών. Αρχικά, ένα μεγάλο θετικό με το οποίο συνδέονται είναι αυτό της εύκολης εξατομίκευσης του νέου άκρου. Ειδικότερα, ένα υπάρχον σχέδιο δέχεται μεταποιήσεις προκειμένου να προσαρμοστεί στον εκάστοτε παραλήπτη. Οι διαφορές μπορεί να είναι πολλές και σχετίζονται με την ηλικία, το φύλο, το ζητούμενο μέγεθος και αποτελούν σχεδιαστικές μετατροπές στα CAD αρχεία, οι οποίες μπορούν να γίνουν εύκολα και γρήγορα. Εν ολίγοις, η κάθε πρόσθεση ακολουθεί τις απαιτήσεις του δέκτη και προσαρμόζεται σε αυτόν με χρήση εύκολων μετασχηματισμών.

Συνεχίζοντας, η τρισδιάστατη εκτύπωση στο σύνολο της διαδικασίας, αποτελεί μια απλή μέθοδο με συγκεκριμένη μεθοδολογία. Αν και απαιτεί συγκεκριμένα μηχανήματα, δεν είναι αναγκαία η ύπαρξη εξειδικευμένου προσωπικού. Όπως τονίζουν κι οι King, M. et.al (2015), ο τρισδιάστατος εκτυπωτής το μόνο που περιμένει από τον χρήστη είναι η εισαγωγή του κατάλληλου υλικού και του αρχείου προς εκτύπωση με παράλληλη ρύθμιση λίγων παραμέτρων.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα με το οποίο συνδέεται η εν λόγω διαδικασία είναι αυτό του μειωμένου κόστους. Προφανώς υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί τρόποι κατασκευής προσθετικών μελών αρκετοί εκ των οποίων τα παράγουν αποτελεσματικά. Ωστόσο, για βελτίωση της απόδοσής τους απαιτείται η εφαρμογή επιπλέον τεχνολογιών όπως αισθητήρων, με αποτέλεσμα το τελικό μοντέλο να κοστίζει πολλά. Αρκετές φορές άνθρωποι με ανάγκες σε προσθετικό μέλος, λόγω του αυξημένου κόστους απόκτησής του δεν έχουν την ευκαιρία να εκμεταλλευτούν την τεχνολογική πρόοδο. Σύμφωνα με τα στοιχεία που παρουσιάζουν οι Sachin K. Makvana, et.al (2016), με την τρισδιάστατη εκτύπωση έχει επιτευχθεί μείωση του κόστους κατασκευής των προσθετικών μελών κατά 60% με 70% γεγονός που τα καθιστά πιο εύκολα διαθέσιμα στον κόσμο από οικονομικής άποψης.

Τα προσθετικά μέλη που κατασκευάζονται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης, αποτελούν δυνατές, ανθεκτικές και ευέλικτες κατασκευές, κατάλληλες και συμβατές με κάθε άνθρωπο ενώ παράλληλα, είναι εφικτή η παραγωγή οποιασδήποτε γεωμετρίας. Ακόμα και η πλέον πολύπλοκη γεωμετρία, η οποία δεν μπορεί να παραχθεί εύκολα με κάποια άλλη διαδικασία, μπορεί να υλοποιηθεί ώστε να κατασκευαστεί ένα καλαίσθητο προσθετικό μέλος με αξιοπρεπή εμφάνιση.

Τέλος, μετά από σύγκριση προσθετικών μελών που έχουν παραχθεί από άλλες διαδικασίες με αυτά που έχουν παραχθεί με τρισδιάστατη εκτύπωση, βγήκε το συμπέρασμα πως τα δεύτερα έχουν πολύ χαμηλότερο συνολικό βάρος. Με χρήση πιο ελαφρών κατασκευών, ο παραλήπτης έχει ευχέρεια κινήσεων και του δίνεται η ευκαιρία άνετων και γρήγορων μετατοπίσεων των άκρων του. Παράλληλα, το νέο άκρο όσο είναι ελαφρύ, δίνει

στον χρήστη την ευκαιρία να το οικειοποιηθεί με μεγαλύτερη ευκολία και, ναι μεν να προσθέτει ένα ξένο μέλος στο σώμα του, όμως να μπορεί να ενσωματωθεί με αυτό.

Κεφάλαιο 3: Κοινότητα e-NABLE

Αξίζει να αναφερθεί πως, παρά την μεγάλη εξέλιξη που έχει συναντήσει η κατασκευή προσθετικών μελών τόσο άνω όσο και κάτω άκρων, μεγάλο ποσοστό των ανθρώπων με τις εν λόγω αναπηρίες δεν έχουν την δυνατότητα απόκτησης μιας τέτοιας πρόσθεσης. Αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε λόγω οικονομικών προβλημάτων, είτε λόγω μικρής ιατρικής περίθαλψης, είτε λόγω απουσίας ενημέρωσης γύρω από τις επιλογές που έχει ο παραλήπτης.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία επιλογών, όπως έχει προαναφερθεί, για προσθετικά μέλη που καλούνται να καλύψουν καθαρά αισθητικές και ψυχосωματικές ανάγκες, μέχρι πιο λειτουργικές κατασκευές που φέρουν και πρακτικό αποτέλεσμα. Κάθε επιλογή συναντά τόσο θετικά όσο και αρνητικά στοιχεία καλώντας τον παραλήπτη να λάβει μία απόφαση ανάλογα με τα δικά του κριτήρια, τις ανάγκες του και τις δυνατότητές του που αφορούν τόσο τις συνθήκες ζωής του όσο και την αναπηρία του.

Το πρόβλημα που καλείται να λύσει η εθελοντική κοινότητα e-NABLE, είναι αυτό της παροχής βοήθειας σε άτομα με αναπηρία χωρίς η ίδια η κοινότητα να έχει κάποιο προσωπικό όφελος. Αναλυτικά, σκοπός της είναι να τους προσφέρει μία απλή, εύκολη λύση με την δωρεά προσθετικού μέλους. Ο μόνος περιορισμός είναι πως απαιτείται ο παραλήπτης να πληρεί κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις σε ότι αφορά στην ανατομία και μορφολογία του υπολειπόμενου άκρου του.

Τα προσθετικά μέλη που παρέχει ο οργανισμός αυτός, αποτελούν απλές κατασκευές που παράγονται και συναρμολογούνται εύκολα από εθελοντές. Απαιτούνται λίγες γνώσεις απέναντι στις τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, ενώ ο εθελοντής καθοδηγείται από την κοινότητα, ζητάει βοήθεια και συνεργάζεται, προκειμένου να παραχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για τον παραλήπτη.

3.1 Αναδρομή

Πρόκειται για έναν μη κερδοσκοπικό διαδικτυακό οργανισμό που αποτελείται από εθελοντές από όλο τον κόσμο με πρόσβαση σε τρισδιάστατο εκτυπωτή και ταυτόχρονη γνώση και θέληση προκειμένου να παράξουν χαμηλού κόστους προσθετικά μέλη και να τα διαθέσουν δωρεάν σε παιδιά και ενήλικες που τα έχουν ανάγκη.

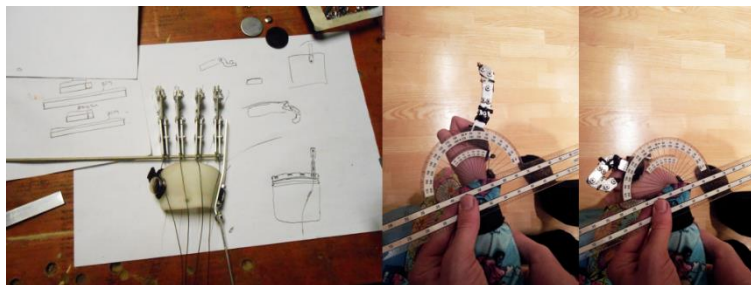
Σύμφωνα με τον επίσημο ιστότοπο του e-NABLE, το 2011, ο καλλιτέχνης και σχεδιαστής Ivan Owen δημιούργησε το πρώτο μηχανικό προσθετικό μέλος. Όταν το γεγονός αυτό γνωστοποιήθηκε, ο Ivan είχε την πρώτη του πρόταση για συνεργασία. Ένας ξυλουργός

ήρθε σε επικοινωνία μαζί του προκειμένου να παραχθεί ένα λειτουργικό προσθετικό μέλος ώστε να αντικαταστήσει το χαμένο του δάχτυλο.



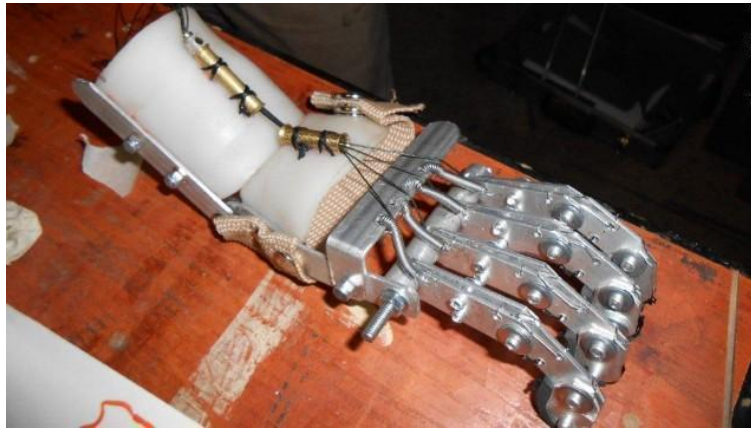
Εικόνα 3.1: Πρώτο προσθετικό δαχτύλου του e-Nable (Πηγή: <http://enablingthefuture.org/about/>)

Μετά την επιτυχία αυτού του μηχανισμού, τα άρθρα που γράφτηκαν και τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, προσέλκυσαν την οικογένεια ενός παιδιού με σύνδρομο αμνιακής ζώνης, η οποία πήγε το αίτημα ένα βήμα παρακάτω. Έτσι ξεκίνησαν σχεδιασμοί για το πρώτο ολοκληρωμένο προσθετικό χέρι, το οποίο αποτελούσε μικρογραφία του μηχανικού χεριού με το οποίο ο Ivan πρωτοξεκίνησε.



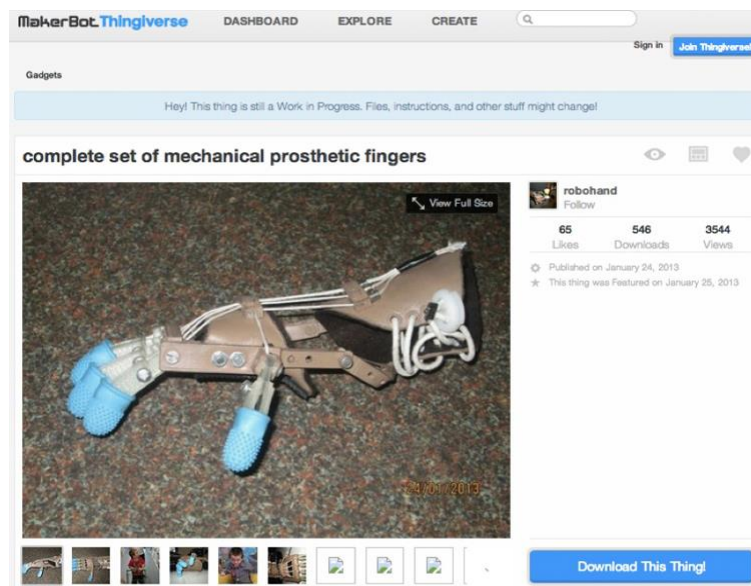
Εικόνα 3.2: Σχεδιασμοί πρώτου προσθετικού μέλους άνω άκρου του e-Nable (Πηγή: <http://enablingthefuture.org/about/>)

Το χέρι αυτό κατασκευάστηκε και δόθηκε στο παιδί. Αποτελούνταν από μπάρες αλουμινίου, βίδες, πετονιά, σωλήνες χαλκού και θερμοπλαστικά ενώ του έλειπε ο αντίχειρας, γεγονός που το καθιστούσε δυσλειτουργικό, ογκώδες και άβολο. Ωστόσο, το παιδί έμαθε να λειτουργεί με αυτό και να αποκαταστήσει κάποιες χαμένες του κινήσεις όπως να κρατήσει και να ανυψώσει αντικείμενα για πρώτη φορά στη ζωή του.



