



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Δημιουργία Γαντιών Εικονικής Πραγματικότητας (VR) στην Υγεία

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της/του

Χρήστου – Μάριου Ψιρόγιαννη

Επιβλέπων : Μαλιάτσος Κώσταντίνος

Μέλη εξεταστικής επιτροπής:

Μαλιάτσος Κωνσταντίνος
Γκουμόπουλος Χρήστος
Σκούτας Δημήτριος

Σάμος, Ιούλιος 2026

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πρόλογος και ευχαριστίες

Αυτός ο πρόλογος είναι αφιερωμένος στην οικογένεια μου, τους αγαπημένους μου φίλους, συγγενείς και ανθρώπους που γνώρισα, είτε παρέμειναν στην ζωή μου είτε όχι, είμαι χαρούμενος και ταπεινός στα μαθήματα που έλαβα καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και γενικώς στο Πολυτεχνείο μηχανικών επικοινωνιακών και πληροφοριακών συστημάτων.

Μπορώ να πω με περηφάνια πως όντας κάποιος που δεν περίμενε ποτέ η ζωή του να τελειώσει το πανεπιστήμιο, το Καρλόβασι της Σάμου ήταν μια από τις ωραιότερες εμπειρίες που θα μπορούσε κάποιος να ζητήσει. Κατά κύριο λόγο από θέμα πανεπιστημιακού προσωπικού αλλά και από πλευράς συμφοιτητών.

Επιπροσθέτως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κωνσταντίνο Μαλιάτσο για την εξαιρετική συνεργασία ως επιβλέποντα καθηγητή αλλά και ως άνθρωπο που είχα την τιμή να είμαι προπτυχιακός φοιτητής και να σπουδάζω όλα αυτά τα χρόνια μαζί στο ίδιο πανεπιστημιακό περιβάλλον. Παρόλο θα 'λεγε κανείς πως η διπλωματική που επέλεξα είναι αρκετά ασυνήθιστο σαν θέμα, ίσως και ο κάθε καθηγητής να είχε αυτή την σκέψη. Θέλω παρόλα αυτά να ξέρει πως εκτιμώ όσες φορές, ακόμα και λίγες, προσπάθησε να με βοηθήσει και είναι κάτι που το εκτιμώ ακόμα και σήμερα.

Επίσης ένα ευχαριστώ στον LucasGloves για την καθοδήγηση και στην abyзма (<https://twitter.com/abyzma>) για την βοήθεια και τον σχεδιασμό των γαντιών σε θεωρητικό βαθμό(blueprint).

Έκτο έτος

του/της

Ψιρόγιαννης Χρήστος-Μάριος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

Πίνακας περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	8
1.1	Εικονική πραγματικότητα στον τομέα της υγείας.....	9
1.2	Αντικείμενο διπλωματικής.....	9
1.3	VR και ιατρική εκπαίδευση	11
1.3.1	Χρήση του VR σε ιατρικές έρευνες.....	11
	Η αποτελεσματικότητα της Εικονικής Πραγματικότητας στην εκπαίδευση Βασική Υποστήριξης Ζωής και στη διατήρηση γνώσεων	17
1.4	Χρήση Γαντιών από Ιατρικό Προσωπικό και Ασθενείς.....	18
1.5	Περιορισμοί και προκλήσεις.....	19
1.6	Προτάσεις για την αντιμετώπιση των περιορισμών	19
1.7	Μελλοντικές προοπτικές.....	20
1.8	Συμπεράσματα.....	21
1.9	Ιστορική Αναδρομή: Η εξέλιξη των γαντιών VR J6	21
1.10	Δημιουργία γαντιών – πως ξεκίνησε η ιδέα.....	22
1.11	Δομή της διπλωματικής.....	23
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΑ ΓΑΝΤΙΑ VR ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ	24
2.1	Η Ιδέα της Απτικής Ανατροφοδότησης στην Αποκατάσταση.....	24
2.2	Αρχές κινητικής	25
2.3	Έξυπνα Γάντια και Απτική Αλληλεπίδραση σε Περιβάλλοντα Εκτεταμένης Πραγματικότητας ..	27
3	Πρακτική υλοποίηση	28
4	Λογισμικό	55
4.1	Proof of Concept.....	59
4.2	Αναβαθμίσεις.....	60
5	Συμπεράσματα.....	63
	Βιβλιογραφία	65

Λίστα Σχημάτων

Σε κάθε καταχώρηση εμφανίζεται η αρίθμηση, η λεζάντα, και η σελίδα.

Εικόνα 1: Οπτική blueprint Γαντιού Α.....	28
Εικόνα 2: Οπτική blueprint Γαντιού Β.....	28
Εικόνα 3 Οπτική blueprint Γαντιού Γ.....	29
Εικόνα 4: Οπτική Γαντιού Β.....	30
Εικόνα 5: Οπτική Γαντιού Γ.....	30
Εικόνα 6: Οπτική Γαντιού Α.....	30
Εικόνα 7: Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.....	31
Εικόνα 8: Σχεδιάγραμμα ποτενσιόμετρου.....	32
Εικόνα 9: Σχεδιάγραμμα κονάρδας με πτυσσόμενο κορδόνι (badge reels).....	33
Εικόνα 10: Λεπτομέρειες και ιδιότητες ενός σερβοκινητήρα MG90S(180 μοιρών).....	34
Εικόνα 11: Μέτρηση διαμέτρου άκρων δαχτύλων.....	37
Εικόνα 12: Εφαρμογή δακτυλήθρων.....	37
Εικόνα 13: Τρισδιάστατο μοντέλο haptic spool Α.....	38
Εικόνα 14: Τρισδιάστατο μοντέλο haptic spool Γ.....	38
Εικόνα 15: Τρισδιάστατο μοντέλο haptic spool Β.....	38
Εικόνα 16: Τρισδιάστατο μοντέλο tensioner Α.....	39
Εικόνα 17: Τρισδιάστατο μοντέλο tensioner Γ.....	39
Εικόνα 18: Τρισδιάστατο μοντέλο tensioner Β.....	39
Εικόνα 19: Ένωση εξαρτημάτων.....	40
Εικόνα 20: Τρισδιάστατο μοντέλο slide holder Α.....	41
Εικόνα 21: Τρισδιάστατο μοντέλο slide holder Β.....	41
Εικόνα 22: Τρισδιάστατο μοντέλο slide holder Γ.....	41
Εικόνα 23: Συναρμολογημένο ποτενσιόμετρο Β.....	42
Εικόνα 24: Συναρμολογημένο ποτενσιόμετρο Α.....	42
Εικόνα 25: Συναρμολογημένο ποτενσιόμετρο + σερβοκινητήρας Β.....	42
Εικόνα 26: Συναρμολογημένο ποτενσιόμετρο + σερβοκινητήρας Α.....	42
Εικόνα 27: Μέτρηση βάσης στο χέρι.....	43
Εικόνα 28: Τρισδιάστατο μοντέλο Βάσης Α.....	43
Εικόνα 29: Τρισδιάστατο μοντέλο Βάσης Β.....	43
Εικόνα 30: Έτοιμη βάση + δακτυλήθρες.....	44
Εικόνα 31: Βάση + slide holders.....	45
Εικόνα 32: Δοκιμή powerbank 5V.....	46
Εικόνα 33: Δοκιμή ποτενσιόμετρου + Σερβοκινητήρων(λειτουργικότητα εξαρτημάτων).....	46
Εικόνα 34: Αποτελέσματα κίνησης ποτενσιόμετρων Α.....	49
Εικόνα 35: Αποτελέσματα κίνησης ποτενσιόμετρων Β.....	49
Εικόνα 36: Αρχική συνδεσμολογία και δοκιμές ποτενσιόμετρων.....	50
Εικόνα 37: Εγκατάσταση σερβοκινητήρων.....	51
Εικόνα 38: Χρήση Καλαί (ελάτωση καλωδίων).....	52
Εικόνα 39: Συνδεσμολογία με χρήση καλαί.....	52
Εικόνα 40: Σχεδιάγραμμα καλωδίωσης.....	53

Εικόνα 41: Κώδικας επικοινωνίας (ενσύρματης + ασύρματης).....	55
Εικόνα 42: κώδικας λειτουργίας χειρονομιών	56
Εικόνα 43: Κώδικας για απτική ανατροφοδότηση + θύρες επικοινωνίας ESP32	56
Εικόνα 44: κώδικας βαθμονόμησης - κωδικοποίησης	57
Εικόνα 45: Κώδικας λοιπόν επιλογών	58
Εικόνα 46: Ζωντανή δοκιμή γαντιών Α.....	59
Εικόνα 47: Ζωντανή λήψη γαντιών Β	59
Εικόνα 50: 3D βάση κουμπιού	60
Εικόνα 48: 3D εκτυπωμένη βάση ESP32	60
Εικόνα 49: Χρήση της βάσης ESP32	60
Εικόνα 51: Σχεδιάγραμμα γαντιών + flex sensors	61
Εικόνα 52: flex sensors	61
Εικόνα 53: παράδειγμα χρήσης flex sensors	62

Λίστα Πινάκων

Αρτικόλεξο.....	5
Πίνακας υλικών.....	47

Ακρωνύμια

VR	Virtual Reality
XR	Extended Reality
AR	Augmented Reality
MR	Mixed Reality
ΜΕΘ	Μονάδα εντατικής θεραπείας
ADC	Analog to digital circuit
ΜΑΠ	Μέσα Ατομικής Προστασίας
HMD	Head Mounted Display
IMU	Inertial Measurement Units
DOF	Degrees Of Freedom

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική έχει ως θέμα τη δημιουργία και τη λειτουργικότητα χειροποίητων γαντιών εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της υγείας. Συγκεκριμένα, ως πρώτο κομμάτι θα παρουσιαστεί το πώς η εικονική πραγματικότητα έχει βοηθήσει στο παρελθόν και στο παρόν τον τομέα της υγείας, σε προνοσοκομειακό και νοσοκομειακό επίπεδο. Παράλληλα, θα παρουσιαστούν παραδείγματα εφαρμογής διαφόρων συσκευών VR για χρήση από ασθενείς, ιατρούς και επαγγελματίες υγείας, καθώς και το πώς η τεχνολογία αυτή έχει τη δυνατότητα να βοηθήσει περαιτέρω στο μέλλον, με βάση νέες τεχνολογίες που αναπτύσσονται ραγδαία.

Μετά το θεωρητικό κομμάτι, θα αναπτυχθεί η ιδέα και το “blueprint” (δηλαδή το σκεπτικό πίσω από την κατασκευή) και γενικότερα ο σχεδιασμός των γαντιών, τόσο από την πλευρά του υλικού - hardware (π.χ. υλικά, τρόπος κατασκευής κ.ά.) όσο και του λογισμικού - software (προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν, snippets κώδικα κ.ά.). Στη συνέχεια, εφόσον έχει παρουσιαστεί το κομμάτι της δημιουργίας, θα ακολουθήσει μια αναλυτική περιγραφή της χρήσης των γαντιών στον εικονικό κόσμο και του τρόπου λειτουργίας της απτικής ανάδρασης (του haptic feedback) για την αίσθηση των χεριών. Τέλος, η εργασία θα ολοκληρωθεί με μια προσομοίωση της λειτουργίας των γαντιών στο εικονικό περιβάλλον, καθώς και με προτάσεις για πιθανές εναλλακτικές/βελτιώσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στα γάντια.

Λέξεις Κλειδιά: *απτική τροφοδότηση, γάντια, VR, εικονική πραγματικότητα, υγεία, προνοσοκομειακός τομέας*

Abstract

This thesis focuses on the development and functionality of custom-made virtual reality gloves for applications in the healthcare sector. First, the ways in which virtual reality has contributed, both in the past and at present, to healthcare at the pre-hospital and hospital levels will be presented. In parallel, examples of the application of various VR devices for use by patients, physicians, and healthcare professionals will be presented, along with the potential of this technology to provide further support in the future, based on new technologies that are rapidly being developed.

Following the theoretical part, the concept and “blueprint” (i.e., the rationale behind the construction) will be developed, along with the overall design of the gloves, both from the hardware perspective (e.g., materials, construction methods, etc.) and the software perspective (software tools used, code snippets, etc.). Subsequently, after presenting the development process, a detailed description of the use of the gloves in the virtual environment and the operation of haptic feedback for providing a sense of touch to the hands will follow. Finally, the thesis will conclude with a simulation of the gloves’ operation in the virtual environment, as well as suggestions for possible alternatives and improvements that could be applied to the gloves.

Keywords: *haptic feedback, gloves, VR, virtual reality, healthcare, pre-hospital care*

1

Εισαγωγή

Η εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality – VR) ξεκίνησε να αναπτύσσεται κατά τη δεκαετία του 1990-2000. Αποτελείται από συσκευές και εξαρτήματα που δίνουν στον χρήστη τη δυνατότητα να δει και να αλληλεπιδράσει με αντικείμενα που έχουν δημιουργηθεί σε έναν εικονικό χώρο, είτε από τις ίδιες τις συσκευές είτε από υπολογιστές. Η χρήση της γίνεται κυρίως από gamers, καθώς ο κάθε απλός χρήστης που παίζει βιντεοπαιχνίδια (είτε σε PC είτε σε VR κονσόλες) έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει τον χρόνο του μαθαίνοντας δεξιότητες έμμεσα και άμεσα. Για παράδειγμα, η χρήση ενός προσομοιωτή αγώνων αυτοκινήτων (Assetto Corsa/BeamNG) μπορεί να βοηθήσει τον χρήστη να αποκτήσει τεχνικές γνώσεις σχετικά με τα αυτοκίνητα, αλλά και να βελτιώσει τα αντανακλαστικά του μέσα από τη συνεχή τριβή.

Παράλληλα, η συνεχής αύξηση της υπολογιστικής ισχύος των παιχνιδομηχανών και η ανάπτυξη σχετικών τεχνολογιών (π.χ. PlayStation VR, Nintendo Wii κ.λπ.) δίνουν ένα σημαντικό πάτημα, τόσο από οικονομικής όσο και από τεχνολογικής πλευράς, στην ανάπτυξη της εικονικής πραγματικότητας για τον απλό καταναλωτή που επιθυμεί να αγοράσει τέτοιου είδους εξοπλισμό VR.

Όσον αφορά το μέρος του υλικού, η δημιουργία ενός εικονικού κόσμου, πέρα από το τεχνικό κομμάτι (υπολογιστές, προγράμματα/λογισμικό κλπ), απαιτεί και ειδικό εξοπλισμό, δηλαδή τα γυαλιά, χειριστήρια, δικτυακές συσκευές/σταθμούς βάσης κλπ. Παράλληλα όμως με την εικονική πραγματικότητα, αξίζει να σημειωθούν άλλες δύο τεχνικές/εκδοχές «πραγματικότητας», η επανυξημένη πραγματικότητα (augmented reality - AR) και η μικτή πραγματικότητα (mixed reality-MR). Η διαφορά της επανυξημένης πραγματικότητας (Augmented Reality – AR) από την εικονική πραγματικότητα (Virtual Reality – VR) είναι το γεγονός ότι το AR προσθέτει, μέσω ειδικών γυαλιών ψηφιακά αντικείμενα ή πληροφορίες πάνω στον πραγματικό κόσμο, χωρίς να τον αντικαθιστά, που ο χρήστης μπορεί να βλέπει στον φυσικό κόσμο δισδιάστατα (Two-Dimensional

– 2D) ή τρισδιάστατα (Three-Dimensional – 3D) εικονικά αντικείμενα. Το Mixed Reality (MR), από την άλλη, δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη, μέσω χειρονομιών (χωρίς χειριστήρια), να αλληλεπιδρά και να τροποποιεί το τρισδιάστατο περιβάλλον που προβάλλουν τα γυαλιά στον πραγματικό κόσμο (real world).

Παρόλα αυτά, η αγορά έχει στραφεί περισσότερο προς τις συσκευές εικονικής πραγματικότητας (παρόλο που απαιτούν περισσότερο εξοπλισμό), κυρίως λόγω του χαμηλότερου κόστους αγοράς και του συνδυασμού VR με MR (π.χ. Meta Quest 3/3S), σε αντίθεση με τα ειδικά γυαλιά AR και MR, η χρήση των οποίων είναι περισσότερο περιορισμένη σε συγκεκριμένους επαγγελματικούς τομείς (π.χ. χειρουργική, εκπαίδευση στρατιωτικού προσωπικού κ.λπ.). Η εφαρμογή της εικονικής πραγματικότητας, πέρα από τα βιντεοπαιχνίδια που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχει χρησιμότητα και στην ψυχαγωγία (π.χ. κινηματογράφος εικονικής πραγματικότητας), στην επικοινωνία (εικονικές συναντήσεις), αλλά και στην εκπαίδευση. Συγκεκριμένα, στον τομέα της εκπαίδευσης είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς υπάρχει ζήτηση για συσκευές εικονικής πραγματικότητας για την εκπαίδευση ή επανεκπαίδευση σε εργασίες αυξημένου κινδύνου, όπως αυτές των ηλεκτρολόγων, των μηχανικών πετρελαιοπηγών, των πιλότων, του ιατρικού προσωπικού κ.ά.

1.1 Εικονική πραγματικότητα στον τομέα της υγείας

Όσον αφορά τώρα τον υγειονομικό τομέα συγκεκριμένα, λόγω της πανδημίας του Covid-19 η αξία Virtual Reality έχει τιμή έως και περίπου 2 τρισεκατομύρια ευρώ έως το 2026. Η χρήση μιας τέτοιας τεχνολογίας εκτοξεύθηκε κατά το χρονικό διάστημα 2020-2024 για τον λόγο πως εφόσον ιατρικό προσωπικό βρισκόταν στην 1^η γραμμή προσπαθώντας να καταπολεμήσει την πανδημία, χρειαζόταν και την απαραίτητη εκπαίδευση η οποία πρέπει να παρέχουν οι επαγγελματίες υγείας στους πολίτες. Παρόλα αυτά το VR έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλους τομείς είτε στον νοσοκομειακό ή ακόμα και στον προνοσοκομειακό τομέα.

1.2 Αντικείμενο διπλωματικής

Εφαρμογές της εικονικής πραγματικότητας στον νοσοκομειακό τομέα και στον τομέα υγείας δίνει την ευελιξία τόσο σε ιατρούς όσο και σε νοσηλευτικό προσωπικό να μπορούν να εκπαιδευτούν με εργαλεία που προσφέρουν μηδενικό ρίσκο και συνεχή επαναξιολόγηση των ικανοτήτων τους πάνω στο γνωστικό κομμάτι του αντικειμένου που επιχειρούν (καρδιολογία, πνευμονολογία, χειρουργολογία). Με βάση την τεχνολογική άνοδο των προηγούμενων ετών, τώρα υπάρχει αυτή η δυνατότητα με χρήση των γαντιών εικονικής πραγματικότητας.

Η χρήση τεχνολογιών εικονικής πραγματικότητας στον χώρο της υγείας δεν αποτελεί εντελώς καινούριο φαινόμενο. Σύμφωνα με την ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε, η χρήση της VR στην

υγεία έχει τις ρίζες της αρκετές δεκαετίες πίσω, ενώ η τεχνολογία εξελίχθηκε σταδιακά από απλές στερεοσκοπικές αναπαραστάσεις σε σύνθετα τρισδιάστατα περιβάλλοντα.

Η εξέλιξη αυτή συνδέεται με σημαντικά τεχνολογικά ορόσημα. Μεταξύ αυτών αναφέρονται η δημιουργία του στερεοσκοπίου από τον Sir Charles Wheatstone το 1938, η ανάπτυξη του «Sword of Damocles» από τους Ivan Sutherland και Bob Sproull το 1968 και η καθιέρωση του όρου «Virtual Reality» από τον Jaron Lanier το 1987. Αργότερα, η VR άρχισε να χρησιμοποιείται σε θεραπευτικά περιβάλλοντα, όπως στην έκθεση σε εικονικά ερεθίσματα για την αντιμετώπιση ψυχολογικών προβλημάτων.

Η τεχνολογία της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality – VR) έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, προσφέροντας προηγμένες δυνατότητες τρισδιάστατης απεικόνισης και διαδραστικής αναπαράστασης πολύπλοκων ανατομικών δομών, φυσιολογικών λειτουργιών και ιατρικών διαδικασιών. Μέσω της δημιουργίας εμβυθιστικών και ρεαλιστικών εικονικών περιβαλλόντων, ο χρήστης αποκτά τη δυνατότητα να παρατηρεί, να εξερευνά και να αλληλεπιδρά με ψηφιακά ανατομικά μοντέλα, καθώς και να εκτελεί ενέργειες που προσομοιώνουν πραγματικές κλινικές συνθήκες. Η αλληλεπίδραση αυτή μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση εικονικών ιατρικών εργαλείων, τον χειρισμό ανατομικών δομών και την προσομοίωση διαγνωστικών ή θεραπευτικών παρεμβάσεων, ενισχύοντας την κατανόηση των επιμέρους σταδίων και των απαιτήσεων κάθε διαδικασίας.

Η συγκεκριμένη δυνατότητα αποκτά ιδιαίτερη σημασία στον τομέα της ιατρικής εκπαίδευσης και της κατάρτισης επαγγελματιών υγείας, καθώς επιτρέπει την εξάσκηση σε ελεγχόμενα, ασφαλή και επαναλήψιμα περιβάλλοντα, χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια πραγματικών ασθενών. Οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να επαναλαμβάνουν σύνθετες διαδικασίες, να εξοικειώνονται με διαφορετικά κλινικά σενάρια και να αξιολογούν τις συνέπειες των επιλογών τους, αποκτώντας σταδιακά μεγαλύτερη εμπειρία και αυτοπεποίθηση. Επιπλέον, τα συστήματα VR μπορούν να ενσωματώνουν μηχανισμούς ανατροφοδότησης και αξιολόγησης της απόδοσης, επιτρέποντας την παρακολούθηση της εκπαιδευτικής προόδου και τον εντοπισμό δεξιοτήτων που απαιτούν περαιτέρω βελτίωση.

Παράλληλα, η Εικονική Πραγματικότητα παρουσιάζει σημαντικές προοπτικές στον τομέα της ενημέρωσης και εκπαίδευσης των ασθενών, διευκολύνοντας τη μετάδοση σύνθετης ιατρικής γνώσης με τρόπο περισσότερο κατανοητό, παραστατικό και διαδραστικό. Μέσω τρισδιάστατων αναπαραστάσεων οργάνων, ιστών και φυσιολογικών ή παθολογικών διεργασιών, οι ασθενείς μπορούν να αποκτήσουν μια πληρέστερη εικόνα της ανατομίας του ανθρώπινου σώματος, της φύσης μιας πάθησης και των επιμέρους σταδίων μιας προτεινόμενης θεραπευτικής παρέμβασης. Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους ενημέρωσης, οι οποίες βασίζονται κυρίως σε λεκτικές περιγραφές, στατικές εικόνες ή δισδιάστατα διαγράμματα, τα εικονικά περιβάλλοντα επιτρέπουν την εξερεύνηση των ανατομικών δομών από διαφορετικές οπτικές γωνίες και την καλύτερη κατανόηση των χωρικών και λειτουργικών σχέσεων μεταξύ τους.

Κατά συνέπεια, η αξιοποίηση της VR μπορεί να συμβάλει όχι μόνο στην αποτελεσματικότερη εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας, αλλά και στην ενίσχυση της επικοινωνίας μεταξύ ιατρού και ασθενούς. Η δυνατότητα οπτικοποίησης σύνθετων ιατρικών πληροφοριών μπορεί να διευκολύνει την κατανόηση των διαθέσιμων θεραπευτικών επιλογών, να περιορίσει την

αβεβαιότητα που σχετίζεται με άγνωστες ιατρικές διαδικασίες και να υποστηρίξει την ενεργότερη συμμετοχή των ασθενών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με την υγεία τους.

