



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΜΕΛΕΤΗ, ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΩΣΚΕΛΕΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΑ ΑΤΟΜΑ ΜΕ ΠΤΩΣΗ ΑΚΡΟΥ ΠΟΔΑ»

ΦΟΙΤΗΤΡΙΕΣ

ΚΑΝΙΓΑΡΙΔΟΥ ΔΕΣΠΟΙΝΑ (Α.Μ. 6996)
ΜΠΑΣΙΩΤΗ ΒΛΑΣΙΑ (Α.Μ. 7020)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Δρ. ΣΩΤΗΡΙΟΣ Α. ΤΣΙΡΚΑΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	vi
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	vii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ix
Abstract.....	x
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	1
1.1 ΟΡΘΩΤΙΚΗ.....	1
1.1.1 Όρθωση.....	2
1.1.2 Οι εμβιομηχανικές αρχές της όρθωσης	3
1.1.3 Παθητικές και Ενεργητικές ορθώσεις	5
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ	10
2.1 ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΔΙΣΗΣ	10
2.1.1 Κινηματική μελέτη.....	12
2.1.2 Δυναμική μελέτη.....	13
2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΔΙΣΗΣ	15
2.3 ΜΕΣΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΑΔΙΣΗΣ	17
2.3.1 Μέσα κινητικής ανάλυσης	17
2.3.2 Μέσα κινηματικής ανάλυσης	17
2.4 FOOT DROP	19
2.4.1 Ανάλυση βάρδισης ασθενή με πτώση άκρου πόδα	21
2.4.2 Σύγκριση και ανάλυση κινητικών και κινηματικών μεγεθών	22
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ	27
3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ	27
3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ	29
3.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΤΥΠΟΥ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ	29
3.3.1 Βασικά μεγέθη και χαρακτηριστικοί υπολογισμοί γραναζιών	30
3.3.2 Επιλογή κατάλληλων διαστάσεων	31
3.3.3 Εφαρμοζόμενες δυνάμεις σε ευθύγραμμο κωνικά γρανάζια	32
3.4 ΕΔΡΑΝΑ ΚΥΛΙΣΗΣ.....	37
3.4.1 Έδρανα κύλισης στον κηδεμόνα ExoGaitOR	37
3.5 SOLIDWORKS	38
3.6 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΡΘΩΣΗΣ ExoGaitOR.....	41
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ	43
4.1 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ.....	43

4.1.1 Υλικά ενίσχυσης	44
4.1.2 Υλικά Μήτρας	46
4.1.3 Σύνθετα με πολυμερική μήτρα και ινώδη ενίσχυση	48
4.1.4 Πλεονεκτήματα σύνθετων υλικών	51
4.2 ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	51
4.2.1 Ορθή τάση και παραμόρφωση	51
4.2.2 Ισοδύναμη τάση και παραμόρφωση	52
4.2.3 Κριτήρια αστοχίας σύνθετων υλικών	53
4.2.4 Πεπερασμένα στοιχεία	55
4.2.5 Εργαλείο αστοχίας συνθέτων υλικών	56
4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ExoGaitOR ΣΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ANSYS	57
4.3.1 Ανάλυση αντοχής κηδεμόνα	57
4.3.2 Ανάλυση αντοχής μηχανισμού ExoGaitOR	67
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ	69
5.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	69
5.1.1 Οι αισθητήρες στην Εμβιομηχανική	69
5.1.2 Είδη αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στην εμβιομηχανική	69
5.1.3 Αισθητήρες κάμψης (flex sensor)	71
5.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ	73
5.2.1 Κατηγορίες κινητήρων	73
5.2.2 Βηματικοί κινητήρες (stepper motors)	76
5.2.3 Σερβοκινητήρες (servo motors)	77
5.2.4 Χαρακτηριστικά κινητήρων	79
5.2.5 Σωστή λειτουργία κινητήρα	80
5.2.6 Επιλογή κινητήρα	80
5.3 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ	83
5.3.1 Κατηγορίες μπαταριών	84
5.3.2 Είδη μπαταριών	85
5.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	88
5.4.1 Επιλογή μπαταρίας ExoGaitOR	89
5.5 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ	91
5.5.1 Μικροελεγκτές	91
5.5.2 ARDUINO	92
5.5.3 Επιλογή μικροελεγκτή για τον νάρθηκα ExoGaitOR	93
5.5.4 Συνδεσμολογία νάρθηκα ExoGaitOR	95

6.	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ExoGaitOR	96
6.1	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΜΕ ΓΥΨΟΓΑΖΑ	96
6.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	97
6.3	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ	99
6.4	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	100
6.5	ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ «ExoGaitOR»	101
6.6	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ExoGaitOR	103
	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	104
	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ.....	105
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	110
	Κώδικας ExoGaitOR	110