Εικόνα 3.3: Πρώτο προσθετικό μέλος άνω άκρου του e-Nable (Πηγή: <http://enablingthefuture.org/about/>)

Το 2012 ο Ivan έκανε την είσοδό του στον χώρο της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Προκειμένου να εξελίξει το σχέδιο του χεριού και να το βελτιώσει, με προσωπική του μελέτη και εκπαίδευση απέκτησε τις απαραίτητες γνώσεις. Μέσω δοκιμών πάνω σε έναν εκτυπωτή, τον οποίο έλαβε ως δωρεά, το 2013 αναπτύχθηκε το πρώτο προσθετικό χέρι πρόσθετης παραγωγής, το “Robohand”.



Εικόνα 3.4: “Robohand”, το πρώτο προσθετικό μέλος άνω άκρου προσθετικής κατασκευής σε ανοιχτή βάση δεδομένων (Πηγή: <http://enablingthefuture.org/about/>)

Ακολούθως, πήρε την απόφαση να τοποθετήσει αυτά τα σχέδια σε μία ανοιχτή βάση δεδομένων, ώστε ο καθένας να έχει την ευκαιρία να τα χρησιμοποιήσει προς τρισδιάστατη

εκτύπωση προσθετικού μέλους, οπουδήποτε στον κόσμο. Αυτή η δουλειά οριοθέτησε την αρχή του πρότζεκτ του e-NABLE το οποίο πλέον αποτελεί μια παγκόσμια κοινότητα 20,000 εθελοντών σε πάνω από 100 χώρες οι οποίοι ήδη έχουν δωρίσει 8,000 προσθετικά μέλη άνω άκρων. Οι παροχές αυτές γίνονται μέσω συνεργασίας και εκμετάλλευσης των ανοιχτών σχεδίων προκειμένου να βοηθηθούν όσοι έχουν ελάχιστη έως καθόλου ιατρική μέριμνα σε υποανάπτυκτες χώρες.

3.2 Πορεία Κατασκευής και Παράδοσης Συσκευής σε Παραλήπτη

Στην βιβλιοθήκη της ιστοσελίδας του e-NABLE (<https://enablingthefuture.org/upper-limb-prosthetics/>) υπάρχει πληθώρα σχεδιαστικών αρχείων καθώς και έτοιμων STL αρχείων προς εκτύπωση. Η κοινότητα του e-NABLE έχει διαμορφώσει μία μεγάλη βάση δεδομένων με συλλογές, προκειμένου να βοηθηθούν οι εθελοντές τόσο στη διαδικασία της σχεδίασης και εκτύπωσης όσο και στη διαδικασία της συναρμολόγησης των ξεχωριστών μελών του τελικού μοντέλου. Ακόμα, παρέχει πολλές βοηθητικές πληροφορίες σε ότι αφορά στις απαραίτητες πρώτες ύλες που θα χρειαστούν καθώς και βίντεο και εικόνες προκειμένου να γίνουν σωστά οι μετρήσεις για τις ζητούμενες διαστάσεις του εκάστοτε προσθετικού.

Η ελληνική κοινότητα του e-NABLE προκειμένου να βοηθήσει περισσότερους να μάθουν την διαδικασία κατασκευής και παράδοσης μιας συσκευής προσθετικού μέλους σε έναν παραλήπτη δημιούργησαν μία πιστοποίηση εθελοντή, σεμιναριακού χαρακτήρα. Σκοπός τους ήταν, πέραν του να γνωστοποιήσουν την κοινότητα και το έργο της, να βοηθήσουν άτομα να αναγνωριστούν ως εθελοντές κατασκευαστές ενός προσθετικού μέλους από τα παρεχόμενα σχέδια του οργανισμού. Αυτή η πιστοποίηση ενημερώνει τον εν δυνάμει εθελοντή για την πορεία κατασκευής του προσθετικού μέλους.

Η πορεία που πρέπει να ακολουθηθεί από τον εθελοντή προκειμένου να κατασκευάσει και να παραδώσει στον παραλήπτη μία συσκευή προσθετικού μέλους, υπόκειται, σύμφωνα με την e-NABLE, κάτω από μία συγκεκριμένη μεθοδολογία. Αρχικά, ο δέκτης έρχεται σε επαφή με την διαδικτυακή κοινότητα, δηλώνοντας ενδιαφέρον για τις συσκευές και ζητώντας την ανάλογη βοήθεια. Σε επόμενο χρόνο, ξεκινάει η εμπλοκή του κατασκευαστή-εθελοντή ο οποίος με τη σειρά του ακολουθεί τα απαιτούμενα στάδια προκειμένου να παράξει το προσθετικό μέλος του παραλήπτη, εφόσον αυτό είναι εφικτό. Τα στάδια αυτά αφορούν στην αρχική επικοινωνία του παραλήπτη με τον εθελοντή, έπειτα στην επιλογή του κατάλληλου διαθέσιμου σχεδίου και, τέλος, στην κατασκευή και παράδοση της συσκευής.



Εικόνα 3.5: Διάγραμμα ροής πορείας κατασκευής - παράδοσης συσκευής σε παραλήπτη (Πηγή: e-NABLE Greece)

3.2.1 Επικοινωνία Εθελοντή - Παραλήπτη

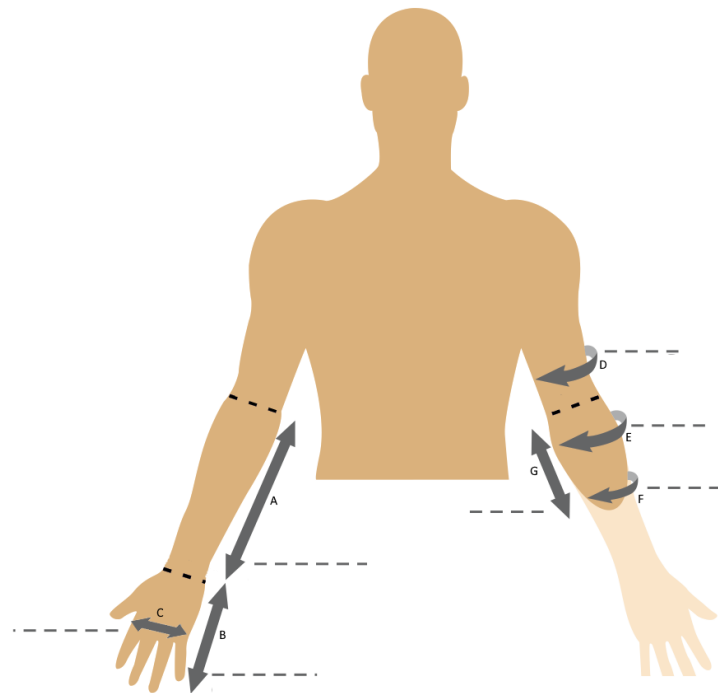
Εφόσον έρθει σε επαφή ένας εν δυνάμει δέκτης με την κοινότητα της e-NABLE, ο δέκτης αυτός θα ανατεθεί σε έναν εθελοντή ο οποίος θα ξεκινήσει και θα προσπαθήσει να ολοκληρώσει την διαδικασία κατασκευής του προσθετικού μέλους. Είναι πολύ σημαντικό, ο εθελοντής να καταφέρει να δημιουργήσει μια άμεση σχέση εμπιστοσύνης με τον παραλήπτη η οποία θα του εμπνέει ασφάλεια και υποστήριξη. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να υπάρχει αμοιβαία ειλικρίνεια και ξεκαθάριση.

Ο κατασκευαστής οφείλει να τονίσει πως με το συγκεκριμένο εγχείρημα ασχολείται εθελοντικά αφιερώνοντας τον προσωπικό του χρόνο αλλά και πως θα του προσφέρει τη μέγιστη δυνατή βοήθεια και προσοχή. Επίσης, είναι σημαντικό ο εθελοντής να ακούσει με προσοχή τις ανάγκες και επιθυμίες του παραλήπτη και με βάση αυτές να επισημάνει τα σημεία στα οποία η εν λόγω συσκευή μπορεί να προσφέρει βοήθεια στις ζητούμενες απαιτήσεις. Πιο συγκεκριμένα, να καταστήσει σαφείς στον παραλήπτη τις πλήρεις δυνατότητες που θα προσφέρει εν τέλει η συσκευή καθώς είναι σημαντικό ο δέκτης να έχει γνώση των διευκολύνσεων που θα του προσφέρει το νέο προσθετικό μέλος αλλά και για τα όριά του.

Στη συνέχεια, προκειμένου να αποφευχθούν παρανοήσεις και παρεξηγήσεις, ζητείται από τον παραλήπτη να υπογράψει συγκεκριμένα έντυπα. Αρχικά, ένα έντυπο αποδοχής, το οποίο θα εξασφαλίζει πως ο δέκτης είναι ενημερωμένος και συνειδητοποιημένος τόσο για τις δυνατότητες όσο και για τους περιορισμούς που συνοδεύουν τη συσκευή που πρόκειται να λάβει. Ακόμα, ένα έντυπο αποποίησης δικαιωμάτων υλικού πολυμέσων προκειμένου το εγχείρημα της νέας παραγόμενης συσκευής να μπορεί να γνωστοποιηθεί στο ευρύ κοινό.

Τέλος, η αρχική επικοινωνία του εθελοντή με τον παραλήπτη ολοκληρώνεται με τη διαδικασία απόκτησης μετρήσεων, τόσο με αποτύπωση και καταγραφή διαστάσεων όσο και με οπτικοακουστικά μέσα και φωτογραφίες. Πιο αναλυτικά, με λήψη φωτογραφιών αλλά και με βίντεο, με ταυτόχρονη καταγραφή πιθανών παρατηρήσεων, αποτυπώνεται όσο το δυνατόν καλύτερα η ανατομία του υπολειπόμενου άκρου. Ακόμα, απαιτούνται οι περεταίρω μετρήσεις με χάρακα ή με εύκαμπτη μετρίτικη ταινία αλλά και με παχύμετρο, συγκεκριμένων σημείων του άκρου. Οι διαστάσεις πρέπει να αποκτώνται με την μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, μεγάλη είναι η βοήθεια αποτύπωσης του υπολειπόμενου άκρου πάνω σε μιλιμετρέ χαρτί.