1.3 VR και ιατρική εκπαίδευση

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της VR είναι η εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας. Η παραδοσιακή ιατρική εκπαίδευση απαιτεί συνδυασμό θεωρητικής γνώσης, πρακτικής εξάσκησης και κλινικής εμπειρίας. Η VR μπορεί να λειτουργήσει συμπληρωματικά δημιουργώντας ένα ελεγχόμενο περιβάλλον στο οποίο ο εκπαιδευόμενος μπορεί να εξασκηθεί χωρίς να θέτει σε κίνδυνο έναν πραγματικό ασθενή.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της προσομοίωσης είναι η δυνατότητα αναπαραγωγής σπάνιων, σύνθετων ή επικίνδυνων περιστατικών. Ο εκπαιδευόμενος μπορεί να κάνει λάθος, να λάβει ανατροφοδότηση και να επαναλάβει τη διαδικασία. Με αυτόν τον τρόπο το λάθος μετατρέπεται σε εκπαιδευτική εμπειρία αντί να αποτελεί πιθανό κίνδυνο για έναν ασθενή. Η VR μπορεί επίσης να καταγράφει τις ενέργειες του εκπαιδευόμενου και να αξιολογεί την απόδοσή του με βάση προκαθορισμένα κριτήρια.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η χειρουργική εκπαίδευση. Οι προσομοιώσεις μπορούν να αναπαραστήσουν χειρουργικές επεμβάσεις και να επιτρέψουν στους εκπαιδευόμενους να εξασκηθούν σε διαφορετικά στάδια μιας διαδικασίας. Παράλληλα, η VR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκμάθηση της ανατομίας. Τρισδιάστατες αναπαραστάσεις οστών, αγγείων, μυών, ιστών και οργάνων μπορούν να βοηθήσουν τους φοιτητές και τους επαγγελματίες υγείας να κατανοήσουν καλύτερα τη χωρική σχέση μεταξύ των ανατομικών δομών.

Η τεχνολογία μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εκμάθηση χειρισμού ιατρικού εξοπλισμού και την ανάπτυξη επικοινωνιακών δεξιοτήτων. Έτσι, η εκπαίδευση δεν περιορίζεται μόνο στις τεχνικές δεξιότητες αλλά μπορεί να επεκτείνεται και στις κοινωνικές και επικοινωνιακές πτυχές της επαγγελματικής πρακτικής.

1.3.1 Χρήση του VR σε ιατρικές έρευνες

Η χρήση της τεχνολογίας εικονικής πραγματικότητας έχει εξασφαλίσει ήδη μια θέση στον τομέα της ιατρικής. Από τις αρχές της χιλιετίας έως και σήμερα η εφαρμογή τόσο προηγμένης τεχνολογίας σε συνδυασμό με την ιατρική μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν όχι από όλους τους κλάδους της ιατρικής επιστήμης, τουλάχιστον από τους περισσότερους στον τομέα της υγείας. Τέτοια χρήση έχει γίνει από νοσοκομεία από ειδικούς πάνω στον τομέα της ιατρικής για σκοπούς διάγνωσης ή ακόμα και θεραπείας.

Παραδείγματα είναι τα εξής:

Εικονική πραγματικότητα στην κατανόηση και θεραπεία για διαταραχές ψυχικής υγείας.

Η αξιοποίηση της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality – VR) στον τομέα της ψυχικής υγείας αποτελεί μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα και συνεχώς εξελισσόμενη ερευνητική κατεύθυνση, η οποία δημιουργεί νέες δυνατότητες για την αξιολόγηση, την κατανόηση και τη θεραπευτική αντιμετώπιση ψυχικών διαταραχών. Μέσω της δημιουργίας εμβυθιστικών και διαδραστικών εικονικών περιβαλλόντων, η συγκεκριμένη τεχνολογία επιτρέπει στους ασθενείς να βιώνουν προσομοιωμένες καταστάσεις που σχετίζονται με τις ψυχολογικές τους δυσκολίες, σε ένα ελεγχόμενο και ασφαλές θεραπευτικό πλαίσιο. Με τον τρόπο αυτό, καθίσταται δυνατή η σταδιακή έκθεση σε ερεθίσματα που προκαλούν φόβο, άγχος ή άλλες ψυχολογικές αντιδράσεις, παρέχοντας παράλληλα στους επαγγελματίες ψυχικής υγείας τη δυνατότητα παρακολούθησης και προσαρμογής της θεραπευτικής διαδικασίας.

Σύμφωνα με τη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση των Freeman et al. (2017)¹, η οποία εξετάζει τις εφαρμογές της Εικονικής Πραγματικότητας στον τομέα της ψυχικής υγείας κατά τις δύο πρώτες δεκαετίες ανάπτυξης και αξιοποίησής της, εντοπίστηκαν συνολικά 285 επιστημονικές μελέτες που πληρούσαν τα κριτήρια ένταξης στην ανασκόπηση. Από αυτές, 86 μελέτες επικεντρώθηκαν στην αξιολόγηση ψυχικών διαταραχών, 45 στη διερεύνηση και ανάπτυξη θεωρητικών προσεγγίσεων για την κατανόησή τους, ενώ 154 εξέτασαν θεραπευτικές εφαρμογές της τεχνολογίας VR.

Όσον αφορά τις κατηγορίες ψυχικών διαταραχών που αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας, η μεγαλύτερη ερευνητική δραστηριότητα παρατηρήθηκε στις αγχώδεις διαταραχές, με συνολικά 192 μελέτες. Ακολούθησαν η σχιζοφρένεια και οι συναφείς ψυχωτικές διαταραχές με 44 μελέτες, οι διαταραχές που σχετίζονται με τη χρήση ουσιών με 22 μελέτες και οι διατροφικές διαταραχές με 18 μελέτες. Η συγκεκριμένη κατανομή αναδεικνύει το ιδιαίτερα αυξημένο ερευνητικό ενδιαφέρον για την εφαρμογή της Εικονικής Πραγματικότητας στην αντιμετώπιση των αγχωδών διαταραχών, όπου η τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί για τη δημιουργία ελεγχόμενων συνθηκών έκθεσης σε αγχογόνα ερεθίσματα.

Παρά τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα, οι Freeman et al. (2017) επισημαίνουν ότι η αξιοποίηση της VR στην ψυχική υγεία παρουσίαζε, κατά την περίοδο που εξετάστηκε, σημαντικούς μεθοδολογικούς περιορισμούς, καθώς η ποιότητα αρκετών από τις διαθέσιμες μελέτες ήταν σχετικά χαμηλή. Ωστόσο, τα περισσότερα τεκμηριωμένα ευρήματα αφορούσαν τη θεραπεία των αγχωδών διαταραχών μέσω τεχνικών εικονικής έκθεσης (Virtual Reality Exposure Therapy – VRET), οι οποίες μπορούσαν να συμβάλουν στη μείωση των συμπτωμάτων άγχους. Η δυνατότητα ελεγχόμενης και επαναλαμβανόμενης έκθεσης σε καταστάσεις που προκαλούν ψυχολογική δυσφορία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Συνολικά, η Εικονική Πραγματικότητα αναδεικνύεται ως ένα πολλά υποσχόμενο συμπληρωματικό εργαλείο για την κλινική αξιολόγηση και την παροχή ψυχοθεραπευτικών παρεμβάσεων. Παρότι η αποτελεσματικότητά της διαφοροποιείται ανάλογα με τη φύση της

¹ Freeman, D., Reeve, S., Robinson, A., Ehlers, A., Clark, D., Spanlang, B., & Slater, M. (2017). Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, 47(14), 2393–2400.

ψυχικής διαταραχής και τη θεραπευτική προσέγγιση που εφαρμόζεται, οι δυνατότητες εξατομίκευσης, διαδραστικότητας και ελεγχόμενης προσομοίωσης πραγματικών συνθηκών δημιουργούν σημαντικές προοπτικές για την περαιτέρω ενσωμάτωσή της στις σύγχρονες υπηρεσίες ψυχικής υγείας.

Χρήση της εικονικής πραγματικότητας στην εκπαίδευση διασωστών.

Η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality – VR), αν και έχει συνδεθεί κυρίως με τον τομέα της ψηφιακής ψυχαγωγίας και των βιντεοπαιχνιδιών, παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες αξιοποίησης σε εκπαιδευτικές εφαρμογές. Ειδικότερα, μέσω των εκπαιδευτικών παιχνιδιών σοβαρού σκοπού (Serious Games), παρέχεται η δυνατότητα προσομοίωσης πραγματικών συνθηκών, επιτρέποντας στους εκπαιδευόμενους να αναπτύσσουν πρακτικές δεξιότητες σε ένα ασφαλές και ελεγχόμενο εικονικό περιβάλλον.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έρευνα των Boros et al. (2022)², η οποία πραγματοποιήθηκε στην Τσεχική Δημοκρατία, με τη συμμετοχή του Πανεπιστημιακού Νοσοκομείου του Pilsen και άλλων συνεργαζόμενων φορέων. Στόχος της ήταν η ανάπτυξη ενός εκπαιδευτικού συστήματος VR για την εκπαίδευση υγειονομικού προσωπικού σε διαδικασίες ασφάλειας και προστασίας από τη μετάδοση της COVID-19. Στο πλαίσιο αυτό, αναπτύχθηκαν τρία διαφορετικά εκπαιδευτικά σενάρια, τα οποία περιλάμβαναν την προσομοίωση νοσοκομειακών περιβαλλόντων, τη χρήση ιατρικών εργαλείων, όπως βελόνες και νυστέρια, καθώς και Μέσων Ατομικής Προστασίας (ΜΑΠ), όπως γάντια, μάσκες και προστατευτικές ποδιές.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην εκπαίδευση μέσω προκαθορισμένων διαδικασιών, μεταξύ των οποίων περιλαμβανόταν ένα πρωτόκολλο 17 διαδοχικών βημάτων για την ασφαλή προετοιμασία και είσοδο σε νοσοκομειακό χώρο. Οι ενέργειες περιλάμβαναν, μεταξύ άλλων, την απολύμανση των χεριών και τη σωστή χρήση προστατευτικού εξοπλισμού. Η εφαρμογή αξιολογήθηκε με τη συμμετοχή 120 νοσηλευτών, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες της Εικονικής Πραγματικότητας ως συμπληρωματικού εργαλείου εκπαίδευσης και εξοικείωσης με κρίσιμες διαδικασίες ασφάλειας.

Εφαρμογές στην χειρουργική

Η χειρουργική αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους τομείς εφαρμογής της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality – VR), καθώς απαιτεί υψηλό επίπεδο ακρίβειας, εξειδικευμένες δεξιότητες και σημαντική πρακτική εμπειρία. Η εκπαίδευση των χειρουργών συχνά περιορίζεται από παράγοντες όπως το κόστος, η διαθεσιμότητα κατάλληλων περιστατικών και η ανάγκη διασφάλισης της ασφάλειας των ασθενών. Μέσω της VR παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας ρεαλιστικών χειρουργικών περιβαλλόντων, στα οποία οι εκπαιδευόμενοι μπορούν να εξασκούνται επανειλημμένα σε διαφορετικές επεμβατικές διαδικασίες, χωρίς να εκτίθενται πραγματικοί ασθενείς σε κίνδυνο.

² Boros, M., Sventekova, E., Cidlinova, A., Bardy, M., & Batrlova, K. (2022). Application of VR technology to the training of paramedics. *Applied Sciences*, 12(3), 1172

Σύμφωνα με τη συστηματική ανασκόπηση των Gurusamy et al. (2008)³, η οποία περιλάμβανε 23 κλινικές δοκιμές και 622 συμμετέχοντες, η εκπαίδευση μέσω VR μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ακρίβειας, στη μείωση των σφαλμάτων και στον περιορισμό του χρόνου εκτέλεσης χειρουργικών εργασιών. Τα αποτελέσματα αυτά αναδεικνύουν τη δυνατότητα της συγκεκριμένης τεχνολογίας να λειτουργήσει συμπληρωματικά προς τις συμβατικές μεθόδους χειρουργικής εκπαίδευσης.

Παράλληλα, η Εικονική Πραγματικότητα μπορεί να αξιοποιηθεί στον προεγχειρητικό σχεδιασμό, επιτρέποντας την τρισδιάστατη απεικόνιση και διαδραστική εξερεύνηση ανατομικών δομών, συμπεριλαμβανομένων μαλακών και σκληρών ιστών. Όπως αναφέρουν οι Queisner και Eisenträger (2024)⁴, η χρήση VR μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση σύνθετων ανατομικών σχέσεων, να διευκολύνει τον εντοπισμό παθολογικών περιοχών και να υποστηρίξει τη λήψη χειρουργικών αποφάσεων πριν από την πραγματοποίηση μιας επέμβασης.

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα, η VR δεν μπορεί να υποκαταστήσει πλήρως την πραγματική χειρουργική εμπειρία, καθώς η φυσική αλληλεπίδραση με τους ιστούς, η απτική ανάδραση και η αντιμετώπιση απρόβλεπτων επιλοκών δεν αναπαράγονται πάντοτε με απόλυτη ακρίβεια. Συνεπώς, η συγκεκριμένη τεχνολογία αποτελεί ένα ιδιαίτερα χρήσιμο συμπληρωματικό εργαλείο για τη χειρουργική εκπαίδευση και τον προεγχειρητικό σχεδιασμό.

Εφαρμογές στην διαχείριση πόνου και άγχους

Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της Εικονικής Πραγματικότητας στον τομέα της υγείας αφορά τη διαχείριση του πόνου και του άγχους κατά τη διάρκεια ιατρικών διαδικασιών. Η συγκεκριμένη προσέγγιση βασίζεται στην εμπύθιση του ασθενούς σε ένα διαδραστικό και οπτικοακουστικό εικονικό περιβάλλον, το οποίο αποσπά την προσοχή του από τα επώδυνα ερεθίσματα, συμβάλλοντας στη μείωση της αντιλαμβανόμενης έντασης του πόνου και της ψυχολογικής δυσφορίας.

Σύμφωνα με τη συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση των Cáceres-Matos et al. (2024)⁵, η Εικονική Πραγματικότητα παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες ως μη φαρμακευτική μέθοδος διαχείρισης του πόνου, ιδιαίτερα σε παιδιά και εφήβους που υποβάλλονται σε επεμβατικές διαδικασίες, όπως αιμοληψίες και ενδοφλέβιες παρεμβάσεις. Η μελέτη περιλάμβανε 21 επιστημονικές έρευνες με συνολικά 2.663 συμμετέχοντες και ανέδειξε στατιστικά σημαντική

³ Gurusamy, K., Aggarwal, R., Palanivelu, L., & Davidson, B. R. (2008). Systematic review of randomized controlled trials on the effectiveness of virtual reality training for laparoscopic surgery. *British Journal of Surgery*, 95(9), 1088–1097.

⁴ Queisner, M., & Eisenträger, K. (2024). Surgical planning in virtual reality: A systematic review. *Journal of Medical Imaging*, 11(6), 062603.

⁵ Cáceres-Matos, R., Castillo-García, M., Magni, E., & Pabón-Carrasco, M. (2024). Effectiveness of Virtual Reality for Managing Pain, Fear, and Anxiety in Children and Adolescents Undergoing Needle-Related Procedures: Systematic Review with Meta-Analysis. *Nursing Reports*, 14(3), 2456–2484.

μείωση του πόνου, του φόβου και του άγχους μέσω της χρήσης VR, αν και παρατηρήθηκε σημαντική ετερογένεια μεταξύ των επιμέρους μελετών.

Παράλληλα, η VR μπορεί να αξιοποιηθεί συμπληρωματικά προς τις καθιερωμένες θεραπευτικές προσεγγίσεις, προσφέροντας στους ασθενείς μια περισσότερο ευχάριστη και ελεγχόμενη εμπειρία κατά τη διάρκεια επώδυνων διαδικασιών. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητά της εξαρτάται από παράγοντες όπως η ηλικία, η φύση της ιατρικής παρέμβασης και τα χαρακτηριστικά του εικονικού περιβάλλοντος. Συνεπώς, η Εικονική Πραγματικότητα αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο συμπληρωματικό εργαλείο διαχείρισης του πόνου, χωρίς να υποκαθιστά τις καθιερωμένες ιατρικές και φαρμακευτικές μεθόδους αντιμετώπισής του.

VR στην αποκατάσταση και αποθεραπεία

Η αποκατάσταση αποτελεί έναν ακόμη σημαντικό τομέα εφαρμογής της Εικονικής Πραγματικότητας, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα μετατροπής των συμβατικών ασκήσεων σε διαδραστικές και περισσότερο ελκυστικές δραστηριότητες. Μέσω εικονικών περιβαλλόντων, οι ασθενείς μπορούν να εκτελούν επαναλαμβανόμενες ασκήσεις με συγκεκριμένους στόχους, λαμβάνοντας άμεση ανατροφοδότηση σχετικά με την απόδοσή τους. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να ενισχύσει το κίνητρο και τη συμμετοχή των ασθενών, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που απαιτούν μακροχρόνια θεραπευτική παρέμβαση.

Σύμφωνα με τη συστηματική ανασκόπηση των Laver et al. (2025)⁶, η χρήση της VR στην αποκατάσταση ασθενών μετά από εγκεφαλικό επεισόδιο μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της κινητικής λειτουργίας των άνω άκρων, της ισορροπίας και της λειτουργικής ικανότητας. Παράλληλα, η ενσωμάτωση αλγορίθμων Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning – ML) επιτρέπει την παρακολούθηση της κινητικής απόδοσης και τη δυναμική προσαρμογή της δυσκολίας των ασκήσεων στις εξατομικευμένες ανάγκες κάθε ασθενούς, όπως επισημαίνουν οι Al Tawil et al. (2026)⁷.

Επιπλέον, η Εικονική Πραγματικότητα μπορεί να αξιοποιηθεί σε προγράμματα φυσικοθεραπείας για ορθοπεδικές παθήσεις, τραυματισμούς και κινητικές δυσλειτουργίες. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή της στην τηλε-αποκατάσταση (Telerehabilitation), όπου οι ασθενείς μπορούν να εκτελούν ασκήσεις από απόσταση, ενώ οι θεραπευτές παρακολουθούν την πρόοδό τους μέσω ψηφιακών συστημάτων καταγραφής και αξιολόγησης.

⁶ Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., Chapman, M., & Crotty, M. (2025). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2025(6), CD008349.

⁷ Al Tawil, A., Mohd Hashim, S. H., Aburub, A., Darabseh, M. Z., Prémusz, V., & Hock, M. (2026). Machine learning-based adaptive personalization in virtual reality stroke rehabilitation: A systematic review. *Frontiers in Rehabilitation Sciences*, 7.

Παρά τα πλεονεκτήματα αυτά, η εφαρμογή της VR απαιτεί κατάλληλο θεραπευτικό σχεδιασμό και επαρκή επίβλεψη, καθώς η λανθασμένη εκτέλεση ασκήσεων ή η ανεπαρκής προσαρμογή τους στις δυνατότητες του ασθενούς ενδέχεται να περιορίσει την αποτελεσματικότητα της αποκατάστασης ή να δημιουργήσει πρόσθετους κινδύνους. Συνεπώς, η VR αποτελεί ένα χρήσιμο συμπληρωματικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να ενισχύσει τις συμβατικές μεθόδους φυσικοθεραπείας και αποκατάστασης.

Εικονική πραγματικότητα ως μέθοδο εκπαίδευσης αναζωογόνησης για εκπαίδευση προπτυχιακών φοιτητών ιατρικής.

Η Εικονική Πραγματικότητα (Virtual Reality – VR) αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση στην εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας, προσφέροντας δυνατότητες προσομοίωσης κρίσιμων ιατρικών διαδικασιών, όπως η Καρδιοπνευμονική Αναζωογόνηση (ΚΑΡΠΑ). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έρευνα των Issleib et al. (2021)⁸, η οποία πραγματοποιήθηκε στην Ιατρική Σχολή του Πανεπιστημίου του Αμβούργου, από τις 7 Ιανουαρίου έως τις 25 Φεβρουαρίου 2019, με τη συμμετοχή 160 πρωτοετών φοιτητών Ιατρικής. Στόχος της μελέτης ήταν η σύγκριση της αποτελεσματικότητας της εκπαίδευσης μέσω VR με τις συμβατικές μεθόδους διδασκαλίας στη Βασική Υποστήριξη Ζωής (Basic Life Support – BLS).

Οι συμμετέχοντες κατανεμήθηκαν τυχαία σε δύο ομάδες. Η πειραματική ομάδα, αποτελούμενη από 56 φοιτητές, παρακολούθησε εξατομικευμένο εκπαιδευτικό πρόγραμμα VR διάρκειας 35 λεπτών, ενώ η ομάδα ελέγχου, με 104 φοιτητές, εκπαιδεύτηκε μέσω συμβατικού σεμιναρίου και πρακτικής εξάσκησης. Και οι δύο εκπαιδευτικές προσεγγίσεις βασίστηκαν στις κατευθυντήριες οδηγίες του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου Αναζωογόνησης (European Resuscitation Council – ERC). Μετά την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης, οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν μέσω τρίλεπτης πρακτικής δοκιμασίας και ερωτηματολογίων αυτοαξιολόγησης.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συμβατική εκπαίδευση υπερείχε ως προς την εκτέλεση συγκεκριμένων τεχνικών δεξιοτήτων, παρουσιάζοντας μικρότερο συνολικό χρόνο χωρίς θωρακικές συμπίεσεις (82 έναντι 93 δευτερολέπτων). Αντίθετα, η ομάδα VR εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερη υποκειμενική μαθησιακή βελτίωση σε 6 από τους 11 δείκτες αξιολόγησης, ιδιαίτερα όσον αφορά την αυτοπεποίθηση στην αναγνώριση καρδιακής ανακοπής και την παροχή βασικής υποστήριξης ζωής. Επιπλέον, το 96% των συμμετεχόντων που αξιολόγησαν τη χρηστικότητα του συστήματος εξέφρασε την επιθυμία να χρησιμοποιήσει ξανά την τεχνολογία.

Συμπερασματικά, η έρευνα αναδεικνύει τις δυνατότητες της Εικονικής Πραγματικότητας ως συμπληρωματικού εκπαιδευτικού εργαλείου, ιδιαίτερα ως προς την ενίσχυση της αυτοπεποίθησης και της μαθησιακής εμπειρίας. Ωστόσο, η συμβατική πρακτική εκπαίδευση παραμένει σημαντική

⁸ Issleib, M., Kromer, A., Pinnschmidt, H. O., Süß-Havemann, C., & Kubitz, J. C. (2021). Virtual reality as a teaching method for resuscitation training in undergraduate first year medical students: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 29, Article 27.

για την ανάπτυξη τεχνικών δεξιοτήτων. Για τον λόγο αυτό, οι ερευνητές προτείνουν την ανάπτυξη υβριδικών εκπαιδευτικών προγραμμάτων που συνδυάζουν την πρακτική εξάσκηση με τα πλεονεκτήματα της Εικονικής Πραγματικότητας.