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Μέρη εφαρμογής μιας όρθωσης [5]	2
Εικόνα 2 Παραδείγματα κνημοποδικών ορθώσεων [8]	9
Εικόνα 3 Διάγραμμα ροής διαχωρισμού των επιστημών της Εμβιομηχανικής και την Κινησιολογίας	10
Εικόνα 4 Δεδομένα κινηματικής ανάλυσης [13]	12
Εικόνα 5 Κινηματικό μοντέλο του ανθρώπινου σώματος και ανάλυση σε τρία επίπεδα [14],[15]	13
Εικόνα 6 α) Δυνάμεις και ροπές που ασκούνται από το πόδι στο έδαφος και αντίστροφα. β) GRF σε διάφορες φάσεις της βάρδισης [17],[18]	14
Εικόνα 7 Οι Φάσεις της βάρδισης [23].	16
Εικόνα 8 Δυναμόπλακα [24]	17
Εικόνα 9 Κάμερα καταγραφής της κίνησης [25]	17
Εικόνα 10 Σημεία τοποθέτησης των επιταχυνσιομέτρων. Κάτω δεξιά ο αισθητήρας λήψης των δεδομένων.[26],[27]	19
Εικόνα 11 Σύστημα αγωγίμου διαδρόμου.	19
Εικόνα 12 Μυς της κνήμης [30]	19
Εικόνα 13 Δερματική νεύρωση κάτω άκρων [29],[30]	20
Εικόνα 14 α). κάμψη-έκταση γόνατος, β) πελματιαία και ραχιαία κάμψη	22
Εικόνα 15 Σύγκριση γωνιών αστραγάλου και γόνατος	24
Εικόνα 16 Διάγραμμα κάθετης δύναμης [19]	25
Εικόνα 17 Διάγραμμα ροπών της άρθρωσης του αστραγάλου	26
Εικόνα 18 α. Spur gear, β. Helical gear, γ. Straight rack, δ. Helical rack, ε. Internal gear και στ. Double helical gear.[35],[36],[37],[38],[39],[40]	27
Εικόνα 19 α. Straight bevel gear, β. Spiral bevel gear, γ. Zero bevel gear, δ. Face gear και ε. Angular straight bevel gear.[41],[47],[43],[44], [45]	28
Εικόνα 20α. Hypoid gear, β. Crossed helical gear και γ. Cylindrical worm with cylindrical worm wheel [46],[47], [48]	28
Εικόνα 21 α. Sprockets, β. Ratchet gear και γ. Timing pulley. [49],[50], [51]	28
Εικόνα 22 Βασικά μεγέθη γραναζιών [53]	29
Εικόνα 23 Δυνάμεις σε ευθύγραμμο κωνικά γρανάζια.	33
Εικόνα 24: Γεωμετρικός συντελεστής J, κατά AGMA [53].	34
Εικόνα 25 Επιμέρους τμήματα εδράνου κύλισης	37
Εικόνα 26 Αναπαράσταση διαστάσεων εδράνου κύλισης	37
Εικόνα 27 Θέση εδράνου κύλισης στον κνημοποδικό κηδεμόνα ExoGaitOR	38
Εικόνα 28 Λογότυπο σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks [57]	38
Εικόνα 29 Βασικά κομμάτια της όρθωσης ExoGaitOR	39
Εικόνα 30 Όρθωση ExoGaitOR	40
Εικόνα 31 Σχέδιο εξωτερικού περιβλήματος, του μικροελεγκτή Arduino Nano	41
Εικόνα 32 Συνδυασμοί σύνθετων υλικών.[59]	43
Εικόνα 33 Κατηγορίες μορφής ενίσχυσης συνθέτων.	44
Εικόνα 34 Προσανατολισμός των ινών [59]	44
Εικόνα 35 Απλή πλέξη [60]	45
Εικόνα 36 Γραφικές με χαρακτηριστικά μεγέθη διαφορετικών υλικών ενίσχυσης [58].	46
Εικόνα 37 Όρια θερμοκρασίας υλικών μήτρας [58].	46
Εικόνα 38 Ορθή τάση-Normal stress	51
Εικόνα 39 Ορθή παραμόρφωση-Normal strain	51
Εικόνα 40 Πολυαξονική τάση	53
Εικόνα 41 Μορφές στοιχείων υπολογιστικού πλέγματος	55
Εικόνα 42 Λογότυπο Ansys	57
Εικόνα 43 Διαδικασία ανάλυσης συνθέτων	57
Εικόνα 44 Βοηθητικά βελάκια για τη μοντελοποίηση του συνθέτου	58
Εικόνα 45 Απεικόνιση της αστοχίας σύμφωνα με τα κριτήρια TsaiHill και TsaiWu των συνθέτων υλικών	58
Εικόνα 46 Σημεία όπου εφαρμόζονται τέσσερις στρώσεις	59
Εικόνα 47 Φορές GRF και M_a	59
Εικόνα 48 Μελέτη ανεξαρτησίας του πλέγματος	60
Εικόνα 49 Διάγραμμα ολικής παραμόρφωσης	60