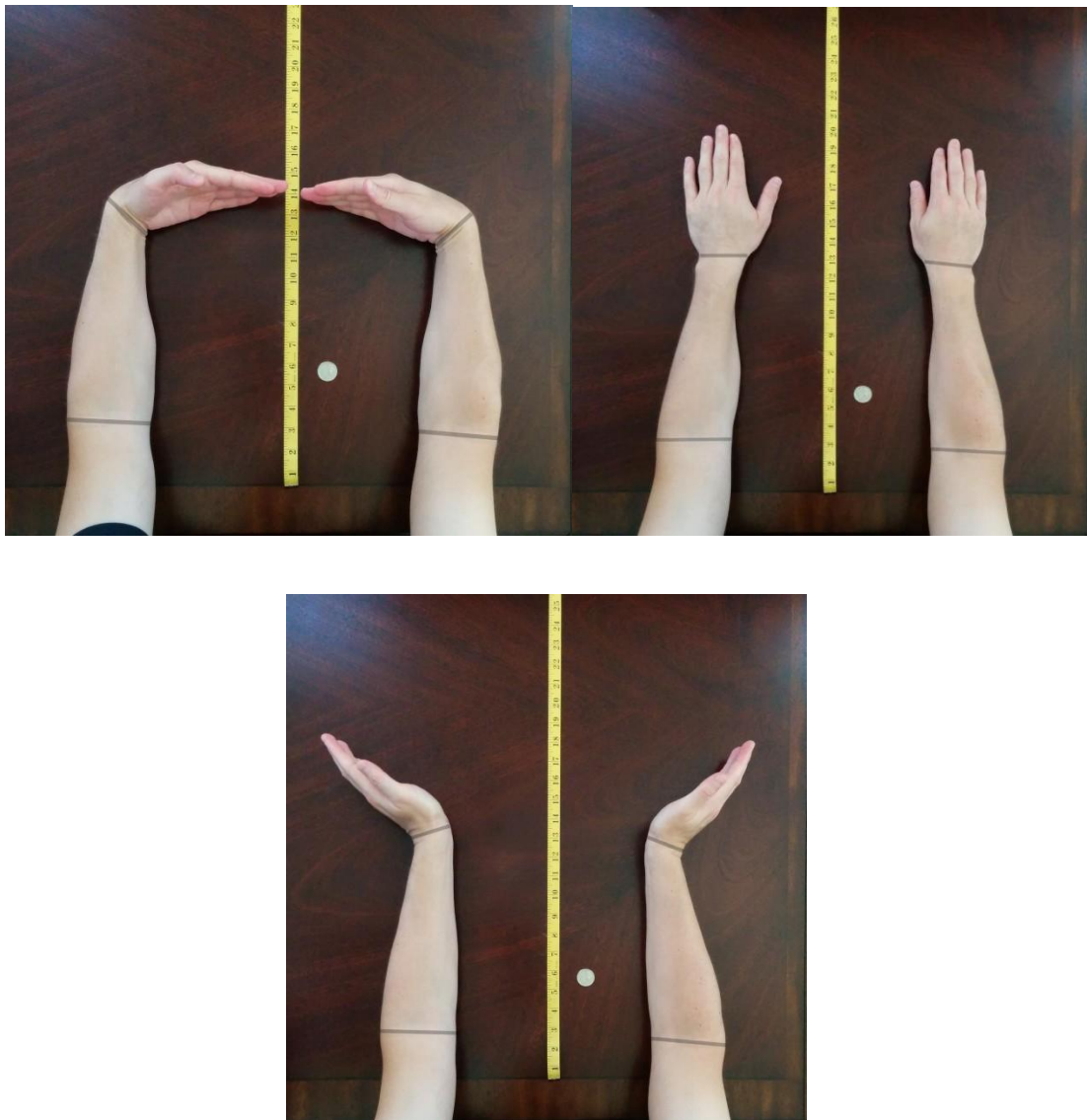
Στην κοινότητα του e-NABLE, υπάρχουν αναλυτικές οδηγίες απόκτησης των μετρήσεων, οι οποίες καθοδηγούν τον εθελοντή για την ακριβή διαστασιολόγηση αλλά και για την σωστή λήψη περαιτέρω φωτογραφιών, οι οποίες βοηθούν και σε επόμενο στάδιο. Αρχικά, για την κατασκευή συσκευής παλάμης προτείνονται τρεις μετρήσεις ενώ για συσκευή χεριού προτείνονται επτά. Παρατίθενται φωτογραφίες οι οποίες υποδεικνύουν τις μετρήσεις που απαιτούνται να γίνουν σε κάθε περίπτωση. Σύμφωνα με τις φωτογραφίες αυτές, γίνονται οι μετρήσεις είτε διαμέτρου είτε μήκους με τη βοήθεια εύκαμπτης μετρίτικης ταινίας οι οποίες καταγράφονται.



Εικόνα 3.6: Ακριβής διαστασιολόγηση (Πηγή: e-NABLE Greece)

Στη συνέχεια γίνεται η λήψη συγκεκριμένων φωτογραφιών, πολύ σημαντικών και σε επόμενο στάδιο της διαδικασίας. Πιο συγκεκριμένα, ζητείται από τον παραλήπτη η

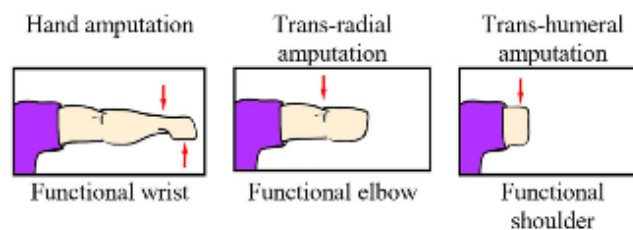
τοποθέτηση τόσο του καλού όσο και του υπολειπόμενου άκρου σε ευθεία επιφάνεια. Στο ενδιάμεσο των δύο άκρων και παράλληλα σε αυτά τοποθετείται ένας χάρακας ως αναφορά κλίμακας, ενώ οι φωτογραφίες απαιτείται να περιλαμβάνουν ολόκληρο το άκρο από τον αγκώνα, σε οπτική γωνία ακριβώς πάνω από τα άκρα. Τέλος, ζητούνται τρεις διαφορετικές τοποθετήσεις των άκρων για πλήρη αποτύπωση της ανατομίας.



Εικόνα 3.7: Σωστή λήψη φωτογραφιών (Πηγή: e-NABLE Greece)

3.2.2 Επιλογή και Κατασκευή υπό Κλίμακα Διαθέσιμου Σχεδίου

Σημαντικό βήμα για την εν λόγω διαδικασία αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου προσθετικού μέλους άνω άκρου από τα προτεινόμενα σχέδια, ανάλογα με τις διαφορετικές ανάγκες και συνθήκες που παρουσιάζει ο εκάστοτε παραλήπτης. Τα σχέδια προσθετικών μελών άνω άκρου στην βάση δεδομένων του e-NABLE, αναφέρονται κατά βάση σε δέκτες που έχουν είτε λειτουργικό καρπό είτε λειτουργικό αγκώνα.



Εικόνα 3.8: Διαφορετικοί βαθμοί λειτουργικότητας (Πηγή: <https://hub.e-nable.org/s/e-nable-devices/wiki/page/view?title=Which+Design%3F>)

Τα περισσότερα και πλήρως ανεπτυγμένα σχέδια, αφορούν σε παραλήπτες με επαρκή και λειτουργικό καρπό ο οποίος είναι σε θέση να λυγίσει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση σε κλίση τουλάχιστον 30 μοιρών. Ακόμα, για τα συγκεκριμένα σχέδια, απαιτείται μέρος της παλάμης ή ολόκληρη η παλάμη προκειμένου να λειτουργήσει σωστά η συσκευή. Συγκεκριμένα, με κύρτωση του καρπού και της παλάμης, μεταφέρεται η απαραίτητη δύναμη στα δάχτυλα της συσκευής τα οποία με αυτό τον τρόπο συσπειρώνονται. Τέτοια σχέδια είναι τα Phoenix v2 Hand, Unlimbited Phoenix Hand και Osprey Hand.



Εικόνα 3.9: Phoenix Hand (Πηγή: e-NABLE Greece). **Εικόνα 3.10:** Osprey Hand (Πηγή: e-NABLE Greece)

Λιγότερα είναι τα σχέδια που μπορούν να βοηθήσουν παραλήπτες των οποίων η αναπηρία ξεκινάει από τον αγκώνα. Αναφορικά με αυτές τις συσκευές, απαιτείται η ύπαρξη λειτουργικού αγκώνα, αλλά και μέρους ή ολόκληρου του πήχης. Αντίστοιχα με τα σχέδια καρπού, και σε αυτή την περίπτωση, η λειτουργικότητα της συσκευής στηρίζεται στην κίνηση που παράγεται από τον αγκώνα. Τέτοια συσκευή είναι η Unlimbited Arm v2.1



Εικόνα 3.11: Unlimbited Arm v2.1 (Πηγή: e-NABLE Greece)

Τη δεδομένη χρονική στιγμή, στις βιβλιοθήκες της e-NABLE, δεν έχουν διαμορφωθεί ακόμα σχέδια για προσθετικά μέλη ατόμων με αναπηρία πάνω από τον αγκώνα. Ωστόσο, προτείνονται μερικές επιλογές από διαφορετικές κοινότητες που προσφέρουν ανοιχτές βάσεις δεδομένων μυοηλεκτρικών άκρων προς εκτύπωση.



Εικόνα 3.12: Προσθετικά μέλη άνω άκρου που περιέχονται στην βάση δεδομένων του e-Nable (Πηγή: e-NABLE Greece)

Ένα τελευταίο βήμα πριν την έναρξη κατασκευής της συσκευής αποτελεί μία αναγκαία επεξεργασία του σχεδίου. Συγκεκριμένα, σε ορισμένες περιπτώσεις, ανάλογα με τις ανάγκες του παραλήπτη, μπορεί να χρειαστεί κάποια τροποποίηση του σχεδίου ή ακόμα και επανασχεδιάσή του. Ωστόσο, στην πλειοψηφία των παραληπτών, απαιτείται κατασκευή υπό κλίμακα της συσκευής, το λεγόμενο *scaling*, ώστε απλά να γίνει μεγέθυνση ή σμίκρυνση του δοσμένου σχεδίου προκειμένου να ταιριάζει στην ανατομία του δέκτη. Ακόμα, προσφέρεται η επιλογή αριστερού ή δεξιού άκρου.

Σε ότι αφορά στο *scaling*, παρέχεται και σε αυτή την περίπτωση από την κοινότητα του e-NABLE ένα καθοδηγητικό αρχείο excel. Το μόνο που απαιτείται από τον εθελοντή είναι η τοποθέτηση κάποιων βασικών μετρήσεων. Πιο αναλυτικά, στο πεδίο “Μετρήσεις Παραλήπτη” (“Recipient’s Measurements”) τοποθετείται το πλάτος και το μήκος του άκρου (“Width of Hand” και “Length of Hand” αντίστοιχα). Στη συνέχεια, ανάλογα με τη συσκευή προς κατασκευή, βρίσκεται το *scaling* που απαιτείται να γίνει το οποίο βασίζεται σε έναν δείκτη “Confidence”. Επιλέγεται δηλαδή το *scaling* του οποίου ο δείκτης “Confidence” βρίσκεται πιο κοντά στο 100%.

Στο παρακάτω παράδειγμα, για Recipient’s Measurements, Width of Hand 70mm και Length of Hand 153mm, επιλέγεται *scaling* 110%, εφόσον ο αντίστοιχος δείκτης Confidence είναι 98.5%. Αξίζει να σημειωθεί πως, με την τοποθέτηση των μετρήσεων, γίνονται αυτομάτως οι αλλαγές στα άλλα πεδία μέσω συναρτήσεων.

Recipients Measurements	
Width of Hand	Length of Hand
70	153

Phoenix Sizing guide (mm)														
Size	100 %	105 %	110 %	115 %	120 %	125 %	130 %	135 %	140 %	145 %	150 %	155 %	160 %	165 %
Width of Hand	-5	-2	2	5	8	11	15	18	21	24	28	31	34	37
Length of Hand	-18	-11	-5	2	9	16	23	29	36	43	50	56	63	70
Confidence(%)	88.5	93.5	98.5	96.5	91.5	86.5	81.5	76.5	71.5	66.5	61.5	56.5	51.5	46.5

Πίνακας 3.1

3.2.3 Κατασκευή Συσκευής

Με την έναρξη της κατασκευαστικής διαδικασίας της συσκευής, ολοκληρώνεται το τελευταίο στάδιο παραγωγής, πριν την παράδοση της συσκευής στον παραλήπτη. Με βάση το σχέδιο που έχει επιλεγεί, ο εθελοντής εκτυπώνει τρισδιάστατα τα διάφορα εξαρτήματα με σκοπό την βέλτιστη εκτύπωση και την συναρμολόγησή τους.

Τα εξαρτήματα εκτυπώνονται σε κατάλληλο υλικό (PLA, ABS, PETG, Flexible) με ρύθμιση των ζητούμενων παραμέτρων στις προτεινόμενες του προμηθευτή. Ωστόσο, πολλά από τα εξαρτήματα ίσως χρειαστούν δοκιμές προκειμένου να παραχθεί το βέλτιστο τελικό

αποτέλεσμα. Συνίστανται καλές ποιότητες επιφανειών τόσο εσωτερικά όσο και εξωτερικά, σωστή τοποθέτηση του εξαρτήματος στη βάση του εκτυπωτή (bed) και δοκιμές στις ταχύτητες και θερμοκρασίες εκτύπωσης προκειμένου να αποφευχθούν αστοχίες.