Η αποτελεσματικότητα της Εικονικής Πραγματικότητας στην εκπαίδευση Βασική Υποστήριξης Ζωής και στη διατήρηση γνώσεων

Η αξιοποίηση της Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality – VR) στην εκπαίδευση Βασικής Υποστήριξης Ζωής (Basic Life Support – BLS) αποτέλεσε αντικείμενο της μελέτης των Castillo et al. (2023)⁹, η οποία πραγματοποιήθηκε στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Καταλονίας στην Ισπανία. Στην έρευνα συμμετείχαν 241 πρωτοετείς φοιτητές επιστημών υγείας, οι οποίοι χωρίστηκαν σε δύο ομάδες: την ομάδα ελέγχου, αποτελούμενη από 116 φοιτητές που εκπαιδεύτηκαν με συμβατικές μεθόδους, και την πειραματική ομάδα, με 125 φοιτητές που εκπαιδεύτηκαν μέσω προσομοιώσεων VR.

Η εκπαίδευση μέσω Εικονικής Πραγματικότητας περιλάμβανε διαδραστικά σενάρια αντιμετώπισης καρδιακής ανακοπής, με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού και συσκευών εμπύθισης, όπως HTC Vive Pro, Oculus Rift και HP. Στόχος της μελέτης ήταν η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των δύο εκπαιδευτικών προσεγγίσεων ως προς την απόκτηση θεωρητικών γνώσεων, την ανάπτυξη πρακτικών δεξιοτήτων και τη διατήρησή τους σε βάθος έξι μηνών. Για τον σκοπό αυτό, οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν αμέσως μετά την εκπαίδευση και έξι μήνες αργότερα, μέσω προσομοιωμένων περιστατικών και κατάλληλων εργαλείων αξιολόγησης.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων ως προς τη συνολική απόκτηση θεωρητικών γνώσεων και πρακτικών δεξιοτήτων. Ωστόσο, η συμβατική εκπαίδευση παρουσίασε καλύτερα αποτελέσματα σε συγκεκριμένες δεξιότητες, ιδιαίτερα στη χρήση αυτόματου εξωτερικού απινιδωτή. Επιπλέον, κατά την επαναξιολόγηση μετά από έξι μήνες διαπιστώθηκε σημαντική μείωση της διατήρησης των γνώσεων και των δεξιοτήτων και στις δύο ομάδες.

Συμπερασματικά, η μελέτη αναδεικνύει την Εικονική Πραγματικότητα ως μια αξιολόγηση εναλλακτική ή συμπληρωματική εκπαιδευτική προσέγγιση, η οποία μπορεί να επιτύχει συγκρίσιμα μαθησιακά αποτελέσματα με τις συμβατικές μεθόδους. Ωστόσο, η ανάγκη διατήρησης των αποκτηθέντων δεξιοτήτων υπογραμμίζει τη σημασία της περιοδικής επανεκπαίδευσης, ενώ ο συνδυασμός της VR με την πρακτική εξάσκηση μπορεί να αποτελέσει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για την εκπαίδευση στη Βασική Υποστήριξη Ζωής.

⁹ Castillo, J., Rodríguez-Higueras, E., Belmonte, R., Rodríguez, C., López, A., & Gallart, A. (2023). Efficacy of Virtual Reality Simulation in Teaching Basic Life Support and Its Retention at 6 Months. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4095.

1.4 Χρήση Γαντιών από Ιατρικό Προσωπικό και Ασθενείς

Αποκατάσταση της κινητικότητας του χεριού μέσω Εικονικής Πραγματικότητας και έξυπνων γαντιών

Η αξιοποίηση της Εικονικής Πραγματικότητας σε συνδυασμό με έξυπνα γάντια (Smart Gloves) αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση στον τομέα της κινητικής αποκατάστασης των άνω άκρων. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να υποστηρίξει ασθενείς με κινητικές δυσλειτουργίες που οφείλονται σε εγκεφαλικά επεισόδια, νευρολογικές παθήσεις ή τραυματισμούς. Δεδομένου ότι η διαδικασία αποκατάστασης απαιτεί συστηματική και επαναλαμβανόμενη εξάσκηση, η ενσωμάτωση διαδραστικών εικονικών περιβαλλόντων και στοιχείων παιχνιδιοποίησης (Gamification) μπορεί να ενισχύσει το ενδιαφέρον και τη συμμετοχή των ασθενών στο θεραπευτικό πρόγραμμα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έρευνα των Alexandre et al. (2019)¹⁰, στην οποία παρουσιάζεται η ανάπτυξη ενός συστήματος αποκατάστασης των άνω άκρων μέσω VR και φορετών αισθητήρων. Το σύστημα περιλαμβάνει έξυπνα γάντια με αισθητήρες κάμψης (Flex Sensors) και δύναμης (Force Sensors), μικροελεγκτή Arduino Nano και ασύρματη επικοινωνία μέσω Bluetooth. Οι αισθητήρες καταγράφουν τις κινήσεις των δακτύλων και μεταδίδουν τα δεδομένα σε μια υπολογιστική πλατφόρμα, επιτρέποντας την αλληλεπίδραση του χρήστη με ειδικά σχεδιασμένα θεραπευτικά παιχνίδια σε εικονικό περιβάλλον. Παράλληλα, το σύστημα υποστηρίζει την καταγραφή και επεξεργασία δεδομένων σχετικά με την κινητική απόδοση, διευκολύνοντας την παρακολούθηση της προόδου του ασθενούς¹¹.

Η χρήση οικονομικών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας δημιουργεί προοπτικές ανάπτυξης προσιτών και ευέλικτων συστημάτων αποκατάστασης, με δυνατότητα εφαρμογής και εκτός εξειδικευμένων θεραπευτικών εγκαταστάσεων. Επιπλέον, η αξιοποίηση εικονικών ασκήσεων μπορεί να ενισχύσει τη συνέπεια των ασθενών στην εκτέλεση επαναλαμβανόμενων κινήσεων. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία τέτοιων συστημάτων απαιτούν περαιτέρω κλινική αξιολόγηση, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η συμβολή τους στη βελτίωση της κινητικής λειτουργικότητας.

¹⁰ Alexandre, R., Postolache, O., & Girão, P. M. (2019). Physical Rehabilitation Based on Smart Wearable and Virtual Reality Serious Game. 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Auckland, New Zealand, pp. 1–6.

¹¹ Lee, K. T., Chee, P. S., Lim, E. H., & Kam, Y. H. (2023). Development of flexible glove sensors for virtual reality (VR) applications. Materials Today: Proceedings.

1.5 Περιορισμοί και προκλήσεις

Παρά τις σημαντικές δυνατότητες της Εικονικής Πραγματικότητας, η ενσωμάτωσή της στον τομέα της υγείας συνοδεύεται από τεχνικές, οικονομικές και οργανωτικές προκλήσεις. Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς είναι το κόστος ανάπτυξης και συντήρησης εξειδικευμένων εφαρμογών, το οποίο περιλαμβάνει την προμήθεια εξοπλισμού, την ανάπτυξη λογισμικού και τη δημιουργία ρεαλιστικών εικονικών περιβαλλόντων. Σύμφωνα με τους Kouijzer et al. (2023)¹², πρόσθετα εμπόδια αποτελούν η ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού, η περιορισμένη εξοικείωση των επαγγελματιών υγείας με την τεχνολογία και οι δυσκολίες ενσωμάτωσής της στις υφιστάμενες κλινικές διαδικασίες. Η ανασκόπηση αναφέρει ενδεικτικά ότι το κόστος ανάπτυξης εξατομικευμένων εφαρμογών μπορεί να κυμαίνεται περίπου από 40.000 έως 200.000 δολάρια.

Παράλληλα, η χρήση συστημάτων VR παρουσιάζει τεχνικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την άνεση του εξοπλισμού, την ακρίβεια παρακολούθησης των κινήσεων, την καθυστέρηση απόκρισης και τη δυνατότητα αναπαραγωγής πραγματικών συνθηκών. Ιδιαίτερα στις ιατρικές εφαρμογές, η περιορισμένη απτική ανάδραση και η αδυναμία πλήρους προσομοίωσης της φυσικής αλληλεπίδρασης με τους ιστούς μπορούν να επηρεάσουν τον ρεαλισμό της εμπειρίας. Επιπλέον, η επεξεργασία ευαίσθητων δεδομένων υγείας δημιουργεί απαιτήσεις προστασίας της ιδιωτικότητας και ασφάλειας των πληροφοριών, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται δικτυακές και υπολογιστικές υποδομές νέφους (Cloud Computing).

Ένα ακόμη ζήτημα αφορά τις πιθανές ανεπιθύμητες επιδράσεις της παρατεταμένης χρήσης, όπως ζάλη, ναυτία, οπτική κόπωση και αποπροσανατολισμός, συμπτώματα που συνδέονται με το φαινόμενο της κυβερνοναυτίας (Cybersickness). Συνεπώς, η αξιοποίηση της Εικονικής Πραγματικότητας σε κλινικά περιβάλλοντα απαιτεί κατάλληλο σχεδιασμό, εξατομίκευση των εφαρμογών και επαρκή επίβλεψη από εξειδικευμένο προσωπικό. Η VR θα πρέπει επομένως να αντιμετωπίζεται ως συμπληρωματικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να ενισχύσει τις καθιερωμένες ιατρικές πρακτικές, χωρίς να υποκαθιστά την ανθρώπινη εμπειρία και την άμεση κλινική αξιολόγηση.

1.6 Προτάσεις για την αντιμετώπιση των περιορισμών

Μια σημαντική στρατηγική είναι η ανάπτυξη πρωτοτύπων και η διεξαγωγή πιλοτικών μελετών πριν από την τελική υλοποίηση ενός συστήματος. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να εντοπίζονται προβλήματα σχεδιασμού και χρηστικότητας σε πρώιμο στάδιο, μειώνοντας το κόστος των τελικών τροποποιήσεων.

¹² Kouijzer, M. M. T. E., Kip, H., Bouman, Y. H. A., & Kelders, S. M. (2023). Implementation of virtual reality in healthcare: A scoping review on the implementation process of virtual reality in various healthcare settings. *Implementation Science Communications*, 4, 67.

Επιπλέον, είναι απαραίτητη η εκπαίδευση των επαγγελματιών υγείας. Η τεχνολογία από μόνη της δεν μπορεί να βελτιώσει την περίθαλψη εάν οι χρήστες δεν γνωρίζουν πώς να τη χρησιμοποιούν σωστά. Η εκπαίδευση πρέπει να αφορά τόσο τον τεχνικό χειρισμό όσο και την κατάλληλη ενσωμάτωση της VR στην κλινική πρακτική.

Για εφαρμογές που πραγματοποιούνται στο σπίτι, όπως η τηλε-αποκατάσταση, είναι σημαντικό να υπάρχει αρχική αξιολόγηση από επαγγελματία υγείας και κατάλληλη επίβλεψη. Η ανασκόπηση προτείνει ο ασθενής να έχει αρχικά φυσική επαφή με τον επαγγελματία υγείας και, εφόσον χρησιμοποιήσει VR εκτός του κλινικού περιβάλλοντος, να έχει προηγουμένως εκπαιδευτεί και να παρακολουθείται κατάλληλα.

1.7 Μελλοντικές προοπτικές

Η μελλοντική ανάπτυξη της VR στην υγεία φαίνεται να συνδέεται κυρίως με την εξατομίκευση, την τεχνητή νοημοσύνη, τη μηχανική μάθηση και τις προηγμένες τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Η δημιουργία εξατομικευμένων εικονικών περιβαλλόντων μπορεί να επιτρέψει σε κάθε ασθενή να λαμβάνει διαφορετική εμπειρία ανάλογα με τις ανάγκες και την πρόοδό του.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυνατότητα συνεχούς συλλογής και ανάλυσης δεδομένων. Μελλοντικά συστήματα θα μπορούσαν να παρακολουθούν την απόδοση ενός ασθενούς κατά τη διάρκεια της θεραπείας και να προσαρμόζουν αυτόματα το πρόγραμμα. Παράλληλα, η χρήση ΑΙ μπορεί να επιτρέψει την ανάπτυξη πιο «έξυπνων» εικονικών περιβαλλόντων που ανταποκρίνονται στη συμπεριφορά του χρήστη.

Η βελτίωση των δικτύων 5G και το 6G μπορεί να διευκολύνει την απομακρυσμένη συνεργασία μεταξύ επαγγελματιών υγείας. Ένας ειδικός θα μπορούσε, για παράδειγμα, να υποστηρίζει έναν επαγγελματία που βρίσκεται σε διαφορετική περιοχή, ενώ οι εκπαιδευόμενοι θα μπορούν να παρακολουθούν ιατρικές διαδικασίες από απόσταση. Η ανασκόπηση αναδεικνύει επίσης την προοπτική χρήσης της VR για εκπαίδευση σε περιοχές με περιορισμένους πόρους και για προετοιμασία απέναντι σε επιδημίες.

Παρόλα αυτά, η τεχνολογική εξέλιξη θα πρέπει να συνοδεύεται από κλινική αξιολόγηση. Η αποτελεσματικότητα μιας εφαρμογής δεν θα πρέπει να θεωρείται δεδομένη μόνο επειδή η τεχνολογία είναι προηγμένη. Απαιτούνται μελέτες που να αξιολογούν την πραγματική επίδραση της VR σε διαφορετικούς πληθυσμούς και κλινικές καταστάσεις.

1.8 Συμπεράσματα

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της Εικονικής Πραγματικότητας είναι η δυνατότητα δημιουργίας ασφαλών και ελεγχόμενων περιβαλλόντων προσομοίωσης, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο στην εκπαίδευση επαγγελματιών υγείας όσο και στη θεραπευτική υποστήριξη ασθενών. Ειδικότερα, οι επαγγελματίες υγείας μπορούν να εξασκούνται σε σύνθετες ιατρικές διαδικασίες χωρίς να εκθέτουν πραγματικούς ασθενείς σε κίνδυνο, ενώ οι ασθενείς μπορούν να επωφελούνται από εφαρμογές διαχείρισης του πόνου και του άγχους, καθώς και από εξατομικευμένα προγράμματα αποκατάστασης με αυξημένα επίπεδα διαδραστικότητας.

Παράλληλα, η VR μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ ασθενών και επαγγελματιών υγείας, μέσω της τρισδιάστατης απεικόνισης ανατομικών δομών και θεραπευτικών διαδικασιών. Η δυνατότητα οπτικοποίησης σύνθετων ιατρικών πληροφοριών διευκολύνει την κατανόηση της φύσης μιας πάθησης και των διαθέσιμων θεραπευτικών επιλογών, ενισχύοντας την ενεργότερη συμμετοχή των ασθενών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Ωστόσο, η ευρύτερη υιοθέτηση της Εικονικής Πραγματικότητας συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις, όπως το κόστος εξοπλισμού και ανάπτυξης λογισμικού, οι τεχνικοί περιορισμοί, η ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού και η προστασία ευαίσθητων δεδομένων υγείας. Επιπλέον, η πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητων επιδράσεων, όπως ζάλη και οπτική κόπωση, καθώς και η αδυναμία πλήρους αναπαραγωγής των πραγματικών κλινικών συνθηκών, καθιστούν απαραίτητη την προσεκτική ενσωμάτωση της τεχνολογίας στις υφιστάμενες ιατρικές πρακτικές.

Συνεπώς, η Εικονική Πραγματικότητα δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως υποκατάστατο των συμβατικών μεθόδων εκπαίδευσης και θεραπείας, αλλά ως συμπληρωματικό εργαλείο που μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητά τους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελλοντική ενσωμάτωσή της με τεχνολογίες AI, ML και προηγμένα δίκτυα επικοινωνιών 5G/6G, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν περισσότερο εξατομικευμένες, προσαρμοστικές και διαδραστικές εφαρμογές, καθώς και υπηρεσίες απομακρυσμένης εκπαίδευσης και αποκατάστασης.

Συνολικά, η Εικονική Πραγματικότητα αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία με σημαντικές προοπτικές για τον μετασχηματισμό της υγειονομικής περίθαλψης. Ωστόσο, η επιτυχής αξιοποίησή της εξαρτάται όχι μόνο από την τεχνολογική εξέλιξη, αλλά και από την επιστημονική τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητάς της, την οικονομική προσβασιμότητα, την κατάλληλη εκπαίδευση των χρηστών και την ασφαλή ενσωμάτωσή της στην κλινική πρακτική. Η περαιτέρω έρευνα και η ανάπτυξη ολοκληρωμένων λύσεων αναμένεται να συμβάλουν στη δημιουργία περισσότερο αποτελεσματικών, ασφαλών και προσβάσιμων υπηρεσιών υγείας.

1.9 Ιστορική Αναδρομή: Η εξέλιξη των γαντιών VR J6

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της VR είναι η δυνατότητα δημιουργίας ασφαλών και ελεγχόμενων περιβαλλόντων προσομοίωσης, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν τόσο στην εκπαίδευση επαγγελματιών υγείας όσο και στη θεραπευτική υποστήριξη ασθενών. Ειδικότερα, οι επαγγελματίες υγείας μπορούν να εξασκούνται σε σύνθετες ιατρικές διαδικασίες χωρίς να εκθέτουν πραγματικούς ασθενείς σε κίνδυνο, ενώ οι ασθενείς μπορούν να επωφελούνται από εφαρμογές

διαχείρισης του πόνου και του άγχους, καθώς και από εξατομικευμένα προγράμματα αποκατάστασης με αυξημένα επίπεδα διαδραστικότητας.

Παράλληλα, η VR μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της επικοινωνίας μεταξύ ασθενών και επαγγελματιών υγείας, μέσω της τρισδιάστατης απεικόνισης ανατομικών δομών και θεραπευτικών διαδικασιών. Η δυνατότητα οπτικοποίησης σύνθετων ιατρικών πληροφοριών διευκολύνει την κατανόηση της φύσης μιας πάθησης και των διαθέσιμων θεραπευτικών επιλογών, ενισχύοντας την ενεργότερη συμμετοχή των ασθενών στη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Ωστόσο, η ευρύτερη υιοθέτηση της Εικονικής Πραγματικότητας συνοδεύεται από σημαντικές προκλήσεις, όπως το κόστος εξοπλισμού και ανάπτυξης λογισμικού, οι τεχνικοί περιορισμοί, η ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού και η προστασία ευαίσθητων δεδομένων υγείας. Επιπλέον, η πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθύμητων επιδράσεων, όπως ζάλη και οπτική κόπωση, καθώς και η αδυναμία πλήρους αναπαραγωγής των πραγματικών κλινικών συνθηκών, καθιστούν απαραίτητη την προσεκτική ενσωμάτωση της τεχνολογίας στις υφιστάμενες ιατρικές πρακτικές.

Συνεπώς, η Εικονική Πραγματικότητα δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως υποκατάστατο των συμβατικών μεθόδων εκπαίδευσης και θεραπείας, αλλά ως συμπληρωματικό εργαλείο που μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητά τους. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελλοντική ενσωμάτωσή της με τεχνολογίες Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), Μηχανικής Μάθησης (ML) και προηγμένα δίκτυα επικοινωνιών 5G/6G, τα οποία μπορούν να υποστηρίξουν περισσότερο εξατομικευμένες, προσαρμοστικές και διαδραστικές εφαρμογές, καθώς και υπηρεσίες απομακρυσμένης εκπαίδευσης και αποκατάστασης.

Συνολικά, η Εικονική Πραγματικότητα αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία με σημαντικές προοπτικές για τον μετασχηματισμό της υγειονομικής περίθαλψης. Ωστόσο, η επιτυχής αξιοποίησή της εξαρτάται όχι μόνο από την τεχνολογική εξέλιξη, αλλά και από την επιστημονική τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητάς της, την οικονομική προσβασιμότητα, την κατάλληλη εκπαίδευση των χρηστών και την ασφαλή ενσωμάτωσή της στην κλινική πρακτική. Η περαιτέρω έρευνα και η ανάπτυξη ολοκληρωμένων λύσεων αναμένεται να συμβάλουν στη δημιουργία περισσότερο αποτελεσματικών, ασφαλών και προσβάσιμων υπηρεσιών υγείας.

1.10 Δημιουργία γαντιών – πως ξεκίνησε η ιδέα

Το κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας προέκυψε από τον συνδυασμό του ακαδημαϊκού υπόβαθρου στον τομέα της Μηχανικής Πληροφοριακών και Επικοινωνιακών Συστημάτων με την τριετή εθελοντική εμπειρία στην Ελληνική Ομάδα Διάσωσης. Η σύνδεση των δύο αυτών πεδίων ανέδειξε τη δυνατότητα αξιοποίησης σύγχρονων τεχνολογιών πληροφορικής για την υποστήριξη της εκπαίδευσης και της κατάρτισης επαγγελματιών υγείας, με ιδιαίτερη έμφαση στο διασωστικό προσωπικό.

Η εκπαίδευση των διασωστών παρουσιάζει ιδιαίτερες απαιτήσεις, καθώς, πέρα από την παροχή πρώτων βοηθειών και την αντιμετώπιση επειγόντων περιστατικών, προϋποθέτει τη διαχείριση σύνθετων και συχνά απρόβλεπτων συνθηκών. Παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές δυσκολίες, η σωματική και ψυχολογική καταπόνηση, η πίεση χρόνου και η ανάγκη άμεσης λήψης αποφάσεων καθιστούν απαραίτητη την ανάπτυξη αποτελεσματικών και ρεαλιστικών εκπαιδευτικών μεθόδων.

Στο πλαίσιο αυτό, βασικό αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη έξυπνων γαντιών για εφαρμογές Εικονικής Πραγματικότητας (Virtual Reality – VR), με δυνατότητες παρακολούθησης των κινήσεων των δακτύλων (Finger Tracking) και παροχής απτικής ανάδρασης (Haptic Feedback). Σκοπός είναι η υποστήριξη της εκπαίδευσης στις πρώτες βοήθειες μέσω διαδραστικών σεναρίων προσομοίωσης, τα οποία επιτρέπουν στους εκπαιδευόμενους να αλληλεπιδρούν με εικονικά αντικείμενα και να εξασκούνται σε διαδικασίες που προσεγγίζουν πραγματικές συνθήκες αντιμετώπισης επειγόντων περιστατικών.

Η ενσωμάτωση φορετών συσκευών σε περιβάλλοντα Εικονικής Πραγματικότητας δημιουργεί προοπτικές για την ανάπτυξη οικονομικά προσιτών και ευέλικτων εκπαιδευτικών συστημάτων. Παράλληλα, η καταγραφή και ανάλυση δεδομένων κίνησης μπορεί να υποστηρίξει την αντικειμενικότερη αξιολόγηση της εκτέλεσης των ασκήσεων και την παροχή εξατομικευμένης ανατροφοδότησης. Επιπλέον, αντίστοιχες τεχνολογικές προσεγγίσεις παρουσιάζουν δυνατότητες αξιοποίησης σε εφαρμογές κινητικής αποκατάστασης και θεραπευτικής υποστήριξης ασθενών.

Συνολικά, η παρούσα εργασία επιδιώκει να διερευνήσει τις δυνατότητες συνδυασμού της Εικονικής Πραγματικότητας με τεχνολογίες παρακολούθησης κίνησης και απτικής ανάδρασης, με έμφαση στην εκπαίδευση του διασωστικού προσωπικού. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποσκοπεί στη δημιουργία ενός τεχνολογικού υποβάθρου που θα μπορούσε να συμβάλει στην ανάπτυξη περισσότερο διαδραστικών, προσβάσιμων και αποτελεσματικών μεθόδων εκπαίδευσης, τόσο στον προνοσοκομειακό όσο και στον νοσοκομειακό τομέα.