Εικόνα 50 Διάγραμμα ισοδύναμης τάσης κατά Von-mises	61
Εικόνα 51 Διάγραμμα ισοδύναμης ελαστικής παραμόρφωσης κατά Von-mises	61
Εικόνα 52 Διάγραμμα συντελεστή ασφαλείας (safety factor)	62
Εικόνα 53 Διάγραμμα ExoGaitOR βάση του κριτηρίου αστοχίας Tsai Hill	62
Εικόνα 54 Διάγραμμα ExoGaitOR βάση του κριτηρίου αστοχίας Tsai Wu	63
Εικόνα 55 Διάγραμμα ολικής παραμόρφωσης	64
Εικόνα 56 Διάγραμμα ισοδύναμης ελαστικής καταπόνησης κατά Von Mises	64
Εικόνα 57 Διάγραμμα ισοδύναμη τάσης η κατά Von-mises	65
Εικόνα 58 Διάγραμμα ExoGaitOR βάση του κριτηρίου αστοχίας Tsai Hill	65
Εικόνα 59 Διάγραμμα ExoGaitOR βάση του κριτηρίου αστοχίας Tsai Wu	66
Εικόνα 60 Απεικόνιση ισοδύναμων τάσεων κατά Von Misses	67
Εικόνα 61 Ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση κατά Von Misses	67
Εικόνα 62 Απεικονίσεις ορθής τάσεις και παραμόρφωσης	68
Εικόνα 63 α. επιταχυνσιόμετρο, β. Γυροσκόπιο, γ. Αισθητήρας δύναμης, δ. Αισθητήρας πίεσης, ε. Αισθητήρας οπτικών ινών, στ. Ηλεκτρόδια EMG, ζ. αισθητήρας υπερήχων, η. UWB ραντάρ, θ. Γωνιόμετρα και ι. Οπτικό σύστημα εντοπισμού.[67],[68],[69],[70],[71],[72],[73],[74],[75],[76]	71
Εικόνα 64 Αισθητήρας κάμψης (flexsensor).[77]	71
Εικόνα 65 Βασικό κύκλωμα διαιρέτη τάσης.[79]	73
Εικόνα 66 Κινητήρας με ψήκτρες.[80]	74
Εικόνα 67 Κινητήρας χωρίς ψήκτρες.[89]	75
Εικόνα 68 Βηματικός κινητήρας[82]	76
Εικόνα 69 Επιμέρους τμήματα σερβοκινητήρων [83]	77
Εικόνα 70 Απαιτούμενη ροπή.[83]	81
Εικόνα 71 Απόσταση μεταξύ αστραγάλου και κέντρου βάρους [84]	82
Εικόνα 72 Κινητήρας KSTX15-755X [85]	83
Εικόνα 73 Λειτουργία φόρτισης ή αποφόρτισης μπαταρίας [86]	83
Εικόνα 74 Διάγραμμα ροπής και έντασης ρεύματος για τον KSTX15-755X.	90
Εικόνα 75 Μπαταρία ExoGaitOR	91
Εικόνα 76 Διάφοροι τύποι πλακετών Arduino [95].	93
Εικόνα 77 Μικροελεγκτής Arduino nano[95]	94
Εικόνα 78 Συνδεσμολογία επιμέρους εξαρτημάτων ExoGaitOR	95
Εικόνα 79 Κατασκευή με γυψόγαζα.	96
Εικόνα 80 Εφαρμογή σύνθετων υλικών	98
Εικόνα 81 Εκτυπωμένα εξαρτήματα	99
Εικόνα 82 Σύνδεση ηλεκτρονικού εξοπλισμού	100
Εικόνα 83 Κατασκευαστικό μοντέλο ExoGaitOR.	101
Εικόνα 84 Τοποθέτηση επιμέρους τμημάτων συσκευής ExoGaitOR	102