Ο εθελοντής συνεχίζει με την θερμοδιαμόρφωση ορισμένων εξαρτημάτων και με την συναρμολόγηση αυτών. Η συναρμολόγηση γίνεται με βάση τις αναλυτικές οδηγίες που παρέχονται από τη βάση δεδομένων του e-NABLE. Συγκεντρώνονται τα απαραίτητα υλικά και εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία και, οπτικοακουστικά μέσα και κείμενα, καθοδηγούν τον εθελοντή βήμα προς βήμα για την σωστή εκτέλεση της συναρμολόγησης.

Όταν η συναρμολόγηση είναι έτοιμη, απαιτείται μία επιπλέον συνάντηση με τον παραλήπτη για δοκιμή της συσκευής. Εφόσον κριθεί αναγκαίο, το προσθετικό μέλος δέχεται μία επιπλέον επεξεργασία ή επανασχεδίαση. Κατασκευάζεται εκ νέου η συσκευή μετά τις αλλαγές αυτές και επαναδοκιμάζεται από τον παραλήπτη. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται όσες φορές χρειαστεί προκειμένου το αποτέλεσμα να είναι βέλτιστο, χρηστικό, άνετο και λειτουργικό για τον δέκτη.

Η διαδικασία ολοκληρώνεται με τον έλεγχο της συναρμολογημένης πλέον κατασκευής. Αρχικά, ελέγχονται οι επιφάνειες προκειμένου να είναι λείες και επίπεδες. Ακόμα, τα εξαρτήματα μεταξύ τους απαιτείται να εφαρμόζουν σωστά, είτε να σφίγγουν επαρκώς είτε να επιτρέπουν μια χαλαρή κίνηση, ανάλογα το εξάρτημα. Τέλος, πρέπει να ελεγχθεί η σωστή εκτέλεση ολοκληρωμένης κίνησης του χεριού και η λειτουργικότητά του.

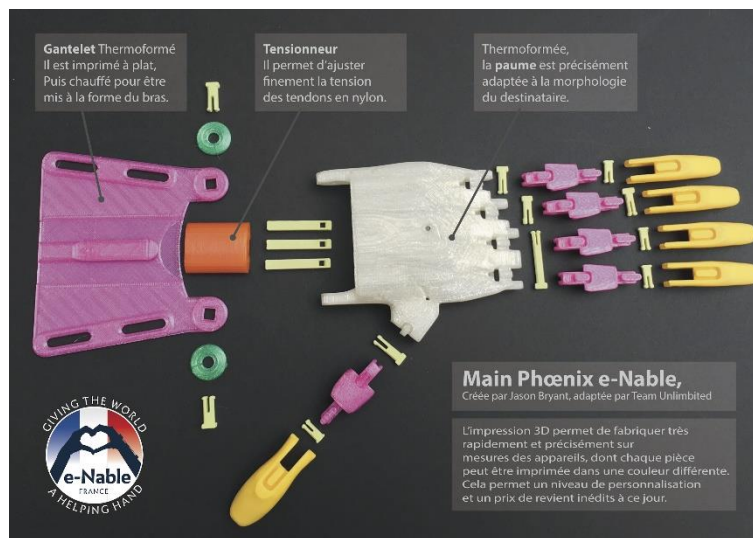
Κεφάλαιο 4: Διαδικασία Κατασκευής Phoenix Hand

Ένα αρκετά διαδεδομένο σχέδιο στην ανοιχτή βάση δεδομένων του e-NABLE αποτελεί το Unlimbited Phoenix Hand, με έτοιμο STL αρχείο, οπτικοακουστικά μέσα οδηγιών και ανεπίσημες εκδόσεις CAD αρχείων. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρεται στην ιστοσελίδα που περιλαμβάνει τις βιβλιοθήκες σχεδίων, το εν λόγω προσθετικό άκρο αποτελεί την πιο εύκολη έκδοση σε ότι αφορά στη σχεδίαση και συναρμολόγηση ενώ ταυτόχρονα παρέχει λειτουργικότητα και άνεση.

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε το εν λόγω σχέδιο προς κατασκευή. Για την εκτύπωση, χρησιμοποιήθηκε ο τρισδιάστατος εκτυπωτής “Crealty Ender v2”, ενώ για την ρύθμιση και επεξεργασία των εκτυπώσεων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Slicer, Creality Slicer 4.2, Ultimate Cura 4.8.0 και PrusaSlicer 2.3.0. Ακόμα, το υλικό κατασκευής ήταν PLA. Αξίζει να αναφερθεί πως το PLA, Polyactic Acid ή Πολυγαλακτικό Οξύ, είναι ένας βιοδιασπώμενος θερμοπλαστικός αλειφατικός πολυεστέρας ο οποίος προέρχεται από ανανεώσιμα ακατέργαστα υλικά όπως άμυλο καλαμποκιού ή φλούδες. Εκτός διαφοροποιήσεων οι οποίες θα αναφερθούν στη συνέχεια, οι βασικές παράμετροι ορίστηκαν ως οι προτεινόμενες. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία στο ακροφύσιο του εκτυπωτή (nozzle temperature) ορίστηκε στους 200°C ενώ η θερμοκρασία στη βάση του (bed temperature) στους 90°C.

4.1 Εκτύπωση Εξαρτημάτων

Ένα Phoenix Hand αποτελείται από αρκετά ξεχωριστά εξαρτήματα τόσο από αυτά που αντιπροσωπεύουν τα μέρη ενός κανονικού χεριού (για παράδειγμα την παλάμη και τα δάχτυλα) όσο και αυτά που αντικαθιστούν τις αρθρώσεις (πινέζες και καρφίτσες).

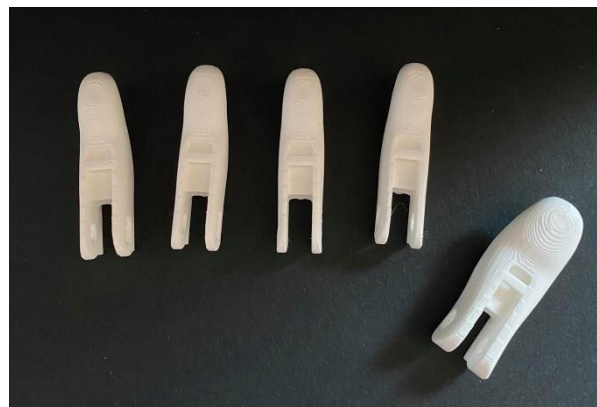
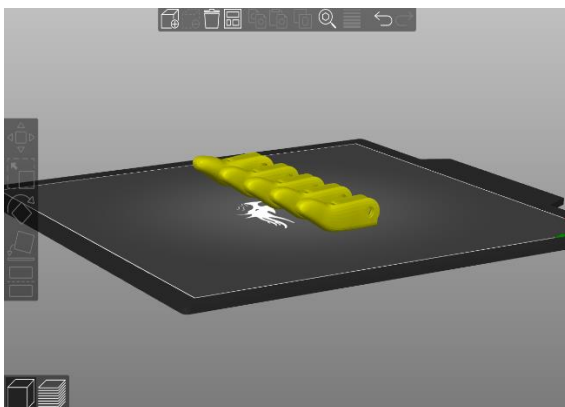


Εικόνα 4.1: Ξεχωριστά εξαρτήματα που συγκροτούν ένα Phoenix Hand (Πηγή: e-NABLE Greece)

4.1.1 Δάχτυλα

- Ακροδάχτυλα - Fingertip/ Thumbtip

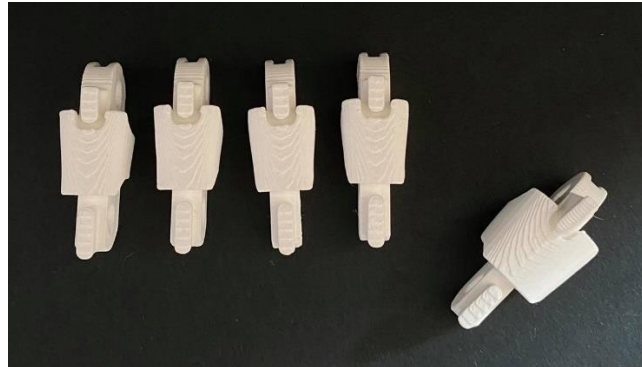
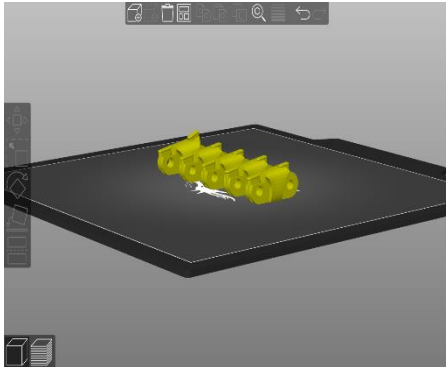
Από τα ακροδάχτυλα, διαφέρει σε μέγεθος μόνο αυτό του αντίχειρα, ενώ ο δείκτης, ο μέσος, ο παράμεσος και ο μικρός είναι ίδια. Τοποθετήθηκαν στο bed του εκτυπωτή ξαπλωτά, χωρίς support.



Εικόνα 4.2: Τοποθέτηση ακροδάχτυλων στο bed. **Εικόνα 4.3:** Τελική εκτύπωση ακροδάχτυλων

- Φάλαγγες Δαχτύλων - Proximal Finger/ Proximal Thumb

Ομοίως, διαφορά παρουσιάζει η φάλαγγα του αντίχειρα ενώ, και σε αυτή την περίπτωση, τοποθετήθηκε η επίπεδη πλευρά των συγκεκριμένων εξαρτημάτων προς το bed και δεν χρειάστηκε support για τις σπές.

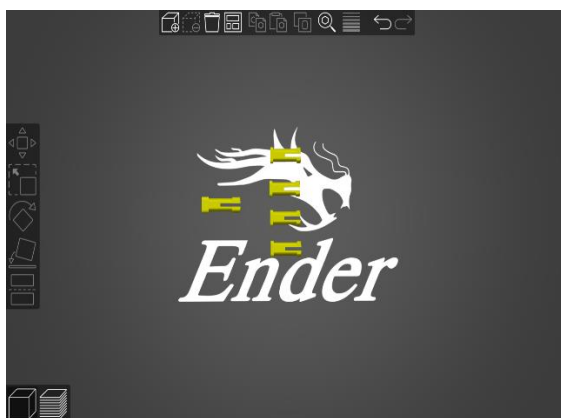


Εικόνα 4.4: Τοποθέτηση φαλάγγων στο bed. **Εικόνα 4.5:** Τελική εκτύπωση φαλάγγων

4.1.2 Pins & Caps

Σε κάθε μία από τις παρακάτω περιπτώσεις, τόσο τα pins όσο και τα caps, τοποθετήθηκαν στο bed σε ξαπλωτή θέση, χωρίς τη χρήση support. Μεταξύ τους, παρουσιάζουν μικρές διαφορές οι οποίες περιορίζονται σε διαφορές μεγέθους, είτε σε μήκος είτε σε πάχος, ανάλογα με τη χρήση τους.