1.11 Δομή της διπλωματικής

Η διπλωματική έχει ως θέμα τα γάντια εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της υγείας. Για αυτόν τον λόγο αξίζει να σημειωθεί πως έχει περισσότερο πρακτικό χαρακτήρα παρά θεωρητικό, είναι σημαντική λεπτομέρεια για τον εξής λόγο πως λόγω της δημιουργίας των γαντιών υπάρχουν περισσότερες αναφορές στην δημιουργία τους παρά σε πηγές (που να σημειωθεί πως επειδή το συγκεκριμένο θέμα είναι σχετικά καινούριο σαν υλοποίηση, δεν υπάρχουν δηλαδή πολλές πηγές πάνω στο συγκεκριμένο θέμα για να αναπτυχθεί, για αυτό υπάρχουν έρευνες και εικονικής πραγματικότητας γενικώς). Έχουμε δύο ενότητες, η πρώτη ενότητα καλύπτει το θεωρητικό μέρος της εικονικής πραγματικότητας στον τομέα της υγείας, έχοντας βρει σχετικές έρευνες από προ νοσοκομειακό και νοσοκομειακό τομέα. Επίσης υπάρχει και μια υποενότητα που να εξηγεί την ιστορία δημιουργίας των γαντιών αλλά και της εικονικής πραγματικότητας. Συνεχίζουμε στο δεύτερο κεφάλαιο που ξεκινάει το πρακτικό μέρος, αναφέρονται αρχικά στάδια δημιουργίας σε μορφή σχεδιαγράμματος, έπειτα συντονίζεται η συλλογή των υλικών και στην συνέχεια η κατασκευή των γαντιών και η χρήση τους σε υποστηριζόμενο περιβάλλον για να δοκιμαστούν και να φτιαχτούν τυχόν θέματα που μπορεί να προέκυψαν κατά την διάρκεια αυτή. Κλείνοντας, υπάρχουν έτοιμα βίντεο που δείχνουν την λειτουργία των γαντιών σαν proof of concept που δείχνουν την λειτουργία τους για ευρή χρήση.

2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΤΑ ΓΑΝΤΙΑ VR ΣΤΗΝ ΥΠΗΡΕΣΙΑ

ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ

2.1 Η Ιδέα της Απτικής Ανατροφοδότησης στην Αποκατάσταση

Η αρχική κατεύθυνση της παρούσας διπλωματικής εργασίας βασίστηκε στην επιθυμία συνδυασμού του τομέα της Πληροφορικής και των σύγχρονων τεχνολογιών με τις εφαρμογές τους στον χώρο της υγείας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η ανάπτυξη συστημάτων υλικού (Hardware), με έμφαση στον τρόπο λειτουργίας των ιατροτεχνολογικών συσκευών και στη δυνατότητά τους να υποστηρίζουν και να βελτιώνουν την παροχή υπηρεσιών υγείας.

Καθοριστικό παράγοντα για την περαιτέρω διαμόρφωση της ιδέας αποτέλεσε η συμμετοχή στην Ελληνική Ομάδα Διάσωσης, και συγκεκριμένα στο παράρτημα της Σάμου. Η εμπειρία αυτή ανέδειξε τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της προνοσοκομειακής φροντίδας και την ανάγκη ανάπτυξης τεχνολογικών λύσεων που μπορούν να υποστηρίξουν την εκπαίδευση και την πρακτική εξάσκηση του διασωστικού προσωπικού.

Παράλληλα, σημαντική πηγή έμπνευσης αποτέλεσε το έργο του δημιουργού περιεχομένου LucasVR, ο οποίος ανέπτυξε ένα σύστημα χειροποίητων γαντιών VR, με στόχο τη δημιουργία μιας οικονομικά προσιτής εναλλακτικής λύσης έναντι των εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση ανέδειξε τη δυνατότητα κατασκευής λειτουργικών συσκευών αλληλεπίδρασης με εικονικά περιβάλλοντα μέσω της αξιοποίησης προσιτών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και τεχνολογιών ανοιχτού σχεδιασμού.

Ο συνδυασμός της συγκεκριμένης τεχνολογικής προσέγγισης με την εμπειρία στον τομέα της διάσωσης οδήγησε στη διαμόρφωση της κεντρικής ιδέας της διπλωματικής εργασίας: την ανάπτυξη χειροποίητων έξυπνων γαντιών Εικονικής Πραγματικότητας, προσανατολισμένων σε εφαρμογές εκπαίδευσης και εξάσκησης στον τομέα της υγείας. Βασική επιδίωξη αποτελεί η ενίσχυση του ρεαλισμού και της διαδραστικότητας κατά την εκτέλεση εικονικών εκπαιδευτικών σεναρίων, μέσω της παρακολούθησης των κινήσεων των δακτύλων (Finger Tracking) και της παροχής απτικής ανάδρασης (Haptic Feedback).

Η προτεινόμενη προσέγγιση αποσκοπεί στη διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης ενός οικονομικά προσιτού και λειτουργικού συστήματος, το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από εκπαιδευτές πρώτων βοηθειών, διασώστες και επαγγελματίες υγείας. Μέσω της αλληλεπίδρασης με εικονικά αντικείμενα και της προσομοίωσης πρακτικών διαδικασιών, επιδιώκεται η δημιουργία ενός τεχνολογικού υποβάθρου που θα συμβάλλει στην ανάπτυξη περισσότερο εμπυθιστικών και διαδραστικών εκπαιδευτικών εφαρμογών.

2.2 Αρχές κινητικής

Πριν από την παρουσίαση του υλικού μέρους της διπλωματικής εργασίας, κρίνεται απαραίτητη μια σύντομη αναφορά σε βασικές έννοιες της κινηματικής.

Τα τελευταία χρόνια, τα συστήματα εικονικής, επαυξημένης και μικτής πραγματικότητας, γνωστά συνολικά ως XR, έχουν εξελιχθεί σημαντικά, προσφέροντας πλουσιότερες και περισσότερο εμπυθιστικές εμπειρίες. Τα σύγχρονα, σχετικά χαμηλού κόστους HMDs, όπως τα Oculus Rift και HTC Vive, παρέχουν υψηλής πιστότητας τρισδιάστατα γραφικά περιβάλλοντα, τα οποία επιτρέπουν στους χρήστες να βιώνουν εικονικές εμπειρίες με αυξημένο βαθμό ρεαλισμού. Ωστόσο, οι συγκεκριμένες λύσεις εστιάζουν κυρίως στις αισθήσεις της όρασης και της ακοής.

Για την επίτευξη μιας περισσότερο ρεαλιστικής εμπειρίας, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη και άλλες αισθήσεις, ιδιαίτερα η απτική ανάδραση, η οποία βασίζεται σε κιναισθητικές και απτικές αλληλεπιδράσεις. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι χρήστες βιώνουν μεγαλύτερο βαθμό εμπύθισης σε περιβάλλοντα XR όταν έχουν τη δυνατότητα να αγγίζουν εικονικά αντικείμενα και να λαμβάνουν αντίστοιχα απτικά ερεθίσματα. Παράλληλα, η αλληλεπίδραση μέσω ενεργών κινήσεων συμβάλλει στην ανάπτυξη της «αίσθησης αυτενέργειας» (sense of agency), δηλαδή της υποκειμενικής αίσθησης ότι το άτομο ελέγχει τις ενέργειες και τις κινήσεις του.

Οι περισσότερες εμπορικές λύσεις χρησιμοποιούν χειριστήρια χειρός, εξοπλισμένα με κουμπιά και αδρανειακούς αισθητήρες, για την αλληλεπίδραση με συστήματα XR. Σε αρκετές περιπτώσεις ενσωματώνονται και κινητήρες δόνησης για την παροχή περιορισμένης απτικής ανάδρασης, όπως, για παράδειγμα, η παραγωγή δόνησης κατά την εικονική σύγκρουση με ένα αντικείμενο ή μια δομή (π.χ. έναν τοίχο). Επιπλέον, υπάρχουν συστήματα παρακολούθησης του σώματος, τα οποία επιτρέπουν την αναπαράσταση του χρήστη ή συγκεκριμένων μελών του σώματός του, όπως το χέρι, μέσα στο εικονικό περιβάλλον.

Παρόλα αυτά, οι συγκεκριμένες λύσεις δεν εξασφαλίζουν πάντοτε φυσική και διαισθητική αλληλεπίδραση, κυρίως επειδή η χρήση χειριστηρίων περιορίζει τη δυνατότητα των χρηστών να εκτελούν φυσικές κινήσεις σύλληψης και χειρισμού εικονικών αντικειμένων. Κατά συνέπεια, η επίτευξη μιας περισσότερο εμπυθιστικής εμπειρίας XR απαιτεί την ανάπτυξη συσκευών που διευκολύνουν τη φυσική αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, επιτρέποντας την ελεύθερη κίνηση των χεριών, την αναγνώριση χειρονομιών και την παροχή απτικής ανάδρασης. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει μια πιο ρεαλιστική αίσθηση της αλληλεπίδρασης με τα αντικείμενα και τα γεγονότα του εικονικού περιβάλλοντος.

Μεταξύ των προτεινόμενων λύσεων, τα έξυπνα γάντια αποτελούν μία από τις πλέον υποσχόμενες τεχνολογίες για την ενίσχυση της αίσθησης εμπύθισης, της ενσώματης παρουσίας και της ταύτισης με το εικονικό περιβάλλον. Βασικός τους στόχος είναι να επιτρέπουν στους χρήστες να αγγίζουν και να χειρίζονται εικονικά αντικείμενα με περισσότερο διαισθητικό και άμεσο τρόπο, παρέχοντας παράλληλα κιναισθητική και απτική ανάδραση.

Επιπλέον, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και οι μη λειτουργικές απαιτήσεις των συσκευών αυτών. Ειδικότερα, τα γάντια θα πρέπει να διαθέτουν μικρό μέγεθος και βάρος, να είναι άνετα και εύκολα στη μεταφορά, καθώς και να μην περιορίζουν τη φυσική κινητικότητα του χρήστη. Παράλληλα, είναι επιθυμητό να μπορούν να προσαρμόζονται σε διαφορετικά μεγέθη και ανατομικά χαρακτηριστικά χεριών. Γενικότερα, τέτοιου είδους συσκευές παρουσιάζουν σημαντικές

δυνατότητες αξιοποίησης σε εφαρμογές XR, αποκατάστασης ασθενών, τηλεχειρισμού, εικονικής χειρουργικής, εκπαίδευσης, βιομηχανικών διαδικασιών και βιντεοπαιχνιδιών.

Η ιδέα των έξυπνων γαντιών δεν αποτελεί πρόσφατη τεχνολογική προσέγγιση. Οι πρώτες προτάσεις για συσκευές αλληλεπίδρασης βασισμένες στις κινήσεις του χεριού εμφανίστηκαν ήδη από το 1978. Στη συνέχεια, κατά τη δεκαετία του 1980, αναπτύχθηκαν τα πρώτα Data Gloves και Power Gloves, τα οποία αξιοποιούσαν διαφορετικές τεχνολογίες αντίληψης, όπως οπτικούς, υπερηχητικούς και μαγνητικούς αισθητήρες. Έκτοτε, η έρευνα και ανάπτυξη στον συγκεκριμένο τομέα συνεχίστηκε, οδηγώντας σε διαφορετικές τεχνολογικές προσεγγίσεις και κατηγορίες συσκευών, όπως data gloves, haptic gloves και VR gloves.

Παρά τις πολυετείς προσπάθειες ανάπτυξης, τα έξυπνα γάντια δεν έχουν ακόμη καθιερωθεί σε ευρεία κλίμακα. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αυξημένο ερευνητικό και εμπορικό ενδιαφέρον, το οποίο ενισχύεται από την πρόοδο των φορετών τεχνολογιών και των συστημάτων XR. Σήμερα διατίθενται διάφορες εμπορικές λύσεις έξυπνων γαντιών, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται σημαντικός αριθμός ερευνητικών εφαρμογών που αξιοποιούν τις δυνατότητές τους.

Μία από τις βασικές προκλήσεις αποτελεί η σύγκριση των διαφορετικών συσκευών και η επιλογή της καταλληλότερης λύσης ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζονται και αναλύονται υφιστάμενες εμπορικές λύσεις έξυπνων γαντιών, με στόχο την κατανόηση των τεχνολογικών χαρακτηριστικών, των δυνατοτήτων και των περιορισμών τους, καθώς και την αξιοποίηση των σχετικών συμπερασμάτων για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη του συστήματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.3 Έξυπνα Γάντια και Απτική Αλληλεπίδραση σε Περιβάλλοντα Εκτεταμένης Πραγματικότητας

Ο καρπός παρέχει τρεις επιπλέον βαθμούς ελευθερίας, συμπληρώνοντας συνολικά τους 23 βαθμούς ελευθερίας του ανθρώπινου χεριού. Οι κινήσεις αυτές είναι οι εξής:

- **Κάμψη/Εκταση (E/F ή pitch):**

Η έκταση είναι η ραχιαία κλίση, κατά την οποία το χέρι κινείται προς το πίσω μέρος του καρπού. Η κάμψη είναι η παλαμιαία κλίση, όπου το χέρι κινείται προς την πρόσθια πλευρά του καρπού.

- **Απαγωγή/Προσαγωγή (A/A ή yaw):**

Η απαγωγή είναι η κερκιδική ή πλάγια απόκλιση, όπου το χέρι απομακρύνεται από τη μέση γραμμή του σώματος. Η προσαγωγή είναι η ωλένια ή έσω απόκλιση, όπου το χέρι πλησιάζει τη μέση γραμμή του σώματος.

- **Πρηνισμός/Υπτιασμός(P/S ή roll):**

Ο πρηνισμός είναι η εσωτερική περιστροφή του χεριού από ουδέτερη θέση, έτσι ώστε η ράχη του χεριού να στρέφεται προς τα επάνω (π.χ. στάση για να πιάσουμε ψωμί). Ο υπτιασμός είναι η εξωτερική περιστροφή από ουδέτερη θέση, έτσι ώστε η παλάμη να στρέφεται προς τα επάνω (στάση επαιτείας).

Το ανθρώπινο χέρι μπορεί να εκτελέσει και άλλες κινήσεις, όπως η κάμψη της παλάμης. Ωστόσο, οι κινήσεις αυτές θεωρούνται λιγότερο σημαντικές, ιδιαίτερα σε σχέση με την αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή, και συνήθως δεν ανιχνεύονται από τα έξυπνα γάντια.

Η λεπτομερής κατανόηση της ανατομίας και των βαθμών ελευθερίας του χεριού είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των έξυπνων γαντιών. Ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας που μπορεί να ανιχνεύσει ένα έξυπνο γάντι, καθώς και το είδος των κινήσεων που καλύπτει (κάμψη, έκταση, απαγωγή, προσαγωγή, περιστροφή), καθορίζουν άμεσα την ακρίβεια της εκτίμησης της στάσης του χεριού και την ικανότητα αναγνώρισης σύνθετων χειρονομιών.

Στην πράξη, πολλά εμπορικά έξυπνα γάντια δεν ανιχνεύουν όλους τους 23 βαθμούς ελευθερίας, αλλά χρησιμοποιούν απλοποιημένα μοντέλα. Για παράδειγμα, ορισμένα γάντια μετρούν τη μέση κάμψη δύο ή περισσότερων αρθρώσεων (π.χ. PIP και DIP μαζί), ενώ άλλα αγνοούν κινήσεις προσαγωγής/απαγωγής λόγω της δυσκολίας ακριβούς ανίχνευσής τους. Παρ' όλα αυτά, ακόμη και τέτοιες προσεγγίσεις μπορούν να προσφέρουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για πολλές εφαρμογές εικονικής πραγματικότητας, αποκατάστασης ή τηλεχειρισμού.

Η επιλογή των βαθμών ελευθερίας που παρακολουθούνται αποτελεί συμβιβασμό μεταξύ ακρίβειας, πολυπλοκότητας, κόστους και εργονομίας. Ένα γάντι με περισσότερους αισθητήρες μπορεί να προσφέρει υψηλότερη ακρίβεια, αλλά συχνά είναι βαρύτερο, πιο περίπλοκο και λιγότερο άνετο. Αντίθετα, ένα απλούστερο γάντι μπορεί να είναι πιο φορητό και πρακτικό, αλλά με περιορισμένες δυνατότητες ανίχνευσης.

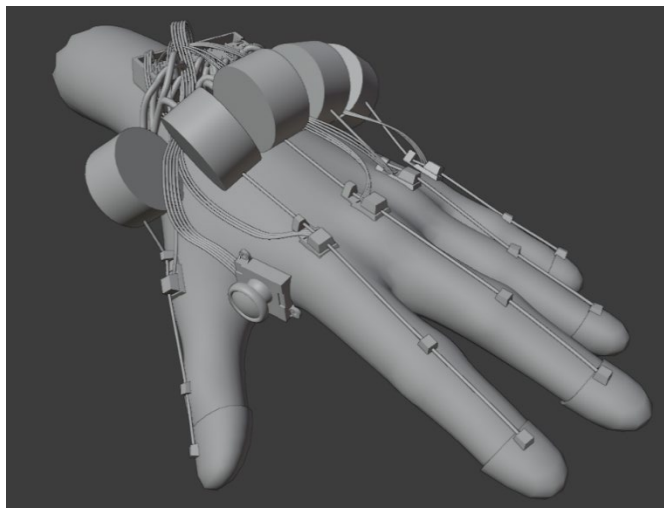
Για τον λόγο αυτό, η κατανόηση του ανθρώπινου χεριού και των λειτουργικών του κινήσεων αποτελεί θεμέλιο για την ανάλυση των εμπορικών έξυπνων γαντιών που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας.

3

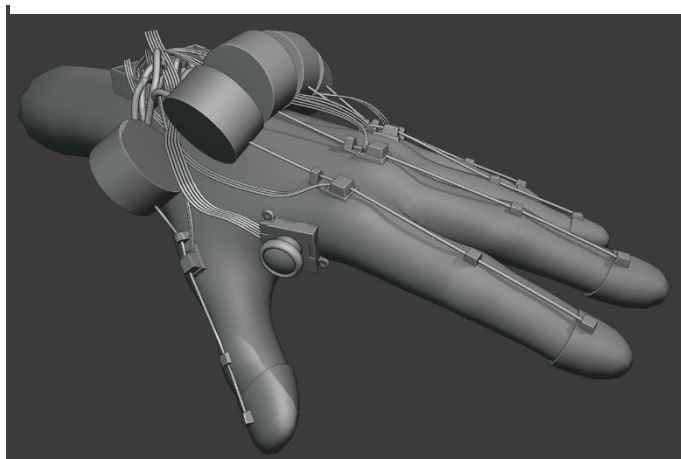
Πρακτική υλοποίηση

Ως πρώτο στάδιο της διαδικασίας ανάπτυξης κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός αρχικού σχεδίου (blueprint), με στόχο τη διαμόρφωση μιας ολοκληρωμένης εικόνας του προτεινόμενου συστήματος. Η συγκεκριμένη διαδικασία δεν περιορίστηκε μόνο στην οπτική αναπαράσταση της κατασκευής, αλλά αποσκοπούσε και στον προσδιορισμό βασικών σχεδιαστικών και λειτουργικών απαιτήσεων, καθώς και στον εντοπισμό πιθανών τεχνικών δυσκολιών που θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη κατά την υλοποίηση.

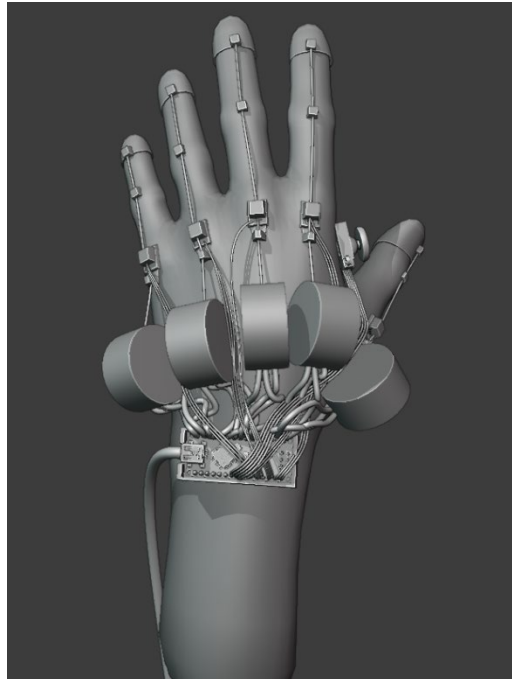
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ενδεικτικά τρισδιάστατα μοντέλα που δημιουργήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Blender, τα οποία αποτυπώνουν τον αρχικό σχεδιασμό και τη δομή των επιμέρους στοιχείων της κατασκευής



Εικόνα 1: Οπτική blueprint Γαντιού A

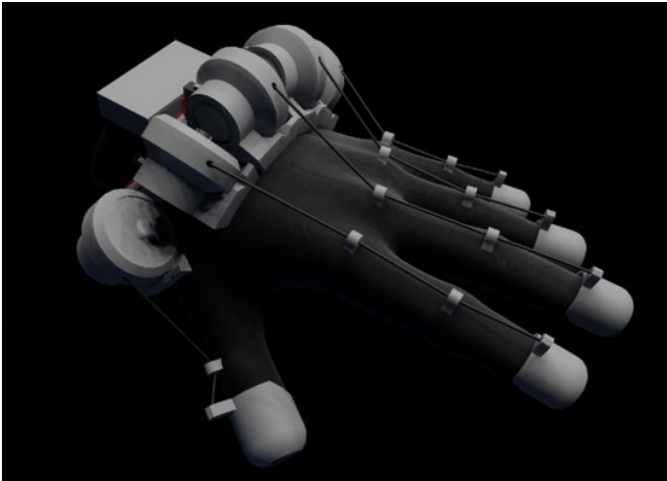


Εικόνα 2: Οπτική blueprint Γαντιού B

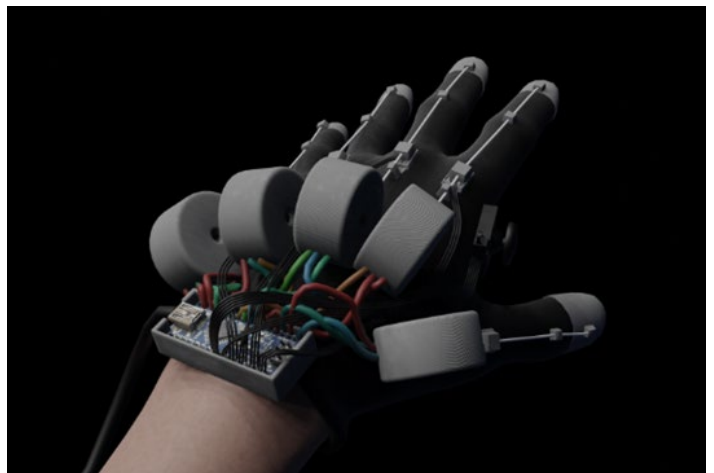


Εικόνα 3 Οπτική blueprint Γαντιού Γ

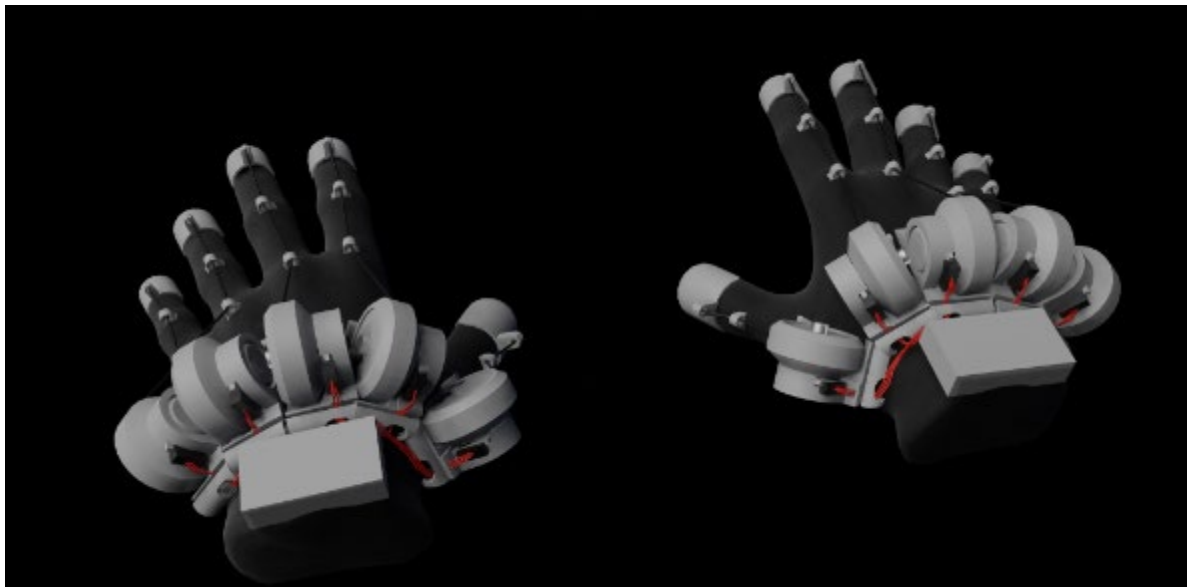
Στις παρακάτω εικόνες βλέπουμε ένα προχωρημένο blueprint με χρώμα για λόγους προσομοίωσης. Ένα αρχικό στάδιο του μοντέλου παρουσιάζεται από διαφορετικές οπτικές γωνίες (μπροστά και πίσω)



Εικόνα 6: Οπτική Γαντιού Α



Εικόνα 4: Οπτική Γαντιού Β



Εικόνα 5: Οπτική Γαντιού Γ

Μετά την ολοκλήρωση του αρχικού σχεδιασμού (blueprint), ακολούθησε η επιλογή και η προμήθεια των απαραίτητων υλικών και εξαρτημάτων, προκειμένου να ξεκινήσει η σταδιακή κατασκευή και υλοποίηση του προτεινόμενου συστήματος.

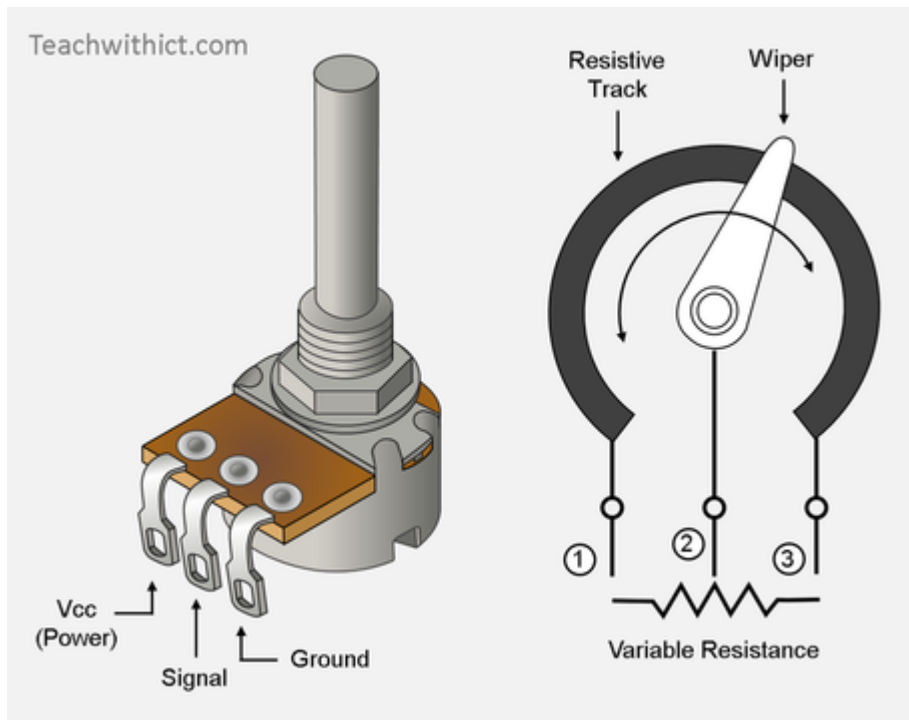


Εικόνα 7: Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Στην φωτογραφία παρουσιάζονται τα απαραίτητα υλικά και εξαρτήματα για την κατασκευή του προτεινόμενου συστήματος, με εξαίρεση τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα μέρη, για τα οποία απαιτείται η λήψη κατάλληλων μετρήσεων και ο προσδιορισμός των ακριβών διαστάσεών τους.

Μεταξύ των υλικών περιλαμβάνονται γάντια κατασκευασμένα από συνθετικό νάιλον (nylon), το οποίο επιλέχθηκε λόγω του μικρού βάρους, της ανθεκτικότητας και της δυνατότητας κυκλοφορίας του αέρα, συμβάλλοντας στην άνεση του χρήστη κατά τη διάρκεια παρατεταμένης χρήσης. Επιπλέον, τα γάντια διαθέτουν αντιολισθητική επιφάνεια στην περιοχή της παλάμης, προσφέροντας καλύτερη πρόσφυση κατά τον χειρισμό αντικειμένων και έναν επιπλέον βαθμό προστασίας. Παράλληλα, το υλικό παρουσιάζει αντοχή στη φθορά και στη συχνή χρήση, χαρακτηριστικά που το καθιστούν κατάλληλο για την κατασκευή και τη λειτουργία του συστήματος.

Στη συνέχεια, χρησιμοποιούνται ποτενσιόμετρα για την ανίχνευση και καταγραφή των κινήσεων των δακτύλων. Συγκεκριμένα, η μεταβολή της γωνιακής θέσης κάθε δακτύλου προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή της αντίστασης του συνδεδεμένου ποτενσιόμετρου, η οποία οδηγεί σε μεταβολή της τάσης εξόδου του κατάλληλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Η τάση αυτή καταγράφεται από τις αναλογικές εισόδους του μικροελεγκτή ESP32 και μετατρέπεται σε ψηφιακή τιμή μέσω του ενσωματωμένου μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC). Με αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση της κίνησης των δακτύλων και η αξιοποίηση των μετρήσεων για την αναπαράστασή τους στο εικονικό περιβάλλον.



Εικόνα 8: Σχεδιάγραμμα ποτενσιόμετρου

Σημείωση: Στον καφέ φάκελο περιλαμβάνονται τα ποτενσιόμετρα, καθώς και τα απαραίτητα παξιμάδια και λοιπά εξαρτήματα, τα οποία έχουν επιλεγεί με βάση τις διαστάσεις και τις προδιαγραφές των τρισδιάστατα εκτυπωμένων μερών της κατασκευής.

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε κονκάρδες με πτυσσόμενο κορδόνι (aka badge reels) έτσι ώστε να εκμεταλευτούμε το **κορδόνι**, το **ελατήριο** και το **τριγωνικό εξάρτημα** που είναι μέσα τους.



Εικόνα 9: Σχεδιάγραμμα κονκάρδας με πτυσσόμενο κορδόνι (badge reels)

Σημείωση: Στη συγκεκριμένη περίπτωση, τα εξαρτήματα που θα χρησιμοποιηθούν από τις κονκάρδες θα ενσωματωθούν απευθείας στα τρισδιάστατα εκτυπωμένα μέρη του γαντιού.

Μετά θα χρειαστούμε συγκεκριμένους σερβοκινητήρες, τους **MG90S**(180 μοιρών) για την απτική ανατροφοδότηση (aka **haptic feedback**)

MG90S SERVO Parameters



Εικόνα 10: Λεπτομέρειες και ιδιότητες ενός σερβοκινητήρα MG90S(180 μοιρών)

Όπως φαίνεται και στη φωτογραφία, η συσκευασία περιλαμβάνει επίσης βίδες και προπέλες, οι οποίες έχουν επιλεγεί με βάση συγκεκριμένες διαστάσεις και σχεδιαστικές προδιαγραφές, ώστε να είναι συμβατές με τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα μέρη των γαντιών και να εξασφαλίζουν τη σωστή συναρμολόγηση και λειτουργία τους.

Επιλογή υλικού για την τρισδιάστατη εκτύπωση

Για την τρισδιάστατη εκτύπωση των εξαρτημάτων της κατασκευής επιλέχθηκε το θερμοπλαστικό υλικό PETG, καθώς προσφέρει έναν ικανοποιητικό συνδυασμό μηχανικής αντοχής, ευκαμψίας, διαστασιακής σταθερότητας και χαμηλού κόστους. Οι βασικοί λόγοι επιλογής του συγκεκριμένου υλικού παρουσιάζονται παρακάτω, με σειρά αυξανόμενης σημασίας για τις απαιτήσεις της κατασκευής.

Ολκιμότητα (Ductility)

Σε σύγκριση με άλλα θερμοπλαστικά υλικά, όπως το PLA, το PETG παρουσιάζει γενικά μεγαλύτερη ολκιμότητα και μικρότερη ευθραυστότητα (Brittleness). Αυτό σημαίνει ότι έχει τη δυνατότητα να υποστεί μεγαλύτερη παραμόρφωση πριν από τη θραύση του, αντί να σπάσει απότομα υπό την επίδραση μηχανικών φορτίων. Η συγκεκριμένη ιδιότητα προσφέρει πλεονεκτήματα στην αντοχή έναντι κρούσεων, πτώσεων και επαναλαμβανόμενων μηχανικών καταπονήσεων, καθιστώντας το κατάλληλο για τα κινητά εξαρτήματα των γαντιών.

Πρόσφυση μεταξύ των στρώσεων και ανισοτροπία (Layer Adhesion and Anisotropy)

Η ισοτροπικότητα (Isotropy) αποτελεί την ιδιότητα ενός υλικού να παρουσιάζει τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες ανεξάρτητα από την κατεύθυνση εφαρμογής των φορτίων. Αντίθετα, τα αντικείμενα που κατασκευάζονται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης παρουσιάζουν συνήθως ανισοτροπική συμπεριφορά, καθώς η μηχανική τους αντοχή επηρεάζεται από τον προσανατολισμό των εκτυπωμένων στρώσεων.

Το PETG χαρακτηρίζεται από σχετικά καλή πρόσφυση μεταξύ των διαδοχικών στρώσεων (Layer Adhesion), γεγονός που μπορεί να περιορίσει τις διαφορές μηχανικής αντοχής μεταξύ του κατακόρυφου άξονα Z και των οριζόντιων αξόνων X και Y. Η συγκεκριμένη ιδιότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για την παρούσα κατασκευή, καθώς ορισμένα εξαρτήματα παρουσιάζουν σύνθετη γεωμετρία, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει πάντοτε ιδανικός προσανατολισμός εκτύπωσης (Optimal Printing Orientation) για τη μεγιστοποίηση της μηχανικής αντοχής τους.

Αντίσταση στον ερπυσμό και διαστασιακή σταθερότητα (Creep Resistance and Dimensional Stability)

Ο ερπυσμός (Creep) αποτελεί το φαινόμενο της σταδιακής παραμόρφωσης ενός υλικού όταν αυτό υποβάλλεται σε συνεχή μηχανική φόρτιση για μεγάλο χρονικό διάστημα, ακόμη και όταν η εφαρμοζόμενη τάση βρίσκεται κάτω από το όριο διαρροής του υλικού.

Για παράδειγμα, ένα εξάρτημα κατασκευασμένο από PLA μπορεί αρχικά να παρουσιάζει ελαστική παραμόρφωση υπό την επίδραση ενός σταθερού φορτίου, επανερχόμενο στην αρχική του μορφή μετά την απομάκρυνσή του. Ωστόσο, εάν το ίδιο φορτίο εφαρμόζεται για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, ενδέχεται να προκληθεί σταδιακή και εν μέρει μόνιμη παραμόρφωση, ιδιαίτερα σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας.

Το PETG παρουσιάζει επίσης ερπυσμό, ωστόσο διαθέτει υψηλότερη θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης σε σύγκριση με το PLA, γεγονός που μπορεί να προσφέρει καλύτερη διαστασιακή σταθερότητα σε ορισμένες συνθήκες λειτουργίας. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική για τη

συγκεκριμένη εφαρμογή, καθώς ενδεχόμενες παραμορφώσεις των εξαρτημάτων ενδέχεται να επηρεάσουν τη θέση και τη λειτουργία των αισθητήρων, δημιουργώντας την ανάγκη εκ νέου βαθμονόμησής τους (Calibration).

Επιλογή μη ενισχυμένου PETG

Για την κατασκευή επιλέχθηκε συμβατικό PETG, χωρίς ενίσχυση με ίνες άνθρακα ή γυαλιού (Fiber-Reinforced Composites). Παρότι τα ενισχυμένα αυτά υλικά μπορούν να προσφέρουν αυξημένη ακαμψία και βελτιωμένη διαστασιακή σταθερότητα, παρουσιάζουν ορισμένους περιορισμούς όσον αφορά τη χρήση τους σε εξαρτήματα που έρχονται σε παρατεταμένη επαφή με το ανθρώπινο δέρμα.

Ειδικότερα, οι ενισχυτικές ίνες ενδέχεται να εμφανίζονται στην εξωτερική επιφάνεια των εκτυπωμένων αντικειμένων, δημιουργώντας μικροσκοπικές προεξοχές και αυξημένη τραχύτητα. Επιπλέον, κατά τη μηχανική επεξεργασία ή τη φθορά των υλικών αυτών υπάρχει πιθανότητα απελευθέρωσης μικρών σωματιδίων, γεγονός που απαιτεί πρόσθετα μέτρα προστασίας. Για τον λόγο αυτό, προτιμήθηκε η χρήση μη ενισχυμένου PETG, χωρίς ωστόσο η επιλογή αυτή να συνεπάγεται αυτομάτως καταλληλότητα ή πιστοποίηση για ιατρική χρήση.

Κόστος και οικονομική βιωσιμότητα

Ο σημαντικότερος παράγοντας για την τελική επιλογή του PETG ήταν το χαμηλό κόστος προμήθειας. Παρότι υπάρχουν εξειδικευμένα πολυμερή που υπερτερούν σε επιμέρους χαρακτηριστικά, όπως η μηχανική αντοχή, το βάρος, η θερμική σταθερότητα και η καταλληλότητα για επαφή με το ανθρώπινο σώμα, το κόστος τους είναι συχνά σημαντικά υψηλότερο.

Ενδεικτικά, ορισμένα υλικά που προορίζονται για εξειδικευμένες ιατρικές εφαρμογές παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, χημικές ουσίες ή συγκεκριμένες διαδικασίες αποστείρωσης, ενώ άλλα διαθέτουν ειδικές αντιμικροβιακές ιδιότητες. Ωστόσο, τέτοιου είδους υλικά μπορεί να είναι δυσκολότερο να προμηθευτούν και, σε ορισμένες περιπτώσεις, το κόστος τους να ανέρχεται σε αρκετές εκατοντάδες ευρώ ανά κιλό.

Αντίθετα, το PETG που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη κατασκευή είχε κόστος προμήθειας περίπου 10 €/kg, καθιστώντας το ιδιαίτερα οικονομική επιλογή για την ανάπτυξη και τη δοκιμή των επιμέρους εξαρτημάτων.

Συνολικά, το PETG κρίθηκε κατάλληλο για την κατασκευή ενός λειτουργικού πρωτοτύπου (Functional Prototype), καθώς προσφέρει ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά, ευκολία επεξεργασίας και χαμηλό κόστος. Ωστόσο, σε περίπτωση μελλοντικής εμπορικής αξιοποίησης του συστήματος, ιδιαίτερα για εφαρμογές στον τομέα της υγείας, θα απαιτηθεί περαιτέρω αξιολόγηση και ενδεχομένως επιλογή εξειδικευμένων υλικών, τα οποία θα πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές μηχανικής αντοχής, βιοσυμβατότητας, υγιεινής και ασφάλειας.

Ως πρώτο βήμα της διαδικασίας κατασκευής, πραγματοποιείται η δοκιμαστική εφαρμογή των γαντιών και η λήψη των απαραίτητων μετρήσεων των δακτύλων, προκειμένου να προσδιοριστούν οι κατάλληλες διαμέτροι των τρισδιάστατα εκτυπωμένων δακτυλήθρων και να εξασφαλιστεί η σωστή εφαρμογή τους.



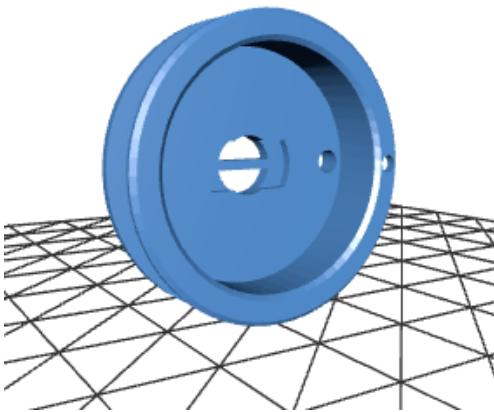
Εικόνα 11: Μέτρηση διαμέτρου άκρων δακτύλων



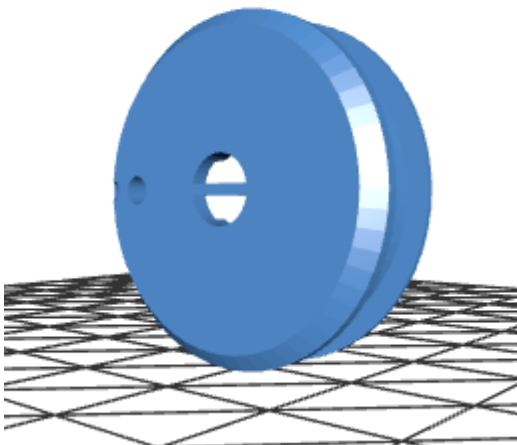
Εικόνα 12: Εφαρμογή δακτυλήθρων

Μετά την παρουσίαση και την αιτιολόγηση της επιλογής του υλικού κατασκευής, ακολουθεί η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης των επιμέρους εξαρτημάτων που απαιτούνται για τη συναρμολόγηση των γαντιών.

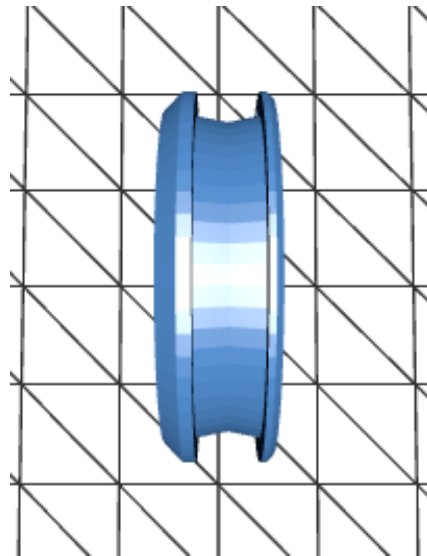
Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζεται ο μηχανισμός που σχετίζεται με τη λειτουργία των ποτενσιόμετρων. Συγκεκριμένα, ο μηχανισμός αποτελείται από τρία επιμέρους τρισδιάστατα εκτυπωμένα εξαρτήματα, ένα από τα οποία είναι το **Haptic Spool**.



Εικόνα 13: Τρισδιάστατο μοντέλο haptic spool A

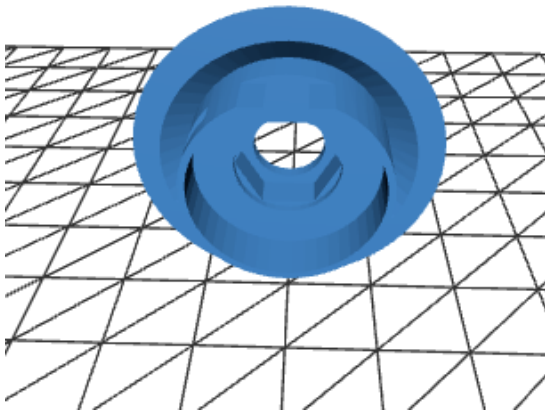


Εικόνα 15: Τρισδιάστατο μοντέλο haptic spool B

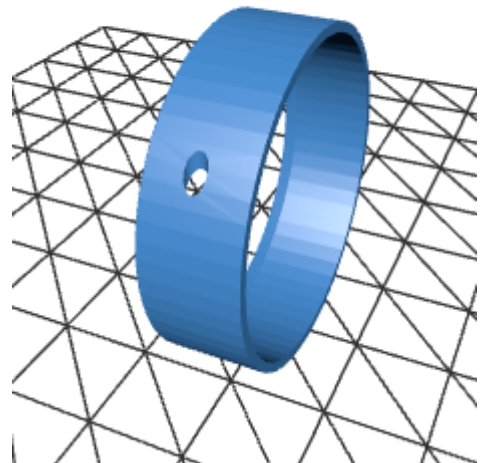


Εικόνα 14: Τρισδιάστατο μοντέλο haptic spool Γ

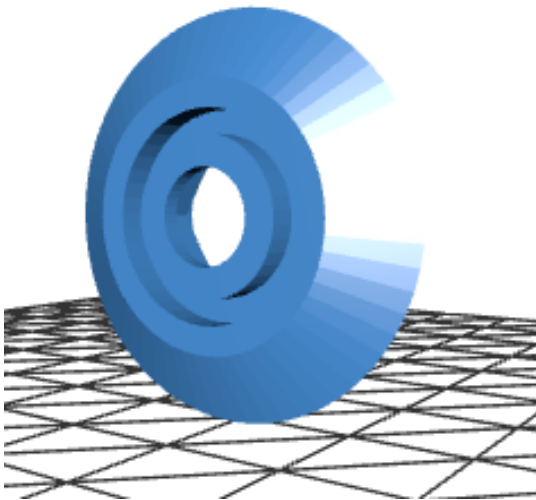
Στη δεύτερη εικόνα παρουσιάζεται ο εντατήρας (Tensioner), ο οποίος συνδέεται με το Haptic Spool μέσω του μηχανισμού του ποτενσιόμετρου. Για τη σωστή συναρμολόγηση και στερέωση του μηχανισμού, τοποθετείται κατάλληλο παξιμάδι στην προβλεπόμενη υποδοχή του εντατήρα, επιτρέποντας τη βιδωτή σύνδεση και τη σταθερή συγκράτηση του ποτενσιόμετρου.



Εικόνα 16: Τρισδιάστατο μοντέλο tensioner A



Εικόνα 17: Τρισδιάστατο μοντέλο tensioner Γ



Εικόνα 18: Τρισδιάστατο μοντέλο tensioner B

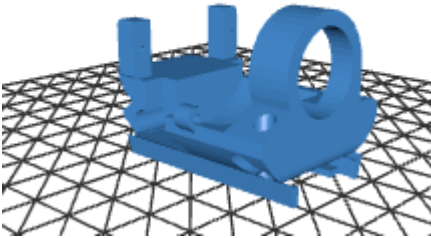
Στην Εικόνα 19 παρουσιάζεται η συναρμολόγηση των βασικών εξαρτημάτων του μηχανισμού, και συγκεκριμένα του εντατήρα (Tensioner), του Haptic Spool και του καλύμματός του (Spool Cover). Επιπλέον, διακρίνεται το ποτενσιόμετρο, το οποίο έχει στερεωθεί στο εσωτερικό του εντατήρα με τη χρήση κατάλληλου παξιμαδιού. Παράλληλα, παρατηρείται το νήμα που έχει προσδεθεί στο Haptic Spool, ολοκληρώνοντας τη μηχανική σύνδεση των επιμέρους εξαρτημάτων.