- Fingertip Pin/ Thumbtip Pin



Εικόνα 4.6: Τοποθέτηση Fingertip Pin και Thumbtip Pin στο bed. **Εικόνα 4.7:** Τελική εκτύπωση Fingertip Pin και Thumbtip Pin αντίστοιχα

- Knucle Pin Long/ Knucle Pin Short/ Thumb Knucle Pin



Εικόνα 4.8: Τοποθέτηση Knucle Pin Long, Knucle Pin Short και Thumb Knucle Pin στο bed. **Εικόνα 4.9:** Τελική εκτύπωση Knucle Pin Short και Knucle Pin Long. **Εικόνα 4.10:** Τελική εκτύπωση Thumb Knucle Pin

- Wrist Pins/ Wrist Caps

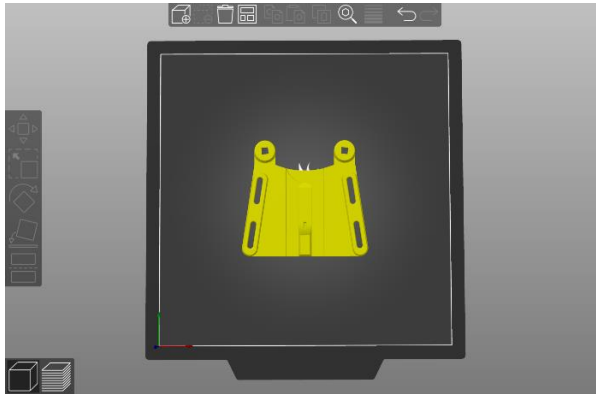


Εικόνα 4.11: Τοποθέτηση Wrist Pin και Wrist Cap στο bed. **Εικόνα 4.12:** Τελική εκτύπωση Wrist Pin και Wrist Cap

- Rounded Tensioner Pin

- Γαντάκι - Thermo Gauntlet

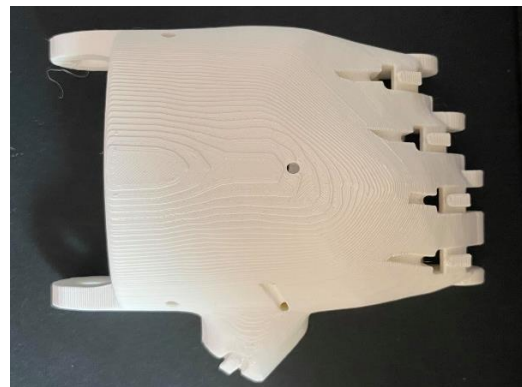
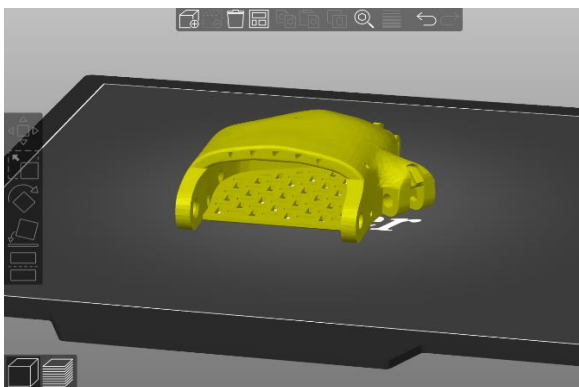
Το επόμενο εξάρτημα, τοποθετήθηκε στο bed ξαπλωμένο, με την επίπεδη μεγάλη του επιφάνεια να ακουμπάει σε αυτό.



Εικόνα 4.17: Τοποθέτηση του Gauntlet στο bed. **Εικόνα 4.18:** Τελική εκτύπωση Gauntlet

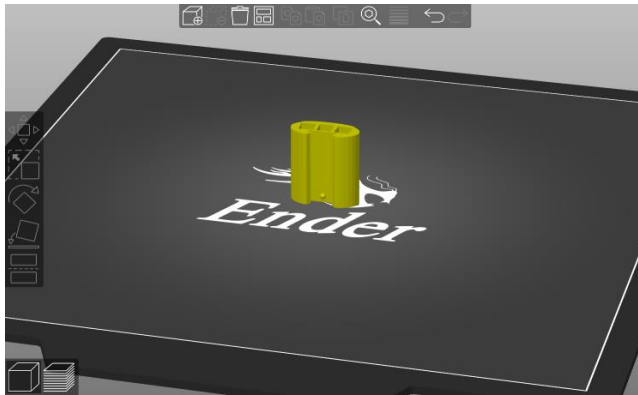
- Παλάμη - Thermo Palm

Για το εν λόγω εξάρτημα έγιναν αρκετές δοκιμές. Προκειμένου να μην δημιουργηθεί τρέξιμο στην πάνω εσωτερική επιφάνεια της παλάμης, θεωρητικά χρειάζεται support. Ωστόσο, καθώς στη βάση του το εξάρτημα έχει αρκετές οπές, το support μετά την εκτύπωση είναι δύσκολο να αφαιρεθεί από παντού, με αποτέλεσμα να παραμείνει support σε ορισμένα σημεία. Εν τέλει, επιλέχθηκε η επτύπωσή του χωρίς support, με σκοπό την επιδιόρθωση τυχόν αστοχιών.



Εικόνα 4.19: Τοποθέτηση του Thermo Palm στο bed. **Εικόνα 4.20:** Τελική εκτύπωση Thermo Palm

- Εντατήρας - Tensioner Box



Εικόνα 4.21: Τοποθέτηση του Tensioner Box στο bed. **Εικόνα 4.22:** Τελική εκτύπωση Tensioner Box

4.2 Συναρμολόγηση Συσκευής

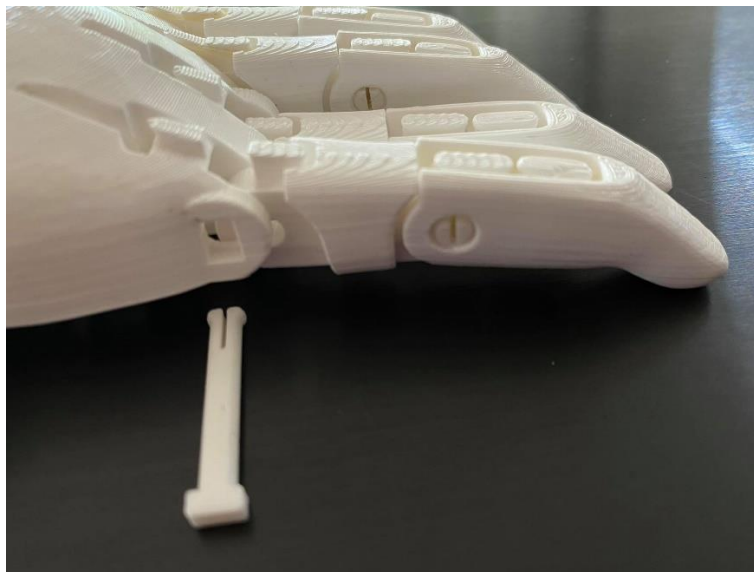
Μετά την εκτύπωση των ξεχωριστών εξαρτημάτων, συνεχίζεται η διαδικασία κατασκευής της βοηθητικής συσκευής με την συναρμολόγηση των μελών. Απαιτούνται ορισμένα ακόμα υλικά για τη συναρμολόγηση πέρα των όσων εκτυπώθηκαν. Συγκεκριμένα, χρειάζονται τρεις βίδες M3x30mm, μικρά λαστιχάκια, πετονιά, κόλλα και κάποια βασικά εργαλεία όπως λίμα, κατσαβίδι και ψαλίδι.

Αρχικά, αφού συλλέχθηκαν και τα επιπλέον υλικά, ομαδοποιήθηκαν τα εξαρτήματα και κυρίως τα εκτυπωμένα pins και δρομολογήθηκαν οι μικρότερες συναρμολογήσεις. Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο βήμα, συνομολογήθηκαν τα δάχτυλα, τόσο τα τέσσερα ίδια, ο δείκτης, ο μέσος, ο παράμεσος και ο μικρός, όσο και ο αντίχειρας, με μικρές διαφοροποιήσεις.



Εικόνα 4.23: Συναρμολόγηση δαχτύλων

Αφού συναρμολογηθούν τα δάχτυλα, επόμενο βήμα είναι να συνδεθούν με την παλάμη. Τα δύο πρώτα δάχτυλα, ο δείκτης και ο μέσος, δέθηκαν με κοινό pin, το Knucle Pin Long, πάνω στην παλάμη. Αντίστοιχα, ο παράμεσος κι ο μικρός συνδέθηκαν με την παλάμη με τα δύο Knucle Pin Short ενώ ο αντίχειρας με το Thumb Knucle Pin.



Εικόνα 4.24: Συναρμολόγηση δείκτη και μέσου στην παλάμη με Knucle Pin Long

Στη συνέχεια της συναρμολόγησης, πρέπει να συνδεθεί το γαντάκι - Gauntlet με την παλάμη. Πριν την σύνδεση, προηγείται η θερμοδιαμόρφωση του Gauntlet, προκειμένου να πάρει το σχήμα του πύχην του παραλήπτη. Αξίζει να αναφερθεί πως, με την διαδικασία της θερμοδιαμόρφωσης, μία λεπτή στρώση πλαστικού θερμαίνεται προκειμένου να μπορεί να

δεχτεί επεξεργασία. Επομένως, σε αυτή την περίπτωση, ζεσταίνεται νερό, σε θερμοκρασία πιο κάτω από σημείο βρασμού του, γύρω στους 60°C. Το Gauntlet εισάγεται στο νερό για μερικά δευτερόλεπτα, 15-20 δευτερόλεπτα, κι αφού αφαιρεθεί από αυτό τοποθετείται στη μήτρα της οποίας το σχήμα απαιτείται να πάρει. Στην προκειμένη περίπτωση, παίρνει το σχήμα του Jig.

Εφόσον θερμοφαιμορφωθεί το γαντάκι, συνδέεται με την παλάμη. Χρησιμοποιούνται τα wrist pins και caps ώστε να κουμπώσει το ένα εξάρτημα στο άλλο. Συγκεκριμένα, το Gauntlet προσαρμόζεται εσωτερικά της παλάμης και κουμπώνεται με τα καρφιά - Wrist Pins, ενώ από την έξω πλευρά της παλάμης τοποθετούνται τα καπάκια - Wrist Caps.



Εικόνα 4.25: Σύνδεση του Gauntlet με την παλάμη

Επόμενο βήμα, αποτελεί η συναρμολόγηση του εντατήρα. Τοποθετούνται μέσα στον εντατήρα τα αντίστοιχα καρφιά - Rounded Tensioner Pins και βιδώνονται σε αυτόν με συγκεκριμένες βίδες M3x30mm. Είναι σημαντικό να μην βιδωθούν μέχρι τέλος προκειμένου να δεθεί η πετονιά σε επόμενο βήμα και να καταφέρει να τεντώσει. Μόλις ολοκληρωθεί κι αυτό, το tensioner box τοποθετείται στο gauntlet.



Εικόνα 4.26: Συναρμολόγηση εντατήρα - tensioner box



Εικόνα 4.27: Τοποθέτηση tensioner box στο gauntlet

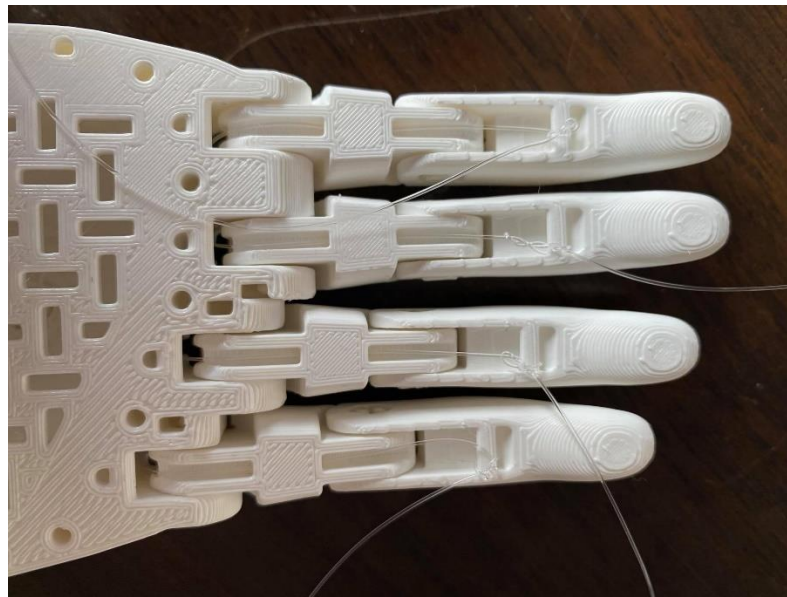
Συνεχίζοντας, τοποθετούνται τα λαστιχάκια τα οποία στην ουσία αντικαθιστούν τις αρθρώσεις των δακτύλων. Επομένως, τοποθετούνται τόσο μεταξύ των φαλάγγων όσο και μεταξύ των δακτύλων και της παλάμης. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η επαναφορά των δακτύλων σε ευθεία θέση εφόσον λυγίσουν.