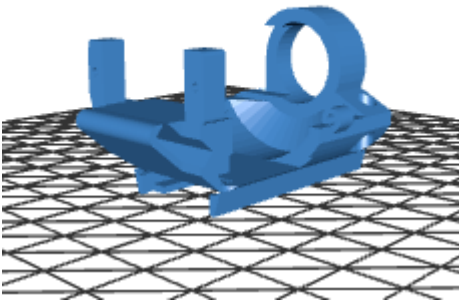
Εικόνα 19: Ένωση εξαρτημάτων

Σημείωση: Το Haptic Spool διαθέτει μια μικρή οπή, στην οποία θα τοποθετηθεί και θα στερεωθεί κατάλληλη βίδα σε επόμενο στάδιο της κατασκευής, για την υλοποίηση του μηχανισμού απτικής ανάδρασης (Haptic Feedback).

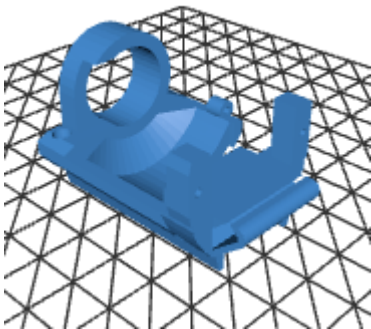
Στη συνέχεια, μετά την ολοκλήρωση της συναρμολόγησης των τριών επιμέρους εξαρτημάτων, καθώς και την τοποθέτηση του ελατηρίου, του νήματος και του ποτενσιόμετρου, ο συναρμολογημένος μηχανισμός προσαρμόζεται και στερεώνεται στην ειδικά σχεδιασμένη βάση στήριξης (Slide Holder).



Εικόνα 20: Τρισδιάστατο μοντέλο slide holder A



Εικόνα 21: Τρισδιάστατο μοντέλο slide holder B



Εικόνα 22: Τρισδιάστατο μοντέλο slide holder Γ

Το αποτέλεσμα, αφού συνδεθούν, θα έχει τη μορφή:

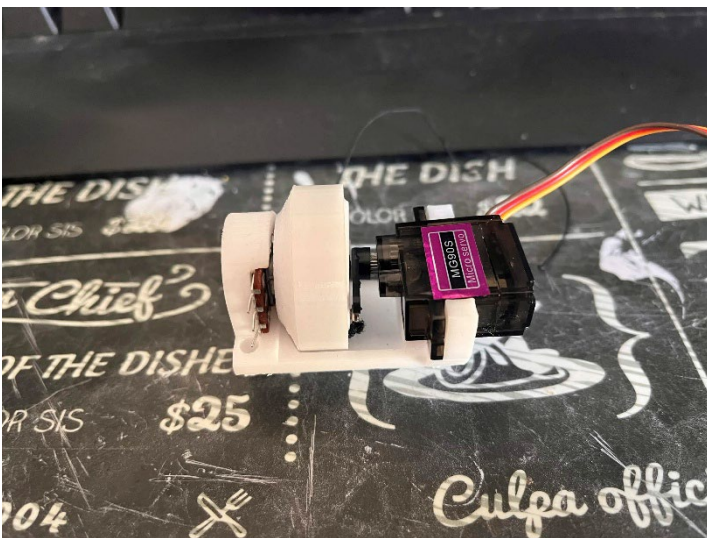


Εικόνα 24: Συναρμολογημένο ποτενσιόμετρο A

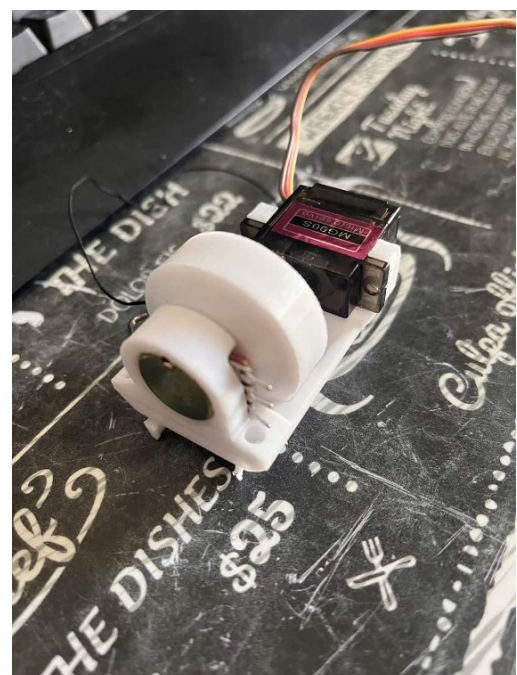


Εικόνα 23: Συναρμολογημένο ποτενσιόμετρο B

Στη συνέχεια, μετά την ολοκλήρωση της σύνδεσης των επιμέρους εξαρτημάτων, ο συναρμολογημένος μηχανισμός, μαζί με τον σερβοκινητήρα (Servo Motor), τοποθετείται και στερεώνεται στην ειδικά σχεδιασμένη βάση στήριξης. Η τελική διάταξη των εξαρτημάτων παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 26: Συναρμολογημένο ποτενσιόμετρο + σερβοκινητήρας A



Εικόνα 25: Συναρμολογημένο ποτενσιόμετρο + σερβοκινητήρας B

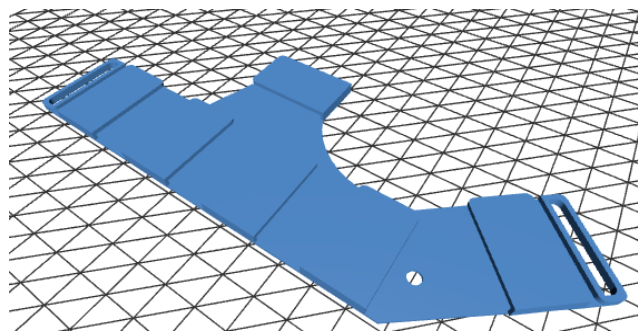
Μετά την τοποθέτηση του Haptic Spool, ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στη σωστή ρύθμιση της θέσης του βραχίονα του σερβοκινητήρα, ο οποίος πρέπει να βρίσκεται μπροστά από τη βίδα του Haptic Spool. Με τον τρόπο αυτό, ενεργοποιείται ο μηχανισμός απτικής ανάδρασης, περιορίζοντας την ελεύθερη κάμψη των δακτύλων όταν απαιτείται από το εικονικό περιβάλλον.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η ηλεκτρική σύνδεση του ποτενσιόμετρου και του σερβοκινητήρα μέσω των κατάλληλων καλωδίων τροφοδοσίας, γείωσης και μεταφοράς σημάτων. Η συγκεκριμένη διαδικασία επαναλαμβάνεται συνολικά δέκα φορές, καθώς κάθε γάντι διαθέτει πέντε αντίστοιχους μηχανισμούς, έναν για κάθε δάκτυλο. Τέλος, ο σερβοκινητήρας στερεώνεται στη βάση με τη χρήση βιδών, ώστε να εξασφαλίζεται η σταθερότητά του κατά τη λειτουργία του συστήματος.

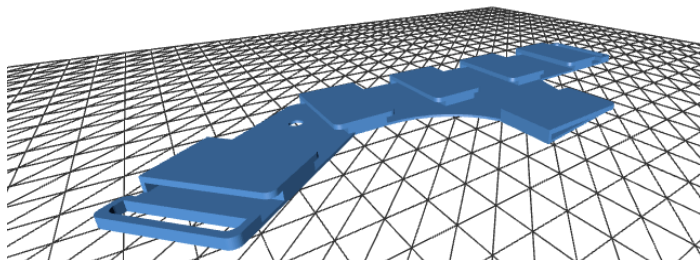
Επιπλέον, απαιτείται η λήψη ακριβών μετρήσεων για τον σχεδιασμό της βάσης πάνω στην οποία θα προσαρμοστούν οι θήκες των ποτενσιόμετρων. Κατά το αρχικό στάδιο, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές και πειραματισμοί σχετικά με τις διαστάσεις και τη διάταξη των εξαρτημάτων, με στόχο τη βέλτιστη εφαρμογή τους και την αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης υλικού εκτύπωσης (PLA).



Εικόνα 27: Μέτρηση βάσης στο χέρι



Εικόνα 28: Τρισδιάστατο μοντέλο Βάσης Α



Εικόνα 29: Τρισδιάστατο μοντέλο Βάσης Β

Μετά τον προσδιορισμό των κατάλληλων διαστάσεων με βάση την ανατομία του χεριού, πραγματοποιήθηκε η τρισδιάστατη εκτύπωση της ολοκληρωμένης βάσης στήριξης. Στη συνέχεια, για τη βελτίωση της άνεσης και της εφαρμογής της κατασκευής, προστέθηκε στην εσωτερική επιφάνεια της βάσης ένα κατάλληλα διαμορφωμένο κομμάτι αφρώδους υλικού (αφρολέξ), το οποίο στερεώθηκε με τη χρήση θερμόκολλας. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται καλύτερη προσαρμογή της βάσης στη ραχιαία επιφάνεια του χεριού, ενώ παράλληλα περιορίζεται η άμεση επαφή των άκαμπτων εξαρτημάτων με το δέρμα, βελτιώνοντας την άνεση κατά τη χρήση του γαντιού.

Μετά την ολοκλήρωση των προηγούμενων σταδίων, ακολουθεί η λήψη των απαραίτητων μετρήσεων για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των τερματικών εξαρτημάτων (End Caps), τα οποία τοποθετούνται στα άκρα των δακτύλων. Δεδομένου ότι τα ανατομικά χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις των χεριών διαφέρουν από χρήστη σε χρήστη, ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην επιλογή κατάλληλου υλικού τρισδιάστατης εκτύπωσης, ώστε να εξασφαλίζεται η άνετη εφαρμογή των εξαρτημάτων χωρίς να ασκείται υπερβολική πίεση στα ακροδάκτυλα.

Αντίστοιχα, για τη βάση στήριξης απαιτείται η επιλογή υλικού που να συνδυάζει μικρό βάρος, επαρκή μηχανική αντοχή και έναν βαθμό ελαστικότητας, προκειμένου να προσαρμόζεται καλύτερα στη μορφολογία του χεριού. Επιπλέον, μεταξύ του γαντιού και της βάσης τοποθετείται ένα κατάλληλα διαμορφωμένο στρώμα μαλακού αφρώδους υλικού, το οποίο στερεώνεται με τη χρήση κόλλας. Η προσθήκη αυτή αποσκοπεί στη μείωση της πίεσης και της τριβής που ασκούνται στο χέρι, βελτιώνοντας παράλληλα τη σταθερότητα της κατασκευής και την άνεση του χρήστη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος.



Εικόνα 30: Έτοιμη βάση + δακτυλήθρες

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η τοποθέτηση και στερέωση των Slide Holders, μαζί με τα αντίστοιχα εξαρτήματά τους, πάνω στη βάση στήριξης. Ακολούθως, ο σερβοκινητήρας τοποθετείται και στερεώνεται με βίδες στην προβλεπόμενη θέση, διασφαλίζοντας τη σωστή ευθυγράμμιση του βραχίονά του με τη βίδα του Haptic Spool, όπως περιγράφηκε προηγουμένως.



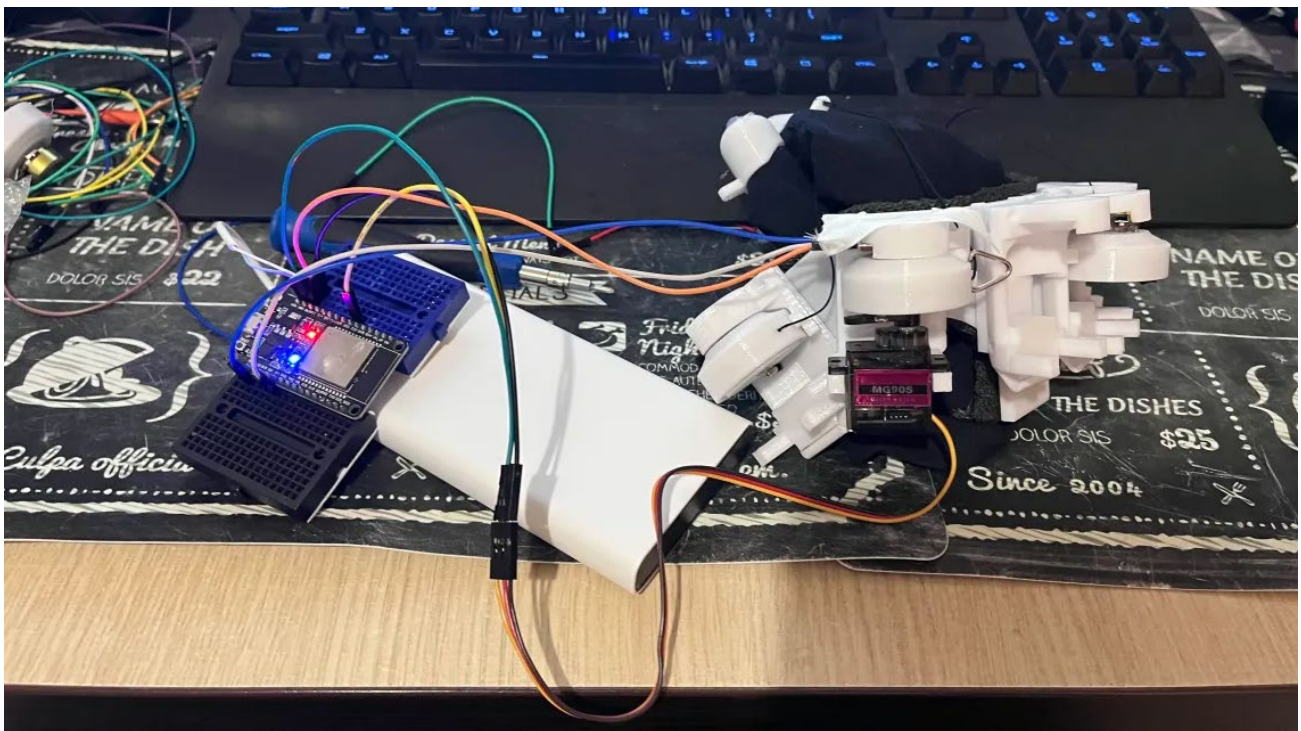
Εικόνα 31: Βάση + slide holders

Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται δοκιμές τροφοδοσίας του ESP32 μέσω φορητής μπαταρίας, με στόχο την εξασφάλιση της αυτόνομης λειτουργίας του συστήματος χωρίς την ανάγκη ενσύρματης σύνδεσης σε εξωτερική πηγή τροφοδοσίας. Ωστόσο, κατά το αρχικό στάδιο των δοκιμών επιλέγεται η ενσύρματη τροφοδοσία μέσω καλωδίου micro-USB, προκειμένου να ελεγχθεί η ορθή λειτουργία των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.



Εικόνα 32: Δοκιμή powerbank 5V

Εφόσον τσεκάρουμε τα ποτενσιόμετρα και τους σερβοκινητήρες ότι λειτουργούν κανονικά τότε ήρθε η ώρα να ρίξουμε μια ματιά στην συνδεσμολογία.



Εικόνα 33: Δοκιμή ποτενσιόμετρου + Σερβοκινητήρων(λειτουργικότητα εξαρτημάτων)

Μετά την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας των ποτενσιόμετρων και των σερβοκινητήρων, ακολουθεί η παρουσίαση και ο έλεγχος της ηλεκτρικής συνδεσμολογίας του συστήματος.

Αρχικά, πραγματοποιείται η σύνδεση των ποτενσιόμετρων και των σερβοκινητήρων με τον μικροελεγκτή ESP32, προκειμένου να ελεγχθεί η λειτουργικότητα των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και η ορθή επικοινωνία μεταξύ τους. Η συγκεκριμένη διαδικασία επιτρέπει τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων στη συνδεσμολογία πριν από την ολοκλήρωση της συναρμολόγησης του συστήματος.

Ο ESP32 διαθέτει κατάλληλους ακροδέκτες (GPIO Pins), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των σημάτων των ποτενσιόμετρων, των σερβοκινητήρων και του Joystick, καθώς και κατάλληλους ακροδέκτες τροφοδοσίας και γείωσης. Η συνδεσμολογία πραγματοποιείται με τη χρήση καλωδίων σύνδεσης (Jumper Wires), σύμφωνα με το διαθέσιμο διάγραμμα συνδεσμολογίας (Blueprint) ανοιχτού κώδικα (Open Source).

Το συγκεκριμένο διάγραμμα παρουσιάζει αναλυτικά τις προβλεπόμενες συνδέσεις και τους αντίστοιχους ακροδέκτες του ESP32, διευκολύνοντας τη σωστή εγκατάσταση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και εξασφαλίζοντας τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τη λειτουργία του γαντιού.

Συγκεκριμένα, θα χρειαστεί να συνδέσουμε τα εξής

Πίνακας υλικών

Ποτενσιόμετρο (x5)	Σερβοκινητήρας(x5)	Joystick(x1)	Power banks(x2)
1 καλώδιο ρεύματος	1 καλώδιο ρεύματος	1 καλώδιο άξονας x	1 καλώδιο ρεύματος
1 καλώδιο σήματος	1 καλώδιο σήματος	1 καλώδιο άξονας y	1 καλώδιο γείωσης
1 καλώδιο γείωσης	1 καλώδιο γείωσης	1 καλώδιο ρεύματος	
		1 καλώδιο γείωσης	
		1 καλώδιο κουμπιού	
15 καλώδια	15 καλώδια	5 καλώδια	4 καλώδια

Για την πλήρη λειτουργία και των δύο γαντιών απαιτούνται συνολικά 39 καλώδια σύνδεσης. Το μήκος κάθε καλωδίου πρέπει να προσδιοριστεί με ακρίβεια, ώστε να εξασφαλίζεται η σωστή

σύνδεση με τους ακροδέκτες των ποτενσιόμετρων και των σερβοκινητήρων, αποφεύγοντας την ανεπιθύμητη αποσύνδεσή τους κατά τη χρήση του συστήματος.

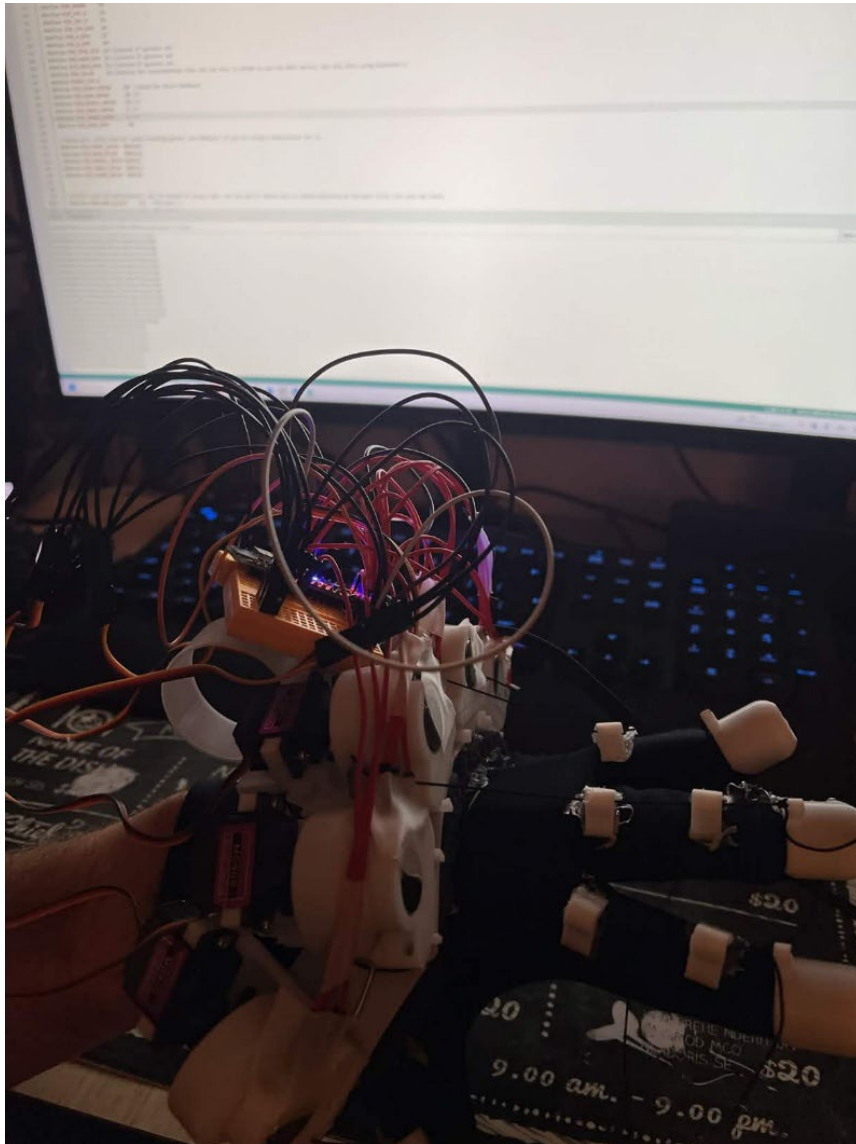
Παράλληλα, επιλέγεται η χρήση καλωδίων διαφορετικού χρώματος, προκειμένου να διευκολύνονται η αναγνώριση των επιμέρους συνδέσεων, η οργάνωση της καλωδίωσης (Cable Management) και ο εντοπισμός πιθανών σφαλμάτων κατά τη διαδικασία ελέγχου και αποσφαλμάτωσης (Troubleshooting). Με τον τρόπο αυτό, βελτιώνεται η αξιοπιστία της συνδεσμολογίας και διευκολύνονται τόσο η συναρμολόγηση όσο και η μελλοντική συντήρηση του συστήματος.

Για την περαιτέρω βελτίωση της οργάνωσης της καλωδίωσης και τη μείωση του αριθμού των συνδέσεων στην πλακέτα, εφαρμόστηκε μια απλούστερη διάταξη τροφοδοσίας. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι απαιτούνται περίπου 30 συνδέσεις για τα ποτενσιόμετρα και τους σερβοκινητήρες, επιλέχθηκε η χρήση κοινών γραμμών τροφοδοσίας και γείωσης για τα αντίστοιχα εξαρτήματα, όπως παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα. Με την προσέγγιση αυτή, ο αριθμός των επιμέρους καλωδίων που καταλήγουν στην πλακέτα μπορεί να μειωθεί σημαντικά, από περίπου 30 σε 15, χωρίς να μεταβάλλεται η βασική λειτουργικότητα του συστήματος.

Η συγκεκριμένη τροποποίηση αποσκοπεί στη δημιουργία μιας περισσότερο οργανωμένης και ευκολότερα διαχειρίσιμης συνδεσμολογίας. Παράλληλα, η σαφής διάκριση των καλωδίων και ο περιορισμός των επιμέρους συνδέσεων διευκολύνουν τον εντοπισμό και την αποκατάσταση πιθανών βλαβών, όπως λανθασμένες συνδέσεις, φθαρμένα ή κομμένα καλώδια και προβλήματα επικοινωνίας μεταξύ των εξαρτημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, απλοποιούνται οι διαδικασίες ελέγχου, επισκευής και συντήρησης του συστήματος.

Όσον αφορά την τροφοδοσία του ESP32 και των σερβοκινητήρων, επιλέχθηκε η χρήση δύο φορητών συσσωρευτών ενέργειας (Power Banks), χωρητικότητας 10.000 mAh ο καθένας, με δύο θύρες USB. Κάθε Power Bank προορίζεται για την τροφοδοσία ενός γαντιού, επιτρέποντας τη σύνδεση τόσο του ESP32 όσο και του κυκλώματος τροφοδοσίας των σερβοκινητήρων. Η σύνδεση πραγματοποιείται μέσω κατάλληλων καλωδίων USB μήκους περίπου 0,5 μέτρου, ώστε να παρέχεται επαρκής ελευθερία κινήσεων των χεριών κατά τη χρήση του συστήματος.

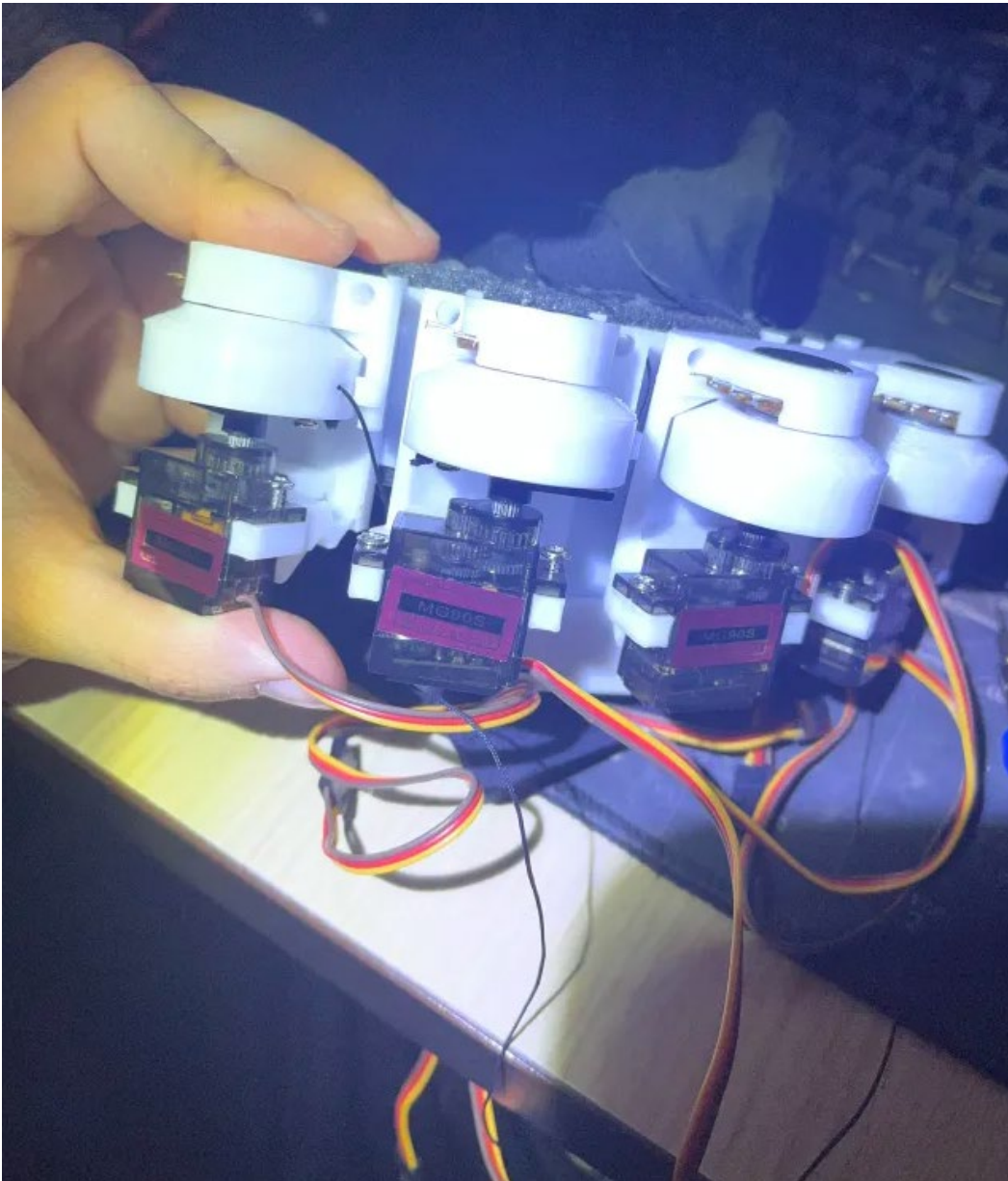
Κατά το αρχικό στάδιο των δοκιμών πραγματοποιήθηκε η σύνδεση των ποτενσιόμετρων με την πλακέτα ESP32, με στόχο την επιβεβαίωση της ορθής καταγραφής και επεξεργασίας των σημάτων τους. Οι σερβοκινητήρες παρέμειναν προσωρινά αποσυνδεδεμένοι, καθώς η λειτουργία τους προβλέπεται να ελεγχθεί σε επόμενο στάδιο, μετά την επιτυχή ολοκλήρωση των δοκιμών των ποτενσιόμετρων. Η σταδιακή αυτή προσέγγιση διευκολύνει τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων και επιτρέπει την ανεξάρτητη αξιολόγηση των επιμέρους υποσυστημάτων πριν από την ολοκλήρωση της συνολικής συνδεσμολογίας.



Εικόνα 36: Αρχική συνδεσμολογία και δοκιμές ποτενσιόμετρων

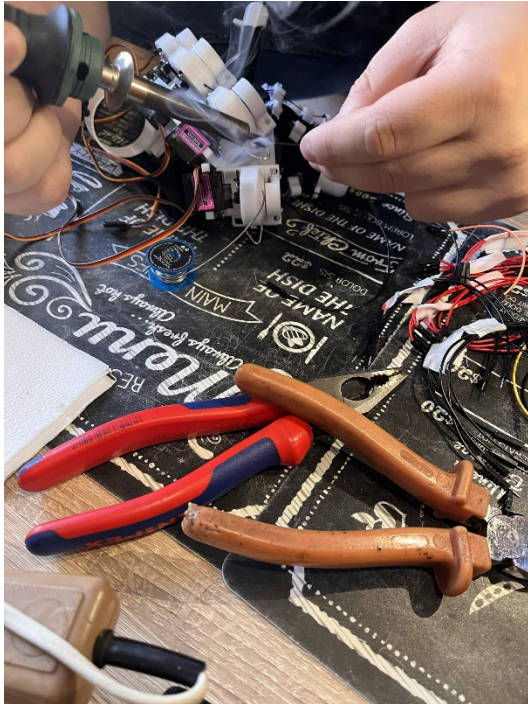
Κάθε κίνηση που κάνει το κάθε δάχτυλο στο χέρι παράγει και μια διαφορετική τιμή και μοναδική κάθε φορά. Το παρατηρούμε με βάση το τερματικό στο background (Εικόνας 35 και 36) με βάση τις κινήσεις του χεριού.

Μετά την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του λογισμικού και της επιτυχούς καταγραφής των σημάτων από τα ποτενσιόμετρα, ακολουθεί η σύνδεση των υπόλοιπων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται συνολικός έλεγχος της λειτουργίας του συστήματος, με στόχο την επιβεβαίωση της σωστής συνεργασίας των επιμέρους υποσυστημάτων και τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων κατά την ταυτόχρονη λειτουργία τους.

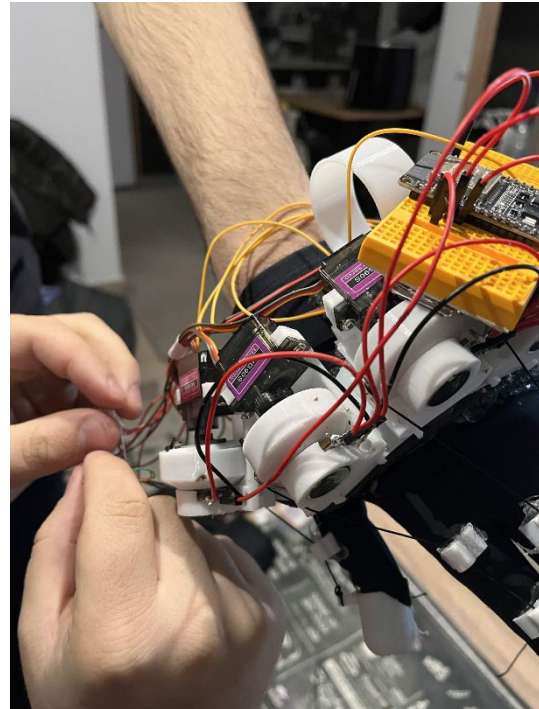


Εικόνα 37: Εγκατάσταση σερβοκινητήρων

Μετά την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας τόσο των ποτενσιόμετρων όσο και των σερβοκινητήρων, ακολουθεί η εφαρμογή επιμέρους βελτιώσεων στην οργάνωση της καλωδίωσης (Cable Management). Οι βελτιώσεις αυτές αποσκοπούν στην αποτελεσματικότερη διαχείριση των καλωδίων, στη μείωση της πολυπλοκότητας των συνδέσεων και στη διευκόλυνση της συντήρησης και του ελέγχου του συστήματος.



Εικόνα 38: Χρήση Καλαί (ελάτωση καλωδίων)



Εικόνα 39: Συνδεσμολογία με χρήση καλαί

Κάθε γάντι αποτελείται από πέντε επιμέρους μηχανισμούς, έναν για κάθε δάκτυλο, οι οποίοι περιλαμβάνουν συνολικά πέντε ποτενσιόμετρα και πέντε σερβοκινητήρες. Κάθε ποτενσιόμετρο διαθέτει τρεις ακροδέκτες (Pins), οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία, τη γείωση και τη μεταφορά του αναλογικού σήματος. Αντίστοιχα, κάθε σερβοκινητήρας διαθέτει τρεις συνδέσεις για την τροφοδοσία, τη γείωση και το σήμα ελέγχου.

Επομένως, για τη σύνδεση των πέντε ποτενσιόμετρων και των πέντε σερβοκινητήρων ενός γαντιού απαιτούνται αρχικά 30 επιμέρους αγωγοί, σύμφωνα με τον ακόλουθο υπολογισμό:

$$5 \times 3 \text{ (ποτενσιόμετρα)} + 5 \times 3 \text{ (σερβοκινητήρες)} = 30 \text{ αγωγοί}$$

Συνυπολογίζοντας τους δύο επιπλέον αγωγούς για τη σύνδεση της εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας και της γείωσης, ο συνολικός αριθμός ανέρχεται σε 32 αγωγούς που πρέπει να οργανωθούν στην πλακέτα δοκιμών (Breadboard).

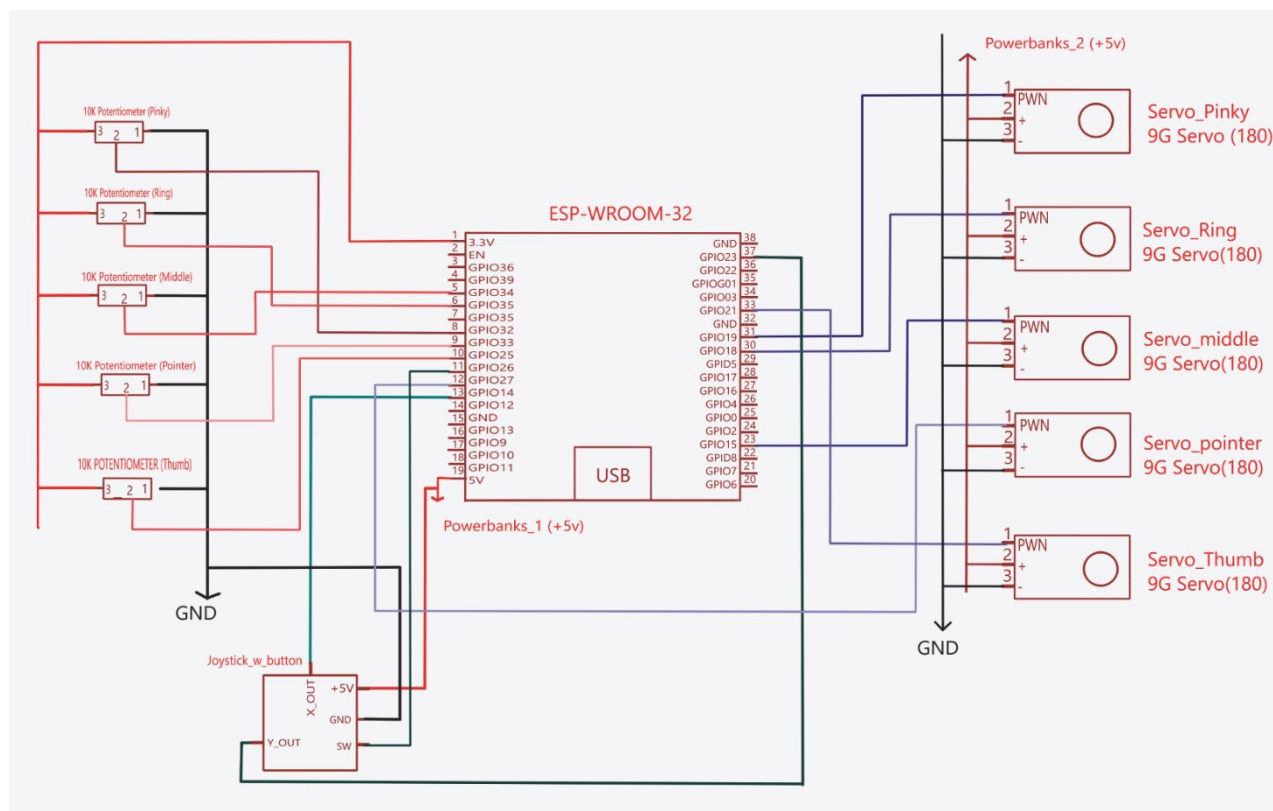
Ο μεγάλος αριθμός συνδέσεων αυξάνει σημαντικά την πολυπλοκότητα της καλωδίωσης, δυσχεραίνοντας την αναγνώριση των επιμέρους αγωγών και τον εντοπισμό πιθανών σφαλμάτων. Παράλληλα, η χρήση πολλών αποσπώμενων συνδέσεων αυξάνει τον κίνδυνο χαλάρωσης ή αποσύνδεσης των καλωδίων από τους ακροδέκτες των ποτενσιόμετρων και των υπόλοιπων εξαρτημάτων, ιδιαίτερα κατά την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων κινήσεων των χεριών σε περιβάλλον προσομοίωσης.

Για την αντιμετώπιση των παραπάνω περιορισμών επιλέχθηκε η μέθοδος της συγκόλλησης με καλάνι (Soldering), η οποία αποτελεί μια οικονομική και αποτελεσματική λύση για τη δημιουργία σταθερών ηλεκτρικών συνδέσεων. Η συγκεκριμένη τεχνική επιτρέπει την καλύτερη οργάνωση των αγωγών, καθώς και τη δημιουργία κοινών γραμμών τροφοδοσίας και γείωσης, περιορίζοντας τον αριθμό των καλωδίων που καταλήγουν στην πλακέτα.

Επιπλέον, η συγκόλληση παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στον σχεδιασμό και στη διάταξη της καλωδίωσης, επιτρέποντας την προσαρμογή του μήκους και της διαδρομής των αγωγών στις απαιτήσεις της κατασκευής. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται μια περισσότερο συμπαγής και οργανωμένη ηλεκτρική διάταξη, η οποία διευκολύνει τη συναρμολόγηση, βελτιώνει την εργονομία των γαντιών και μειώνει την πιθανότητα ανεπιθύμητων αποσυνδέσεων κατά τη λειτουργία τους.

Για τους παραπάνω λόγους, επιλέχθηκε η ακόλουθη διάταξη της καλωδίωσης, με στόχο τη βελτίωση της οργάνωσης, τη μείωση της πολυπλοκότητας των συνδέσεων και τη διασφάλιση της ορθής λειτουργίας του συστήματος.

Blueprint



Εικόνα 40: Σχεδιάγραμμα καλωδίωσης

Η συνδεσμολογία του συστήματος διακρίνεται σε τρία βασικά μέρη: τη σύνδεση των ποτενσιόμετρων, τη σύνδεση των σερβοκινητήρων και τη σύνδεση του χειριστηρίου κίνησης (Joystick), το οποίο βρίσκεται στο δεξί γάντι.

Συνδεσμολογία ποτενσιόμετρων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, κάθε ποτενσιόμετρο διαθέτει τρεις ακροδέκτες: έναν για την τροφοδοσία, έναν για τη μεταφορά του αναλογικού σήματος και έναν για τη γείωση (GND). Στη συγκεκριμένη διάταξη, η τροφοδοσία των ποτενσιόμετρων πραγματοποιείται μέσω της εξόδου 3,3 V του ESP32, ενώ οι ακροδέκτες γείωσης συνδέονται στην κοινή γραμμή GND. Παράλληλα, κάθε ποτενσιόμετρο συνδέεται σε διαφορετική αναλογική είσοδο του μικροελεγκτή, όπως οι GPIO34 και GPIO35, επιτρέποντας την ανεξάρτητη καταγραφή των κινήσεων κάθε δακτύλου.

Συνδεσμολογία σερβοκινητήρων

Μετά την ολοκλήρωση των απαραίτητων ελέγχων στα ποτενσιόμετρα, ακολουθεί η σύνδεση των σερβοκινητήρων. Κάθε σερβοκινητήρας διαθέτει τρεις ακροδέκτες, οι οποίοι αντιστοιχούν στην τροφοδοσία, τη γείωση και το σήμα ελέγχου. Η τροφοδοσία πραγματοποιείται από εξωτερική πηγή τάσης 5 V μέσω του Power Bank, ενώ οι ακροδέκτες γείωσης συνδέονται σε κοινή γραμμή με τη γείωση του ESP32.

Επιπλέον, το σήμα ελέγχου κάθε σερβοκινητήρα συνδέεται σε ξεχωριστό ακροδέκτη GPIO του ESP32, επιτρέποντας την ανεξάρτητη ενεργοποίηση και ρύθμιση της θέσης του. Με τον τρόπο αυτό, καθίσταται δυνατή η υλοποίηση μηχανισμού ανάδρασης δύναμης (Force Feedback) για κάθε δάκτυλο, ανάλογα με τις κινήσεις του χρήστη και τις απαιτήσεις αλληλεπίδρασης με το εικονικό περιβάλλον.

Συνδεσμολογία χειριστηρίου κίνησης (Joystick)

Το τρίτο μέρος της συνδεσμολογίας αφορά το Joystick, το οποίο είναι ενσωματωμένο στο δεξί γάντι και χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της μετακίνησης του χρήστη μέσα στο εικονικό περιβάλλον.

Το Joystick διαθέτει ακροδέκτες τροφοδοσίας και γείωσης, δύο αναλογικές εξόδους για τους άξονες X και Y, καθώς και έναν ψηφιακό ακροδέκτη διακόπτη (SW). Στη συγκεκριμένη υλοποίηση, ο ακροδέκτης SW συνδέεται στο GPIO23 του ESP32 και αξιοποιείται για την ενεργοποίηση της διαδικασίας βαθμονόμησης (Calibration) του συστήματος.

Τέλος, οι αναλογικές εξοδοί X και Y συνδέονται στις αντίστοιχες αναλογικές εισόδους του ESP32, επιτρέποντας την καταγραφή της θέσης του Joystick στους δύο άξονες. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κατεύθυνσης και της κίνησης του χρήστη μέσα στο εικονικό περιβάλλον, ολοκληρώνοντας τη βασική συνδεσμολογία του συστήματος.

4

Λογισμικό

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη και τη λειτουργία του συστήματος είναι ανοιχτού κώδικα (Open Source) και περιλαμβάνει τις απαραίτητες λειτουργίες τόσο για τη διαχείριση του υλικού (Hardware) όσο και για την υποστήριξη των αντίστοιχων εφαρμογών.

Αρχικά, η διαδικασία παραμετροποίησης πραγματοποιείται μέσω του περιβάλλοντος ανάπτυξης Arduino IDE, με τη χρήση δύο βασικών αρχείων ρυθμίσεων, των **config.h** και **advancedconfig.h**, τα οποία επιτρέπουν την προσαρμογή της λειτουργίας του συστήματος στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης κατασκευής.

Σε πρώτο στάδιο εξετάζεται το αρχείο **config.h**, μέσω του οποίου καθορίζονται βασικές παράμετροι λειτουργίας των γαντιών. Μία από τις σημαντικότερες ρυθμίσεις αφορά την επιλογή του τρόπου μετάδοσης των δεδομένων που προκύπτουν από την καταγραφή των κινήσεων των δακτύλων.

Στη συγκεκριμένη υλοποίηση, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με δύο διαφορετικούς τρόπους επικοινωνίας: την ενσύρματη σύνδεση και την ασύρματη επικοινωνία μέσω Bluetooth. Με αυτόν τον τρόπο, εξετάστηκε η δυνατότητα λειτουργίας του συστήματος με διαφορετικές μεθόδους μετάδοσης δεδομένων, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και τις συνθήκες χρήσης των γαντιών.

```
//This is the configuration file, main structure in _main.ino
//CONFIGURATION SETTINGS:
#define COMMUNICATION COMM_SERIAL //which communication to use. Options are: COMM_SERIAL (usb), COMM_BT_SERIAL (bluetooth), COMM_WIFI_SERIAL (wifi)
//serial over USB
#define SERIAL_BAUD_RATE 115200

//serial over Bluetooth
#define BT_SERIAL_DEVICE_NAME "lucidgloves-left"
```

Εικόνα 41: Κώδικας επικοινωνίας (ενσύρματης + ασύρματης)

Στο ακόλουθο απόσπασμα κώδικα παρουσιάζονται δύο βασικές παράμετροι λειτουργίας του συστήματος, οι οποίες καθορίζονται μέσω μεταβλητών τύπου Boolean (True/False). Συγκεκριμένα, οι παράμετροι αυτές αφορούν:

- **Τη λειτουργία των ποτενσιόμετρων**, τα οποία χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των κινήσεων των δακτύλων.
- **Τη λειτουργία των δακτύλων**, μέσω της οποίας καθορίζεται η ενεργοποίηση των αντίστοιχων λειτουργιών του γαντιού.

Οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις επιτρέπουν την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των αντίστοιχων λειτουργιών, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής.

```
//ANALOG INPUT CONFIG
#define USING_SPLAY false //whether or not your glove tracks splay. - tracks the side to side "wag" of fingers.
#define USING_MULTIPLEXER false //Whether or not you are using a multiplexer for inputs
#define FLIP_FLEXION true //Flip values from potentiometers (for fingers!) if they are backwards
#define FLIP_SPLAY true //Flip values for splay

//Gesture enables, make false to use button override
#define TRIGGER_GESTURE true
#define GRAB_GESTURE true
#define PINCH_GESTURE true
```

Εικόνα 42: κώδικας λειτουργίας χειρονομιών

Στο ακόλουθο απόσπασμα κώδικα παρουσιάζονται δύο επιπλέον λειτουργίες του συστήματος. Η πρώτη αφορά τον μηχανισμό ανάδρασης δύναμης (Force Feedback), του οποίου οι παράμετροι καθορίζονται μέσω των τριών πρώτων γραμμών του κώδικα.

```
#define USING_FORCE_FEEDBACK true //Force feedback haptics allow you to feel the solid objects you hold
#define FLIP_FORCE_FEEDBACK true
#define SERVO_SCALING true //dynamic scaling of servo motors

#if defined(ESP32)
  //(This configuration is for ESP32 DOIT V1 so make sure to change if you're on another board)
  //To use a pin on a multiplexer, use MUX(pin). So for example pin 15 on a mux would be MUX(15).
  #define PIN_PINKY 32//These 5 are for flexion
  #define PIN_RING 35
  #define PIN_MIDDLE 34
  #define PIN_INDEX 33
  #define PIN_THUMB 25
  #define PIN_JOY_X 33
  #define PIN_JOY_Y 25
  #define PIN_JOY_BTN 26
  #define PIN_A_BTN 27
  #define PIN_B_BTN 14
  #define PIN_TRIG_BTN 12 //unused if gesture set
  #define PIN_GRAB_BTN 13 //unused if gesture set
  #define PIN_PNCH_BTN 23 //unused if gesture set
  #define PIN_CALIB 15 //button for recalibration (You can set this to GPIO0 to use the BOOT button,
  #define DEBUG_LED 2
  #define PIN_PINKY_MOTOR 19 //used for force feedback
  #define PIN_RING_MOTOR 18 //^
  #define PIN_MIDDLE_MOTOR 5 //^
  #define PIN_INDEX_MOTOR 27 //^
  #define PIN_THUMB_MOTOR 16 //^
  #define PIN_MENU_BTN 34
```

Εικόνα 43: Κώδικας για απτική ανατροφοδότηση + θύρες επικοινωνίας ESP32

Οι υπόλοιπες γραμμές κώδικα αφορούν τον καθορισμό των ακροδεκτών (Pins) του ESP32, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση και τη διαχείριση των επιμέρους εξαρτημάτων του συστήματος. Συγκεκριμένα, ορίζονται οι ακροδέκτες που αντιστοιχούν σε κάθε δάκτυλο ξεχωριστά, καθώς και οι ακροδέκτες που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση του χειριστηρίου κίνησης στο εικονικό περιβάλλον, εφόσον αυτό περιλαμβάνεται στην κατασκευή.