Εικόνα 4.28: Τοποθέτηση λάστιχων στις φάλαγγες των δακτύλων

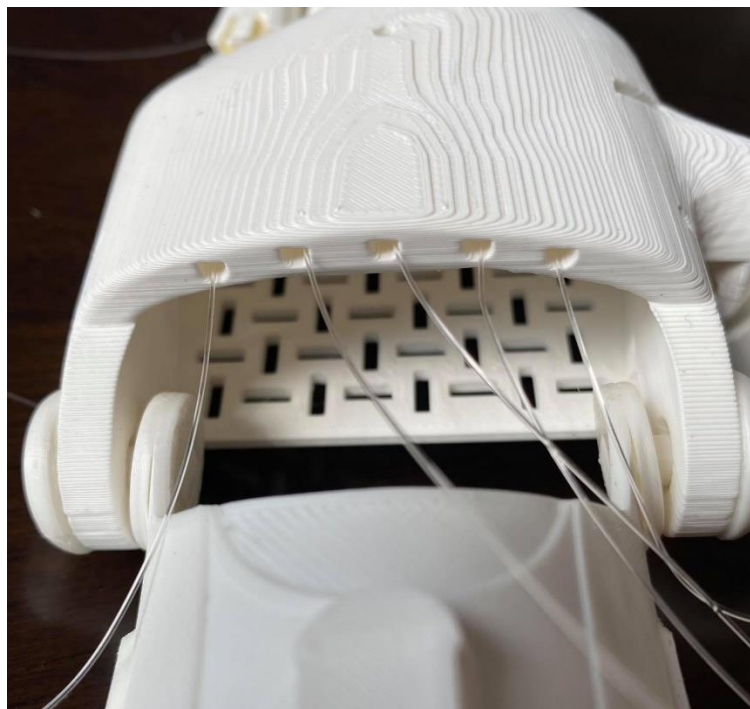
Τελευταίο βήμα της συναρμολόγησης αποτελεί η τοποθέτηση της πετονιάς. Η πετονιά ξεκινάει από την άκρη του δακτύλου, το διατρέχει, εισέρχεται στην παλάμη, συνεχίζει κατά μήκος της και δένεται στο αντίστοιχο rounded tensioner pin.

Αναλυτικά, η πετονιά δένεται με κόμπο και ασφαρίζεται με κόλλα στην άκρη του δακτύλου και ακολουθεί τη διαδρομή κατα μήκος αυτού.



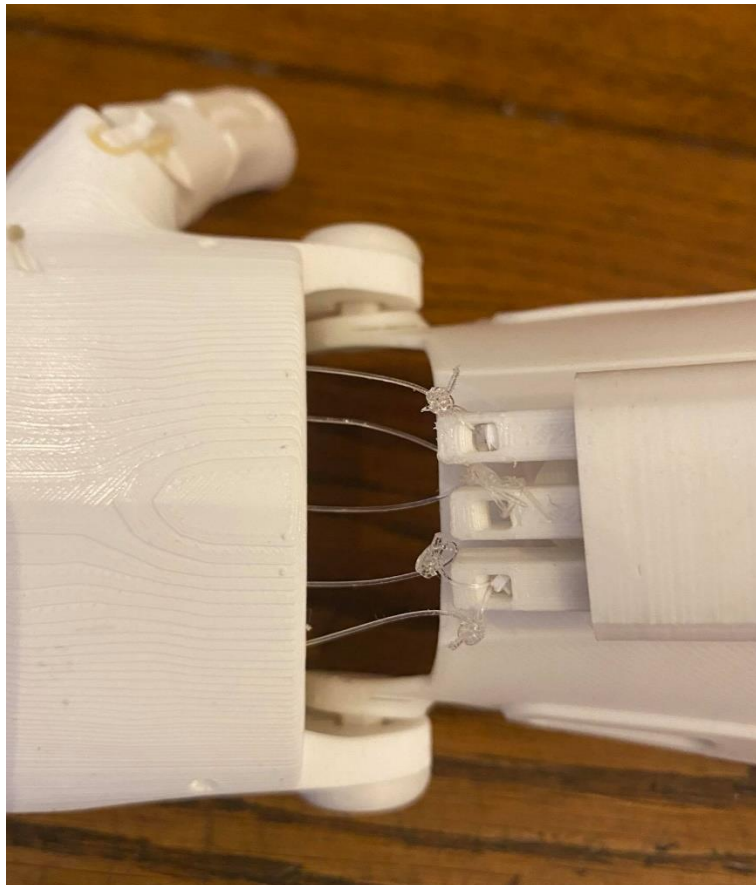
Εικόνα 4.29: Διαδρομή πετονιάς στα δάχτυλα

Η πετονιά περνάει από την εξωτερική πλευρά της παλάμης και εισέρχεται εσωτερικά αυτής μέσω της τρύπας που υπάρχει στο πάνω μέρος της, βγαίνοντας στο κάτω μέρος της παλάμης από τις τρύπες σε εκείνο το σημείο.



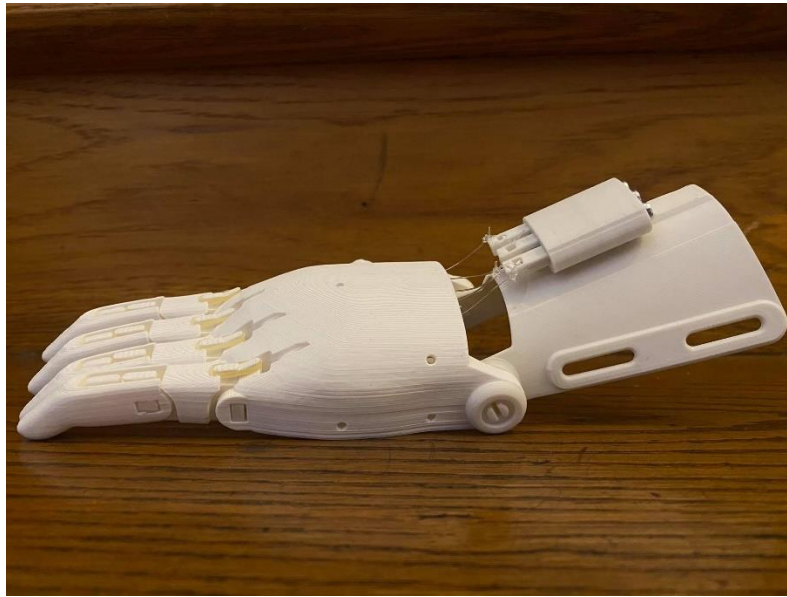
Εικόνα 4.30: Οπές από τις οποίες εξέρχεται η πετονιά

Τέλος, η πετονιά δένει στα rounded tensioner pins όπου επίσης ασφαλίζεται με κόλλα. Το πρώτο αντιστοιχεί στον tensioner του αντίχειρα, το μεσαίο στον tensioner του δείκτη και του μέσου και το τελευταίο σε αυτόν του παράμεσου και του μικρού. Είναι πολύ σημαντικό να γίνει το δέσιμο της πετονιάς στα rounded tensioner pins, όσο το gauntlet βρίσκεται υπό γωνία 30 μοιρών με την παλάμη. Αυτό απαιτείται προκειμένου για να επιτευχθεί καλύτερο τέντωμα.



Εικόνα 4.31: Δέσιμο πετονιάς στα rounded tensioner pins

Αφού ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση, πριν τις απαιτούμενες δοκιμές με τον παραλήπτη, οφείλει να γίνει ένας εκτενής έλεγχος της συσκευής. Αρχικά, ελέγχεται η συναρμολόγηση, έτσι ώστε κάθε εξάρτημα να βρίσκεται στη σωστή θέση, τα pins να μην είναι χαλαρά ώστε να βγαίνουν εύκολα ή σφιχτά ώστε να περιορίζουν την κίνηση και τα εξαρτήματα μεταξύ τους να συνδέονται σωστά. Ακόμα, σε ότι αφορά στα αποτελέσματα της εκτύπωσης, οι επιφάνειες των εξαρτημάτων πρέπει να είναι λείες και επίπεδες, ειδικά αυτές των εσωτερικών μερών που έρχονται σε επαφή με το δέρμα του δέκτη. Σημαντικότερο ίσως από όλα, αποτελεί ο έλεγχος της λειτουργικότητας του προσθετικού μέλους ώστε η ζητούμενη κίνηση να εκτελείται σωστά και ολοκληρωμένα. Πιο συγκεκριμένα, καθώς η άρθρωση λυγίζει, τα δάχτυλα πρέπει συγκλίνουν όλα μαζί προς το κέντρο και κλείνουν, ικανά να κρατήσουν ένα ελαφρύ και τραχύ αντικείμενο.



Εικόνα 4.32: Τελική συναρμολόγηση Phoenix Hand

4.3 Αστοχίες & Εμπόδια Διαδικασίας

Όπως ήταν αναμενόμενο, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, πολλά προβλήματα αλλά και αρκετές αστοχίες και λάθη που απαιτούσαν επίλυση έκαναν την εμφάνισή τους. Δημιουργήθηκαν αυτά τα εμπόδια τόσο κατά την εκτέλεση των εκτυπώσεων όσο και κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης.

4.3.1 Κατά τη Διάρκεια των Εκτυπώσεων

Ένα καλό αποτέλεσμα τρισδιάστατης εκτύπωσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, καθένας από τους οποίους πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να ρυθμίζεται ανάλογα με το μοντέλο προς εκτύπωση. Συγκεκριμένα, κάθε μοντέλο, ανάλογα με το μέγεθος, τις κλίσεις, τις ανωμαλίες του αλλά και τη ζητούμενη ποιότητα επιφάνειας, απαιτεί διαφορετική ρύθμιση των παραμέτρων όπως των ταχυτήτων εκτύπωσης, των θερμοκρασιών, την ποσότητα εναποθέτοντος υλικού ή την χρήση στηριγμάτων.

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία των εκτυπώσεων, είναι επιτακτική η ανάγκη ρύθμισης του bed, έτσι ώστε κάθε γωνία του να βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο και να έχει δημιουργηθεί μια ευθεία, παράλληλη επιφάνεια. Η εν λόγω διαδικασία ονομάζεται bed leveling και είναι απαραίτητη προκειμένου τα αντικείμενα προς εκτύπωση να παράγονται επίπεδα, σταθερά και χωρίς κλίση.

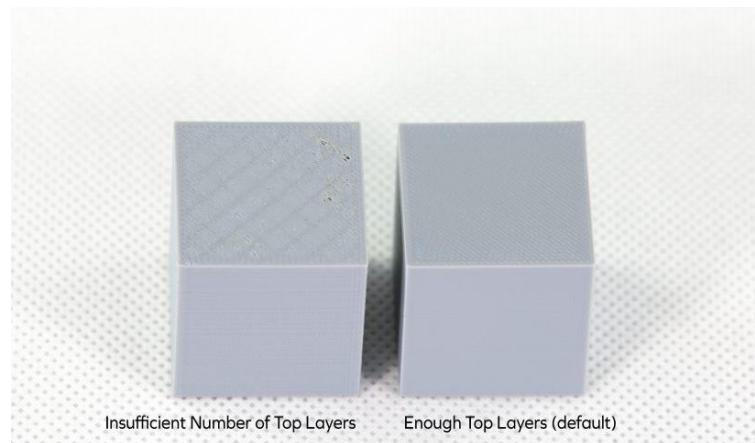
Συνεχίζοντας, ένα πρόβλημα που δημιουργείται σχεδόν σε κάθε εκτύπωση είναι αυτό της αποκόλλησης της πρώτης στρώσης υλικού. Αναλυτικά, καθώς η πρώτη στρώση περιχύνεται, οι εκτυπώσεις πραγματοποιούνται σε μεγαλύτερες ταχύτητες από αυτές που πρέπει με αποτέλεσμα το νήμα να μην προλάβει να λιώσει επαρκώς ώστε να προσκολληθεί στο bed. Καθώς το ακροφύσιο εκτελεί τη συνέχεια της κίνησής του, η μη σταθεροποιημένη πρώτη στρώση δημιουργεί αστοχίες.

Αναλόγως, την διαδικασία δύναται να δυσχεραίνει εξίσου η εναπόθεση της τελευταίας στρώσης υλικού πάνω στο μοντέλο. Σε αυτή την περίπτωση, δεν προκαλείται αστοχία ικανή να καταστρέψει το εκτυπωμένο μοντέλο, ωστόσο επηρεάζεται η ποιότητα της τελικής επιφάνειας.

Τα προβλήματα αυτά μπορεί να εξαλειφθούν με συγκεκριμένες ρυθμίσεις των παραμέτρων εκτύπωσης, μέσω του Slicer που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα, δίνεται η δυνατότητα επεξεργασίας των παραμέτρων εκτύπωσης ξεχωριστά για τις θερμοκρασίες και ταχύτητες εκτύπωσης κατά τη διάρκεια της πρώτης και της τελευταίας στρώσης. Ακόμα, για την δημιουργία των συγκεκριμένων στρώσεων, μπορούν να επιλεγούν διαφορετικά ύψη και πλάτη γραμμών. Με αυτές τις ρυθμίσεις η εκτύπωση στα ενδιάμεσα στάδια θα γίνεται σε συγκεκριμένες βασικές ρυθμίσεις, με διαφορές μόνο κατά τη δημιουργία της πρώτης και τελευταίας στρώσης υλικού.

Επομένως, προκειμένου να επιτευχθεί καλό αποτέλεσμα σε αυτές τις επιφάνειες, προτείνεται αύξηση των θερμοκρασιών κατά 5-10°C τόσο στο ακροφύσιο όσο και στο bed αλλά και μείωση της ταχύτητας με την οποία περιχύνεται το υλικό. Συγκεκριμένα στην πρώτη στρώση, οι αυξημένες θερμοκρασίες με ταυτόχρονες μειωμένες ταχύτητες, δίνουν τη δυνατότητα στο νήμα, καθώς αυτό περιχύνεται, να λειώσει επαρκώς και να προσκολληθεί στο bed.

Με αντίστοιχο τρόπο προτείνονται συγκεκριμένες ρυθμίσεις κατά τη διάρκεια δημιουργίας της τελευταίας στρώσης. Οι ρυθμίσεις αυτές εξαρτώνται από τη ζητούμενη τελική ποιότητα επιφάνειας. Και σε αυτή την περίπτωση συνίσταται η μείωση της ταχύτητας εκτύπωσης αλλά και μείωση του ύψους των στρώσεων. Με αυτό τον τρόπο, η καλύτερη ενσωμάτωση της μίας στρώσης πάνω στην άλλη, έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη παραγόμενη επιφάνεια. Ακόμα, για την βέλτιστη τελική επιφάνεια, μεγάλη θα είναι η διαφορά αύξησης των τελευταίων στρώσεων η οποία θα δημιουργήσει μεγαλύτερο συνολικό πάχος της τελευταίας στρώσης. Έτσι, οποιαδήποτε κενά θα καλυφθούν και η επιφάνεια θα βελτιωθεί.



Εικόνα 4.33: Αύξηση των τελευταίων στρώσεων (Πηγή: <https://support.zortrax.com/top-layers/>)

Ωστόσο σε ότι αφορά στην τελική επιφάνεια, ορισμένα προβλήματα μπορούν να διορθωθούν και εκ των υστέρων. Συγκεκριμένα, αν προκληθούν τραχιές επιφάνειες, το υλικό μπορεί να λειανθεί είτε με λίμα είτε με γυαλόχαρτο. Στην διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παρούσα εργασία, δημιουργήθηκαν κάποιες επιφάνειες, είτε εσωτερικές είτε εξωτερικές, που έχρηζαν περιθώρια βελτίωσης και αποκαταστάθηκαν με αυτό τον τρόπο. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτέλεσαν τα δάχτυλα, των οποίων η τραχιά επιφάνεια δεν δημιούργησε κάποιο πρακτικό πρόβλημα στη συναρμολόγηση, ωστόσο διορθώθηκε για καθαρά αισθητικούς λόγους.



Εικόνα 4.34: Τραχιά επιφάνεια δακτύλου

Συνεχίζοντας, η κακή ποιότητα επιφάνειας μπορεί να προκληθεί και με άλλους τρόπους. Γενικά, κατά τη διαδικασία της εκτύπωσης, κάθε νέα στρώση υλικού απαιτεί την στήριξή της από την προηγούμενη στρώση. Επομένως, αν το μοντέλο προς εκτύπωση διαθέτει κάποια εξοχή ή εσοχή που δεν δέχεται στήριξη από κάτω, εμφανίζεται η ανάγκη πρόσθεσης ενός επιπλέον υλικού το οποίο θα πάρει τη θέση του στηρίγματος, τα Supports. Τα supports κατασκευάζονται κι αυτά κατά τη διάρκεια της εκτύπωσης και η δομή τους είναι τέτοια που καθιστά εύκολη την αφαίρεσή τους. Χωρίς την χρήση των support, εύκολα μπορούν να δημιουργηθούν αστοχίες όπως τρέξιμο υλικού και κακή ποιότητα εσωτερικής επιφάνειας.

Κατά τη διαδικασία εκτυπώσεων των εξαρτημάτων για την συναρμολόγηση του Phoenix Hand, συναντήθηκε εμπόδιο στην κατασκευή της παλάμης. Συγκεκριμένα, εφόσον το εν λόγω εξάρτημα διαθέτει εσοχή, υπό κανονικές συνθήκες, για να παραχθεί ένα καλό αποτέλεσμα θα έπρεπε να τοποθετηθούν support. Ωστόσο, διαθέτει αρκετές οπές, είτε εμφανείς είτε εσωτερικές, από τις οποίες η αφαίρεση του επιπλέον υλικού θα ήταν δύσκολη και ίσως και αδύνατη. Επομένως, το εξάρτημα αυτό τυπώθηκε χωρίς τη χρήση support και, όπως ήταν λογικό, δημιουργήθηκαν εσωτερικά τρεξίματα.



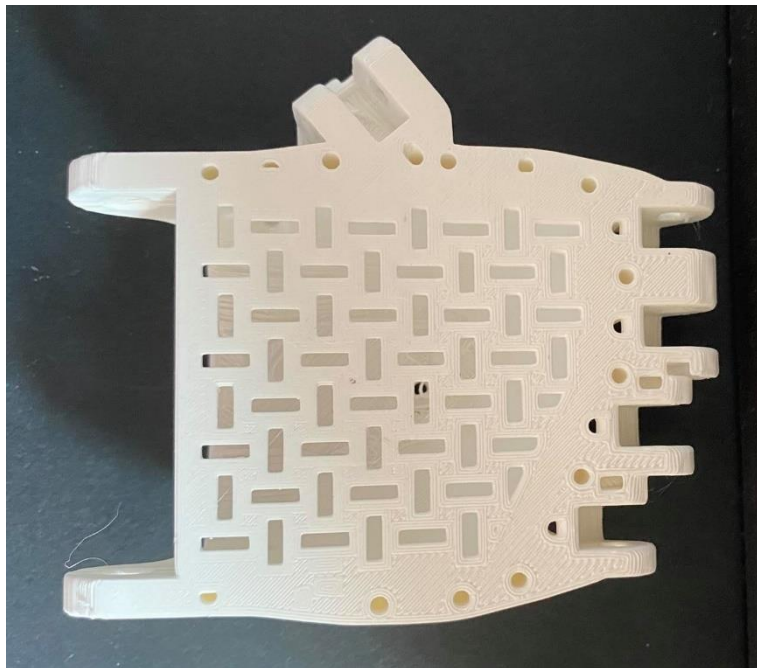
Εικόνα 4.35: Τρέξιμο υλικού στην εσωτερική πλευρά παλάμης

Η εν λόγω αστοχία δημιουργεί μεγάλο πρόβλημα καθώς το συγκεκριμένο σημείο έρχεται σε επαφή με το δέρμα του παραλήπτη. Επομένως ήταν επιτακτική ανάγκη να διορθωθεί με λιμάρισμα, τόσο με λίμα όσο και με γυαλόχαρτο. Για να μειωθεί ακόμα παραπάνω η τριβή με το δέρμα του δέκτη, συνιστάται επίσης η τοποθέτηση foam paper.

4.3.2 Κατά τη Διάρκεια της Συναρμολόγησης

Εφόσον εκτυπώθηκαν όλα τα εξαρτήματα με το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα και έγιναν κάποιες απαραίτητες διορθώσεις και έλεγχοι, ξεκίνησε η διαδικασία της συναρμολόγησης. Κατά τη διάρκειά της, προέκυψαν επόμενα εμπόδια που έχρηζαν συγκεκριμένης αντιμετώπισης.

Αρχικά, κάποια από τα δάχτυλα, κυρίως ο αντίχειρας, απαιτούσαν περαιτέρω λιμάρισμα στη φάλαγγα ώστε να δέσουν ομαλά με το ακροδάχτυλο και να μην περιορίζεται σε επόμενο βήμα η κίνησή του. Ακόμα, ορισμένα εξαρτήματα που διαθέτουν οπές ή εσοχές, είναι πιθανό να εγκλωβίσουν υλικό κατά την εκτύπωσή τους. Τέτοια εξαρτήματα ήταν η παλάμη καθώς διαθέτει πολλές οπές στη βάση της ή το *tensionner*. Το υλικό αυτό μπορεί να αφαιρεθεί με λίμα ή με πένσα.



Εικόνα 4.36: Υλικό εγκλωβισμένο στις οπές στη βάση της παλάμης



Εικόνα 4.37: Υλικό εγκλωβισμένο στις οπές του *tensionner*

Συνεχίζοντας, ένα ακόμα σημείο που απαιτεί ειδικό χειρισμό είναι αυτό της θερμοδιαμόρφωσης του Gauntlet. Η εν λόγω διεργασία, για την επιτυχία της απαιτεί σχετικά λεπτές στρώσεις πλαστικού το οποίο βυθίζεται σε νερό συγκεκριμένης θερμοκρασίας. Ωστόσο, αν και το γαντάκι αποτελείται από λεπτή στρώση πλαστικού, διαθέτει ένα εξόγκωμα στη μέση το οποίο δημιούργησε αστοχία. Συγκεκριμένα, με την αφαίρεση του εξαρτήματος από το θερμό νερό και την τοποθέτησή του στη μήτρα ώστε να πάρει το σχήμα της, το εξόγκωμα στη μέση υπέστη θραύση. Αυτό πιθανόν συνέβη διότι αυτό το πιο παχύ σημείο χρειαζόταν περισσότερη ώρα θέρμανσης ώστε να είναι πιο εύκαμπτο και να λυγίσει χωρίς να σπάσει.



Εικόνα 4.38: Θραύση σημείου κατά την θερμοδιαμόρφωση του *gauntlet*

Συνεχίζοντας, το επόμενο πρόβλημα συναντήθηκε κατά τη συναρμολόγηση των rounded tensioner στο tensioner. Συγκεκριμένα, με βίδες M3x30mm, βιδώθηκαν οι αντίστοιχες καρφίτσες στο tensioner. Ωστόσο, με το βίδωμα του κοχλία μέσα στα rounded tensioner, αυτά οδηγήθηκαν σε επιμήκης θραύση η οποία θα μπορούσε να αποφευχθεί με τη χρήση κοχλία με σπείρωμα μικρότερης διαμέτρου. Για τη συνέχεια της συναρμολόγησης, αυτή η αστοχία δεν προκαλεί μεγάλο πρόβλημα καθώς η θραύση της καρφίτσας έγινε παράλληλα, ενώ η πετονιά δένεται στην οπή που υπάρχει κατα μήκος της.