Από την παράμετρο **PIN_PINKY_MOTOR** και στις επόμενες γραμμές καθορίζονται οι ακροδέκτες του ESP32 στους οποίους συνδέονται τα σήματα ελέγχου των σερβοκινητήρων. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπεται η ανεξάρτητη διαχείριση κάθε σερβοκινητήρα και η υλοποίηση του μηχανισμού ανάδρασης δύναμης (Force Feedback) για τα αντίστοιχα δάκτυλα.

Στη συνέχεια, η διαδικασία παραμετροποίησης συνεχίζεται με το αρχείο **advancedConfig.h**, το οποίο περιλαμβάνει πιο εξειδικευμένες ρυθμίσεις λειτουργίας του συστήματος.

Ειδικότερα, ο κώδικας του συγκεκριμένου αρχείου περιλαμβάνει παραμέτρους που σχετίζονται με την κωδικοποίηση και την επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και με τη βαθμονόμηση (Calibration) των ποτενσιόμετρων και των σερβοκινητήρων. Οι ρυθμίσεις αυτές επιτρέπουν την προσαρμογή του συστήματος στα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Τέλος, ιδιαίτερη σημασία έχει η παράμετρος **analog_max**, η οποία ορίζεται στην τιμή **4095**, καθώς ο ESP32 χρησιμοποιεί μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC) με ανάλυση 12 bit. Επομένως, το θεωρητικό εύρος των ψηφιακών τιμών μέτρησης εκτείνεται από 0 έως 4095, επιτρέποντας την κατάλληλη επεξεργασία των σημάτων που προέρχονται από τα ποτενσιόμετρα.

```

1  #pragma once
2  #include "src/Util/ConfigUtils.h"
3  //THIS FILE HAS SOME EXTRA SETTINGS, MAIN SETTINGS ARE IN Config.h
4
5  #define LOOP_TIME 0 //How much time between data sends (ms), set to 0 for a good time :)
6  #define CALIBRATION_LOOPS -1//How many loops should be calibrated. Set to -1 to always be calibrated.
7
8  //Encoding
9  #define ENCODING ENCODE_ALPHA
10
11 #define NUM_FINGERS 5
12
13 //Bluetooth advanced settings
14 #define BT_ECHO false//Should the bluetooth data be echoed over serial for debugging
15
16 //ESP32 Specific Settings
17 #define ESP32_DUAL_CORE false //Should inputs be handled on a separate core for communication for more accurate rotation counting
18
19 //Finger indices (not used for legacy)
20 #define PINKY_IND 4
21 #define RING_IND 3
22 #define MIDDLE_IND 2
23 #define INDEX_IND 1
24 #define THUMB_IND 0
25
26 //Automatically set ANALOG_MAX depending on the microcontroller
27 #if defined(__AVR__)
28 #define ANALOG_MAX 1023
29 #elif defined(ESP32)
30 #define ANALOG_MAX 4095
31 #endif
32
33
34 #define MULTIPLEXER_DELAY 5 //How many microseconds should be delayed between multiplexer reads
35
36
37 //ANALOG_MAX OVERRIDE:
38 #define ANALOG_MAX 4095 //uncomment and set as needed
39

```

Εικόνα 44: κώδικας βαθμονόμησης - κωδικοποίησης

Στη συνέχεια, απαιτείται η τροποποίηση των παραμέτρων **CLAMP_ANALOG_MAP** και **CLAMP_SENSORS**, μεταβάλλοντας τις τιμές τους από false σε true, προκειμένου να ενεργοποιηθούν οι αντίστοιχες λειτουργίες περιορισμού των μετρήσεων.

Συγκεκριμένα, η παράμετρος **CLAMP_SENSORS** χρησιμοποιείται πριν από τη διαδικασία αντιστοίχισης τιμών (Mapping), με στόχο τον περιορισμό των ακατέργαστων μετρήσεων (Raw Values) που προέρχονται από τον ADC εντός των προκαθορισμένων ορίων. Με τον τρόπο αυτό, αποτρέπεται η χρήση τιμών που βρίσκονται εκτός του επιθυμητού εύρους λειτουργίας των αισθητήρων.

Αντίστοιχα, η παράμετρος **CLAMP_ANALOG_MAP** εφαρμόζεται μετά τη διαδικασία Mapping και διασφαλίζει ότι οι τιμές εξόδου παραμένουν εντός του καθορισμένου εύρους αντιστοίχισης. Στη συγκεκριμένη υλοποίηση, το εύρος αυτό ορίζεται από 0 έως 4095, σύμφωνα με την ανάλυση 12 bit του ADC του ESP32.

Η ενεργοποίηση των δύο παραμέτρων συμβάλλει στον αποτελεσματικότερο έλεγχο των δεδομένων των αισθητήρων και στον περιορισμό ανεπιθύμητων τιμών κατά την επεξεργασία τους.

```
//Filtering and clamping analog inputs
#define CLAMP_ANALOG_MAP true //clamp the mapped analog values from 0 to ANALOG_MAX

// Enable and set min and max to match your sensor's expected raw value range
// This discards any spurious values outside of the useful range
#define CLAMP_SENSORS true //clamp the raw sensor values
#define CLAMP_MIN 0 //the minimum value from the flexion sensors
#define CLAMP_MAX ANALOG_MAX //the maximum value from the flexion sensors

// You must install RunningMedian library to use this feature
// https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/runningmedian/
#define ENABLE_MEDIAN_FILTER false //use the median of the previous values, helps reduce noise
#define MEDIAN_SAMPLES 10
```

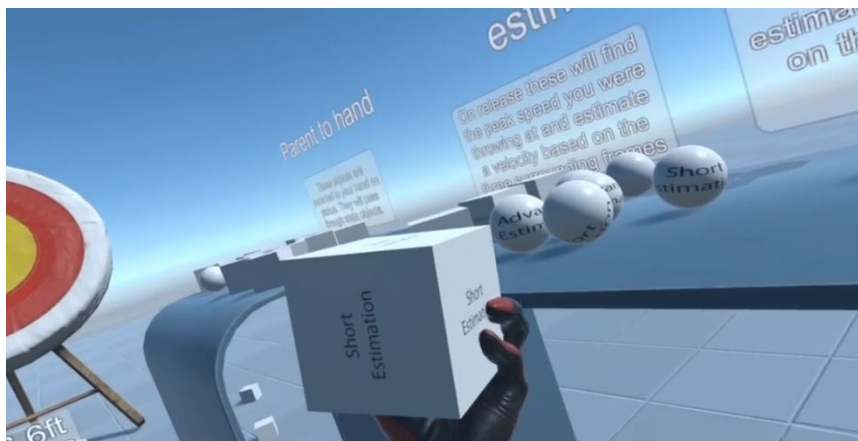
Εικόνα 45: Κώδικας λοιπόν επιλογών

4.1 Proof of Concept

Το μοντέλο δουλεύει με σχετικό βίντεο/παρουσίαση, είναι σε ένα πολύ ικανοποιητικό στάδιο που υπάρχει η ευκαιρία και για ζωντανή επίδειξη.



Εικόνα 46: Ζωντανή δοκιμή γαντιών A



Εικόνα 47: Ζωντανή λήψη γαντιών B

(Ο σύνδεσμος για το βίντεο)

<https://youtu.be/3mxaFHNzZ-o>

(Σύνδεσμος Demo λειτουργίας και proof of concept)

<https://youtube.com/shorts/3P0BSvoEJ2Q?feature=share>

4.2 Αναβαθμίσεις

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής και την επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας των γαντιών, εντοπίστηκαν ορισμένες δυνατότητες περαιτέρω βελτίωσης, με κύριο στόχο την ενίσχυση της εργονομίας, της άνεσης και της συνολικής λειτουργικότητας του συστήματος.

Μία από τις σημαντικότερες μελλοντικές βελτιώσεις αφορά τη χρήση ελαφρύτερων και περισσότερο εύκαμπτων υλικών, τα οποία θα επιτρέπουν πιο φυσικές και ομαλές κινήσεις των χεριών, περιορίζοντας παράλληλα την καταπόνηση του χρήστη κατά την παρατεταμένη χρήση. Επιπλέον, η ανάπτυξη μιας βελτιωμένης βάσης στήριξης για τον ESP32 θα μπορούσε να συμβάλει στην αποτελεσματικότερη κατανομή του βάρους και στη μεγαλύτερη σταθερότητα της κατασκευής.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει επίσης η περαιτέρω βελτίωση της οργάνωσης της καλωδίωσης (Cable Management), η οποία αποτελεί μία από τις πιο άμεσα υλοποιήσιμες αναβαθμίσεις. Η συγκεκριμένη παρέμβαση θα μπορούσε να μειώσει την πολυπλοκότητα των συνδέσεων, να περιορίσει τον κίνδυνο αποσύνδεσης καλωδίων και να διευκολύνει τη συντήρηση του συστήματος.

Τέλος, έχουν εξεταστεί πρόσθετα σχέδια (Blueprints) για την κατασκευή ειδικής βάσης στήριξης του χειριστηρίου κίνησης, με στόχο τη βελτίωση της εργονομίας και την παροχή μεγαλύτερης άνεσης και ακρίβειας κατά τον χειρισμό του χρήστη στο εικονικό περιβάλλον. Οι παραπάνω παρεμβάσεις αποτελούν πιθανές κατευθύνσεις μελλοντικής εξέλιξης του πρωτοτύπου, με σκοπό τη δημιουργία ενός περισσότερο λειτουργικού, ελαφρού και φιλικού προς τον χρήστη συστήματος.



Εικόνα 49: 3D εκτυπωμένη βάση ESP32



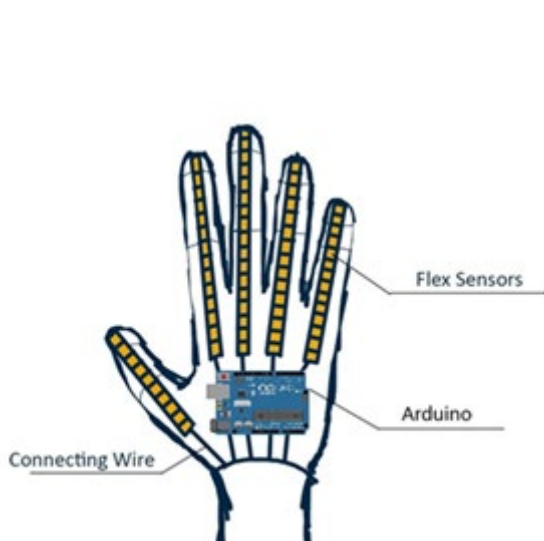
Εικόνα 50: Χρήση της βάσης ESP32



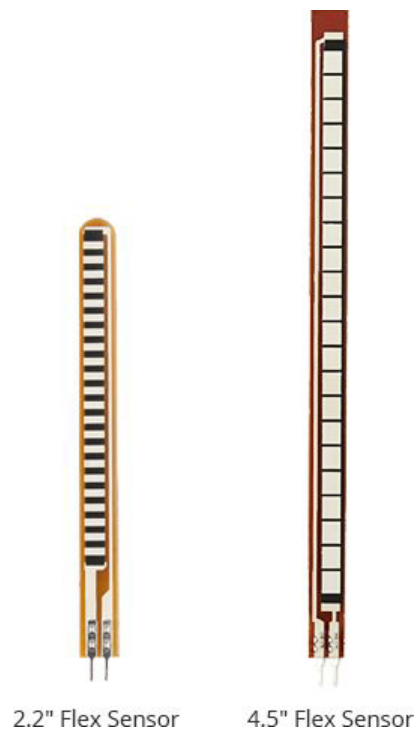
Εικόνα 48: 3D βάση κουμπιού

Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί προκαταρκτικά σχεδιαγράμματα για την πλήρη ανακατασκευή των γαντιών, με βασική διαφοροποίηση την ενσωμάτωση αισθητήρων κάμψης (Flex Sensors) για την παρακολούθηση των κινήσεων των δακτύλων. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποσκοπεί στη μείωση του συνολικού μεγέθους και βάρους των γαντιών, καθώς και στην απλοποίηση της μηχανικής τους κατασκευής, περιορίζοντας τον αριθμό των απαιτούμενων εξαρτημάτων.

Παράλληλα, η χρήση αισθητήρων κάμψης μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της κατανομής του βάρους και στη μετατόπιση του κέντρου βάρους του συστήματος πλησιέστερα στο χέρι του χρήστη. Με τον τρόπο αυτό, επιδιώκεται η μείωση της μηχανικής καταπόνησης και η επίτευξη πιο φυσικών και ομαλών κινήσεων, ενισχύοντας την εργονομία και την άνεση κατά τη χρήση των γαντιών.



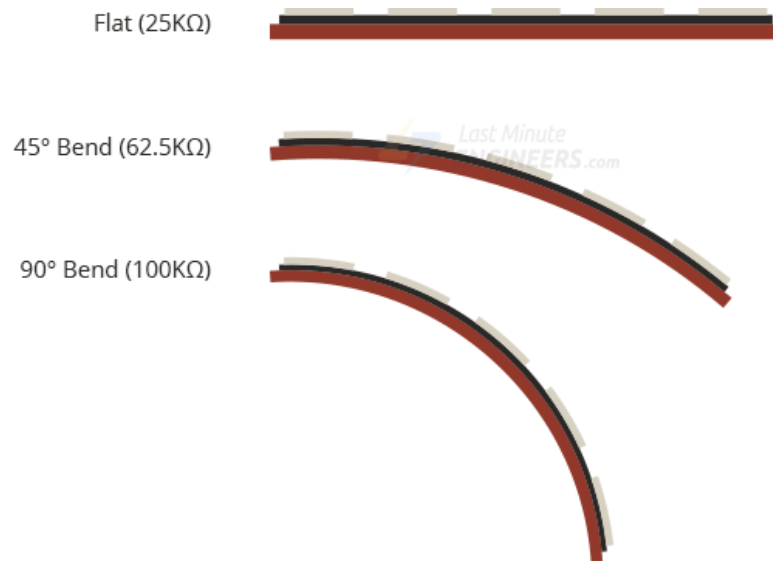
Εικόνα 51: Σχεδιάγραμμα γαντιών + flex sensors



Εικόνα 52: flex sensors

Όσον αφορά τη λειτουργία τους, οι αισθητήρες κάμψης (Flex Sensors) παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα ως προς την εργονομία, τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και την ευκαμψία τους. Χάρη στα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, μπορούν να προσαρμόζονται στις φυσικές κινήσεις των δακτύλων, χωρίς να περιορίζουν σημαντικά την κινητικότητά τους.

Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής τους αντίστασης ανάλογα με τον βαθμό κάμψης. Συγκεκριμένα, καθώς ο αισθητήρας κάμπτεται, η αντίστασή του μεταβάλλεται, επιτρέποντας την αντιστοίχιση διαφορετικών τιμών αντίστασης με διαφορετικές γωνίες κάμψης των δακτύλων. Με κατάλληλη βαθμονόμηση (Calibration), οι μεταβολές αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν για την εκτίμηση της θέσης και της κίνησης κάθε δακτύλου, επιτρέποντας την αναπαράστασή τους στο εικονικό περιβάλλον.



Εικόνα 53: παράδειγμα χρήσης flex sensors

5

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώθηκε στον σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργική αξιολόγηση ενός συστήματος έξυπνων γαντιών Εικονικής Πραγματικότητας (VR), με στόχο τη διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησής του στον τομέα της υγείας και ιδιαίτερα στην εκπαίδευση του υγειονομικού και διασωστικού προσωπικού. Βασική επιδίωξη αποτέλεσε η ανάπτυξη μιας οικονομικά προσιτής και λειτουργικής κατασκευής, η οποία επιτρέπει την παρακολούθηση των κινήσεων των δακτύλων και την παροχή απτικής ανάδρασης κατά την αλληλεπίδραση με εικονικά περιβάλλοντα.

Στο πλαίσιο της υλοποίησης πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός και η τρισδιάστατη εκτύπωση των απαραίτητων μηχανικών εξαρτημάτων, καθώς και η ενσωμάτωση ποτενσιόμετρων, σερβοκινητήρων και μικροελεγκτή ESP32. Παράλληλα, αξιοποιήθηκε λογισμικό ανοιχτού κώδικα για τη διαχείριση των αισθητήρων, την επεξεργασία των δεδομένων κίνησης και τον έλεγχο των μηχανισμών απτικής ανάδρασης. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη σωστή συνδεσμολογία, στη βαθμονόμηση των αισθητήρων και στη βελτίωση της οργάνωσης της καλωδίωσης, ώστε να εξασφαλιστεί η ομαλή συνεργασία των επιμέρους υποσυστημάτων.

Οι λειτουργικές δοκιμές επιβεβαίωσαν τη δυνατότητα καταγραφής των κινήσεων των δακτύλων και αξιοποίησης των αντίστοιχων μετρήσεων για την αλληλεπίδραση με το εικονικό περιβάλλον. Επιπλέον, η ολοκλήρωση της κατασκευής και η παρουσίαση της λειτουργίας της μέσω επίδειξης (Proof of Concept) ανέδειξαν την τεχνική εφικτότητα της προτεινόμενης προσέγγισης. Ωστόσο, η συγκεκριμένη αξιολόγηση αφορά κυρίως τη λειτουργικότητα του πρωτοτύπου και δεν αποτελεί απόδειξη της εκπαιδευτικής ή κλινικής αποτελεσματικότητάς του.

Παρά τα θετικά αποτελέσματα της αρχικής υλοποίησης, εντοπίστηκαν ορισμένοι περιορισμοί που σχετίζονται κυρίως με το βάρος, την εργονομία, την πολυπλοκότητα της καλωδίωσης και την ελευθερία κινήσεων του χρήστη. Για την αντιμετώπισή τους προτείνονται μελλοντικές βελτιώσεις, όπως η χρήση ελαφρύτερων υλικών, ο επανασχεδιασμός των βάσεων στήριξης και η αντικατάσταση του μηχανισμού παρακολούθησης της κίνησης με αισθητήρες κάμψης (Flex Sensors). Επιπλέον, η περαιτέρω ανάπτυξη εξειδικευμένων εκπαιδευτικών σεναρίων και η αξιολόγηση του συστήματος από πραγματικούς χρήστες θα μπορούσαν να προσφέρουν σημαντικά στοιχεία σχετικά με τη χρηστικότητα και την αποτελεσματικότητά του.

Συμπερασματικά, η εργασία ανέδειξε ότι ο συνδυασμός τεχνολογιών Εικονικής Πραγματικότητας, φορετών αισθητήρων και οικονομικά προσιτών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων μπορεί να αποτελέσει τη βάση για την ανάπτυξη διαδραστικών συστημάτων εκπαίδευσης. Το πρωτότυπο που υλοποιήθηκε αποτελεί ένα αρχικό βήμα προς αυτή την κατεύθυνση, δημιουργώντας

προοπτικές για περαιτέρω τεχνολογική εξέλιξη και μελλοντική αξιοποίηση σε εφαρμογές προσομοίωσης, εκπαίδευσης στις πρώτες βοήθειες και αποκατάστασης στον τομέα της υγείας.

Βιβλιογραφία

Redesign of a virtual reality basic life support module for medical training – a feasibility study

<https://bmccemergmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12873-024-01092-w>

Application of VR Technology to the Training of Paramedics

<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/3/1172>

Medical First Responder Training using a Mixed Reality Approach featuring haptic feedback for enhanced realism

<https://cordis.europa.eu/article/id/454200-mixed-reality-training-for-medical-first-responders>

Efficacy of Virtual Reality Simulation in Teaching Basic Life Support and Its Retention at 6 Months

<https://www.mdpi.com/1660-4601/20/5/4095>

Virtual reality as a teaching method for resuscitation training in undergraduate first year medical students

<https://sjtrem.biomedcentral.com/counter/pdf/10.1186/s13049-021-00836-y.pdf>

SimX Develops EMS Training Program Using Virtual Reality

<https://www.prnewswire.com/news-releases/simx-develops-ems-training-program-using-virtual-reality-301515985.html>

Πηγές περί νοσοκομειακής υγείας.

Prajapati, M., & Kumar, S. (2025). *Virtual reality revolution in healthcare: a systematic review*. Health and Technology, 15, 231–242.

<https://doi.org/10.1007/s12553-025-00941-3>.

Immersive Innovations: Exploring the Diverse Applications of Virtual Reality (VR) in Healthcare

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11016331/>

Implementation of virtual reality in healthcare: a scoping review on the implementation process of virtual reality in various healthcare settings

<https://implementationsciencecomms.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43058-023-00442-2>

Effectiveness of fully immersive virtual reality-based simulation training on objective knowledge acquisition

<https://academic.oup.com/ehjdh/advance-article/doi/10.1093/ehjdh/ztaf094/8247877?login=false>

in acute coronary syndrome/ST-elevation myocardial infarction emergency management: a pre-post-intervention study

<https://academic.oup.com/ehjdh/advance-article/doi/10.1093/ehjdh/ztaf094/8247877?login=false>

Effectiveness of Virtual and Augmented Reality for Emergency Healthcare Training: A Randomized Controlled Trial

<https://www.mdpi.com/2227-9032/13/9/1034>

Virtual Reality Applications in Medicine During the COVID-19 Pandemic: Systematic Review

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36282554/>

Effect of Virtual Reality-Based Rehabilitation on Mental Health and Quality of Life of Stroke Patients

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39491576/>

Virtual Reality for Health Professions Education: Systematic Review and Meta-Analysis by the Digital Health Education Collaboration

<https://www.jmir.org/2019/1/e12959/>

The Effects of Immersive Virtual Reality Applications on Enhancing the Learning Outcomes of Undergraduate Health Care Students: Systematic Review With Meta-synthesis

<https://www.jmir.org/2023/1/e39989>

Effects of Virtual Reality-Based Therapy on Quality of Life of Patients with Subacute Stroke: A Three-Month Follow-Up Randomized Controlled Trial

<https://www.mdpi.com/1660-4601/18/6/2810>

A Systematic Review of Commercial Smart Gloves: Current Status and Applications

<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/8/2667>

History of Virtual Reality

https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-031-23161-2_169.pdf