Εικόνα 4.39: Θραύση στα rounded tensioner

Τελευταίο εμπόδιο συναντήθηκε κατά την ένωση της πετονιάς. Η συγκεκριμένη διαδικασία δεν αποτελεί ένα δύσκολο βήμα, ωστόσο η ένωση πρέπει να γίνει ακολουθώντας τις σωστές διαδρομές, με τους κόμπους σφιχτά δεμένους και με την τάση στο απαιτούμενο σημείο. Αξίζει να αναφερθεί πως η πετονιά είναι ένα ελαστικό υλικό που μπορεί να ασκήσει την απαιτούμενη τάση, όμως είναι δύσκολα διαχειρίσιμη καθώς οι κόμπους εύκολα μπορούν να λυθούν. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εισαγωγή ισχυρής κόλλας ώστε να σταθεροποιηθούν οι κόμπους.

Κατά την ένωση της πετονιάς, το γαντάκι πρέπει να βρίσκεται υπό κλίση 30 μοιρών με την παλάμη, ώστε όταν ο καρπός λυγίσει να ασκηθεί περαιτέρω τάση στην πετονιά. Ακόμα, με το δέσιμο της πετονιάς στα rounded tensioner, αυτά πρέπει να μην έχουν βιδωθεί μέχρι το τελικό τους σημείο, ώστε αρχικά να εισχωρήσει με ευκολία η πετονιά αλλά και να τεντωθεί αυτή με το τελικό σφίξιμο των rounded tensioner.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

Τα προσθετικά μέλη άνω άκρου έχουν γνωρίσει μεγάλη εξέλιξη και έχουν κάνει πολλά βήματα προόδου από την εμφάνισή τους. Η ανάπτυξη των επιστημών, της ιατρικής, της μηχανολογίας και γενικά των τεχνολογιών, έχει προσφέρει πολύτιμη βοήθεια μεταξύ άλλων και στην αποκατάσταση αναπηριών. Ωστόσο, η σύγχρονη κατασκευή και χρήση των προσθετικών μελών, δεν έχει φτάσει σε απόλυτα επίπεδα αισθητικής, άνεσης και λειτουργικότητας.

Καθίσταται επομένως επιτακτική η ανάγκη ελαχιστοποίησης των μειονεκτημάτων που η εκάστοτε προσθετική συσκευή παρουσιάζει με ταυτόχρονη βελτιστοποίηση των θετικών τους. Σκοπός είναι η εύρεση κατασκευών οι οποίες θα μπορούν να συνδυάζουν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα ζητούμενα χαρακτηριστικά παρέχοντας στον παραλήπτη ένα ιδανικό αποτέλεσμα.

Οι άνθρωποι με αναπηρία άνω άκρου, είτε αυτή είναι επίκτητη είτε με την οποία γεννήθηκαν, στην πλειοψηφία τους, πρωταρχική αξία έχουν την εναρμόνισή τους στον κοινωνικό τους περίγυρο χωρίς να νιώθουν στιγματοποιημένοι και περιθωριοποιημένοι. Εν συνεχεία επιζητούν τη λειτουργικότητα της κατασκευής που θα αποκτήσουν με σκοπό να είναι παραγωγικοί και αυτοεξυπηρετούμενοι στην καθημερινότητά τους. Παράλληλα, είναι σημαντικό να αποκαταστήσουν το άκρο τους έχοντας το αίσθημα της άνεσης και της ευκολίας κινήσεων.

Εύκολα λοιπόν ανάγεται το συμπέρασμα ότι οι μελλοντικές μελέτες οφείλουν να επικεντρωθούν στην ανάπτυξη κατασκευών που θα συνδυάζουν τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά προκειμένου να καλύπτουν τον παραλήπτη ώστε όχι μόνο να καλύψει την αναπηρία του αλλά και να την αποκαταστήσει επαρκώς.

Συνεχίζοντας, είναι σημαντικό να αναφερθεί πως υπάρχει μεγάλη δραστηριοποίηση εθελοντισμού σε ότι αφορά σε κατασκευές και δωρεές προσθετικών μελών. Έχουν δημιουργηθεί πολλοί οργανισμοί με απώτερο σκοπό την παροχή βοήθειας και την αποκατάσταση της απώλειας άκρου. Οι οργανισμοί αυτοί, όπως οι προαναφερθέντες (e-NABLE, ICRC), εκτός του ότι έχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες κατασκευής προσθετικών μελών, είναι ανοιχτοί σε καινούργιους εθελοντές που έχουν σκοπό να συνεισφέρουν.

Για τον εν λόγω σκοπό, η τρισδιάστατη εκτύπωση δίνει την ευκαιρία παραγωγής προσθετικών μελών με γρήγορο, εξατομικευμένο και οικονομικό τρόπο. Αποτελεί μια τεχνολογία η οποία απαιτεί λίγη αρχική εμπειρία, συγκεκριμένη τεχνογνωσία και έναν βασικό

εξοπλισμό και πρώτες ύλες. Για το λόγο αυτό, είναι εύκολα προσβάσιμη στο ευρύ κοινό και σε ευαισθητοποιημένους ανθρώπους που έχουν σκοπό να συνεισφέρουν, καταβάλλοντας λίγη προσπάθεια και χρόνο, έχοντας την στήριξη και την βοήθεια της κοινότητας e-NABLE.

Βιβλιογραφία

3Faktur (2020), «The file format STL and its importance for 3D printing», <https://3faktur.com/en/the-file-format-stl-and-its-importance-for-3d-printing/> [πρόσβαση 1/10/2020].

Ventola, L. C. (2014), «WHAT IS 3D PRINTING», *Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses*, **39** (10), σελ. 704–711.

Ζακύνθιος, Γ. (2015), *Σχεδίαση και Υλοποίηση Συστήματος Ελέγχου Τρισδιάστατου Εκτυπωτή Χαμηλού Κόστους*, Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.

Brière-Côté, A., Rivest, L. και Maranzana, R. (2013), «Comparing 3D CAD Models: Uses, Methods, Tools and Perspectives», *Computer-Aided Design and Applications*, **9** (6), σελ. 771-794.

thes3d (2018), «Οι πέντε βασικές εφαρμογές της 3D εκτύπωσης.», <https://thes3d.gr/i-pente-vasikes-efarmoges-tis-3d-ektyposis/> [πρόσβαση 3/6/2020].

Καμπουράκης, Γ. (2018), *Μελέτη, Σχεδίαση και Κατασκευή Πήχη Προσθετικού Μέλους*, Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης.

Τζόβλα, Α. (2017), *Βέλτιστος Σχεδιασμός Προσθετικού Μέλους Κάτω Άκρου με Χρήση Υλικών Ταχείας Πρωτυποποίησης για Εφαρμογή σε Αναπτυσσόμενες Χώρες*, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας.

Makvana, S. K., Katariya, K., Doshi, K., Aghada, J. (2016-2017), «Design & Experimental Analysis of Human Hand Prosthetic.», https://www.researchgate.net/publication/309039944_Design_Experimental_Analysis_of_Human_Hand_Prosthetic [πρόσβαση 9/6/2020].

Williams MR και Walter W (2015), «Development of a Prototype Over-Actuated Biomimetic Prosthetic Hand.», <https://journals.plos.org/plosone/article%3Fid%3D10.1371/journal.pone.0118817> [πρόσβαση 10/10/2020].

Horton's Orthotics & Prosthetics (2017), «Electric vs. Body-Powered Prosthetic Arms: How Do You Choose?», <https://www.hortonsoandp.com/electric-vs-body-powered-prosthetic-arms/#:~:text=A%20body%2Dpowered%20prosthesis%20relies,shoulders%2C%20elbows%2C%20or%20chest>. [πρόσβαση 11/10/2020].

e-NABLE (2021), «Enabling the Future», <https://enablingthefuture.org> [πρόσβαση 23/6/2020].

Ferreira, D., Duarte, T., Lino Alves, J. και Ferreira, I. (2018), «Development of low-cost customised hand prostheses by additive manufacturing», *Plastic, Rubber and Composites*, **41** (1), σελ. 25-34.

e-NABLE (2021), «e-NABLE Devices», <https://hub.e-nable.org/s/e-nable-devices/wiki/page/view?title=Unlimbited+Phoenix+Hand> [πρόσβαση 1/11/2020].

King, M., Phillips, B., Shively, M., Raman, V., Fleishman, A., Ritter, S. κ.α. (2015), «Optimization of Prosthetic Hand Manufacturing», *Πρακτικά Global Humanitarian Technology Conference*, 8-11 Οκτ. 2015, IEEE, Seattle, WA, USA.

Sculpteo (2015), «PLA (Polylactic Acid) Biodegradable Filament», <https://www.sculpteo.com/en/glossary/pla-definition/>, [πρόσβαση 8/4/2021].

TranPak (2010-2020), «What is Thermoforming?», <https://www.tranpak.com/tools/faq/what-is-thermoforming/#:~:text=Thermoforming%20is%20a%20plastic%20molding,a%20male%20or%20female%20mold>. , [πρόσβαση 14/4/2021].

ALL3DP (2014), «3D Printing First Layer Problems: How to Make it Perfect», <https://all3dp.com/2/3d-printing-first-layer-problems-how-to-make-it-perfect/#:~:text=3D%20printing%20the%20first%20layer,completed%2C%20leading%20to%20a%20failure>. , [πρόσβαση 07/05/2021].

ALL3DP (2014), «3D Printing Pillowing – How to Prevent Top Layer Problems», <https://all3dp.com/2/3d-printing-top-layer-problems-easy-fixes-for-pillowing/> , [πρόσβαση 08/05/2021].

ALL3DP (2014), «3D Printing Support Structures – The Ultimate Guide», <https://all3dp.com/1/3d-printing-support-structures/> , [πρόσβαση 08/05/2021].

Alcock, B. J. (1969), «The Development Of Artificial Limbs.», *Journal of the Royal Society of Arts*, **117**(5154), σελ. 396–405. [πρόσβαση 18/05/2021].

Schultz, A. E., & Kuiken, T. A. (2011), «Neural Interfaces for Control of Upper Limb Prostheses: The State of the Art and Future Possibilities», *PM&R*, **3**(1), σελ. 55–67. [πρόσβαση 20/05/2021].

Physiopedia (2021), «Prosthetic Feet», [https://www.physio-pedia.com/Prosthetic_Feet#:~:text=Generally%20known%20as%20SACH%20\(Solid,amortization%20offered%20in%20the%20market.](https://www.physio-pedia.com/Prosthetic_Feet#:~:text=Generally%20known%20as%20SACH%20(Solid,amortization%20offered%20in%20the%20market.) , [πρόσβαση 22/05/2021].

Peke Waihanga Artificial Limb Services (2021), «Solid ankle cushion heel (SACH) foot - passive keel», <https://www.nzals.co.nz/products/categories/feet-and-ankles/solid-ankle-cushion-heel-sach-foot-passive-keel> , [πρόσβαση 22/05/2021].

Uellendahl, J. (2017), «Myoelectric versus Body-Powered Upper-Limb Prostheses.», *Journal of Prosthetics and Orthotics*, **29**, P25–P29.

International Committee of the Red Cross, ICRC (2006), «Manufacturing Guidelines - Trans-radial Prosthesis», <https://www.icrc.org/en/doc/assets/files/other/eng-trans-radial.pdf>, [πρόσβαση 31/05/2021].

International Committee of the Red Cross, ICRC (2006), «Manufacturing Guidelines - Trans-humeral Prosthesis», <https://www.icrc.org/en/doc/assets/files/other/eng-trans-humeral.pdf>, [πρόσβαση 31/05/2021].

Bicchierini, M., Davalli, A., Sacchetti, R. και Paganelli, S. (2005), «Colorimetric analysis of silicone cosmetic prostheses for upper-limb amputees.», *Journal of rehabilitation research and development.*, **42** (5), 655-664