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 Τύποι ορθώσεων	4
Πίνακας 2 Παθητικές και υβριδικές ορθώσεις	7
Πίνακας 3 Ενεργητικές και ημι-ενεργητικές κνημοποδικές ορθώσεις	8
Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά ομάδων τα οποία αναλύθηκαν στην μελέτη	22
Πίνακας 5 Σύγκριση χωροχρονικών παραμέτρων βάρδισης ενός ασθενή και ενός υγιούς [33]	24
Πίνακας 6 Τεχνικά χαρακτηριστικά	37
Πίνακας 7 Κατηγορίες πολυμερικών μητρώων	47
Πίνακας 8 Πολυμερή Σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών γυαλιού	48
Πίνακας 9 Πολυμερή σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών άνθρακα	49
Πίνακας 10 Πολυμερή σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών αραμιδίου	50
Πίνακας 11 Δεδομένα για τις ιδιότητες πολυμερικών συνθέτων [62]	50
Πίνακας 12 Εξαρτήματα και μέθοδοι καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων [66]	70
Πίνακας 13 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα brushed motors	75
Πίνακας 14 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κινητήρων χωρίς ψήκτρες	76
Πίνακας 15 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα βηματικών κινητήρων	77
Πίνακας 16 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα σερβοκινητήρων	78
Πίνακας 17 Χαρακτηριστικά σερβοκινητήρων	79
Πίνακας 18 Υπολογισμός φορτίων	82
Πίνακας 19 Βασικά χαρακτηριστικά πρωτεύοντων και εφαρμογές συσσωρευτών [88]	86
Πίνακας 20 Βασικά χαρακτηριστικά δευτερευόντων και εφαρμογές συσσωρευτών [88]	87
Πίνακας 21 Βασικά δομικά στοιχεία μικροελεγκτών [92]	91
Πίνακας 22 Χαρακτηριστικά Arduino Nano [95]	94
Πίνακας 23 Κόστη εξαρτημάτων	103

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται τη Μελέτη, την Ανάλυση και την κατασκευή ενός μηχανισμού βάδισης για άτομα με μερική παράλυση στα κάτω άκρα». Εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών μας, στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου. Πρωταρχικός στόχος της είναι η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων που πάσχουν από πτώση άκρου πόδα. Είναι επίσης απόδειξη συνδυασμού επιστημών στην προσπάθεια εύρεσης μιας λύσης για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.

Θα θέλαμε, να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα μας κ. Τσίρκα Σωτήριο για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Εδώ, η θεωρία πλέον γίνεται πράξη προς όφελος ανθρώπων που έχουν πραγματικά ανάγκη. Δεν ξεχνάμε τη βοήθεια του και τη συμπαράσταση που έδειξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης.

Είναι αδύνατο όμως να ξεχάσουμε τη συμβολή και τη συνεργασία του φοιτητή του τμήματος Φυσικοθεραπείας Μαλαχιά Ι. καθώς και τον επιβλέποντα καθηγητή του κο. Κ. Κουτσογιάννη για την αρχική ιδέα τους και τη βοήθεια τους στο θεωρικό μέρος της κατασκευής αυτής.

Βέβαια σημαντική υπήρξε η συμβολή και στήριξη των γονιών μας, κατά τη διάρκεια όλων των σπουδών μας. Η ενθάρρυνση τους αποτέλεσε και αποτελεί σημαντικό στοιχείο της μέχρι τώρα διαδρομής μας. Δεν θα μπορούσαμε όμως να παραλείψουμε την συμπαράσταση των φίλων και αδερφών μας σε όλη την πορεία μας αυτή. Η θετική τους ενέργεια συνέβαλλε σημαντικά στη διαδικασία αυτή.

*“In the middle of every
difficulty lies opportunity”*

Albert Einstein

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι Φοιτήτριες

Κανιγαρίδου Δέσποινα

Μπασιώτη Βλασία

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής είναι η δημιουργία μιας ενεργητικής, ελκυστικής και μικρών διαστάσεων όρθωσης, που θα προσφέρει άνετη εφαρμογή και αποκατάσταση στους χρήστες, με δυνατότητες καθημερινής χρήσης στο μέλλον.

Το εξωτερικό υποστήριγμα που βοηθά στην τροποποίηση των δομικών ή λειτουργικών χαρακτηριστικών του νευρομυοσκελετικού συστήματος του ανθρώπου, ονομάζεται όρθωση. Μία όρθωση μπορεί να υποστηρίξει διάφορα μέρη του ανθρώπινου σώματος. Οι ορθώσεις κατηγοριοποιούνται κυρίως, σε ενεργητικές και παθητικές, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους.

Στην παρούσα πτυχιακή σχεδιάστηκε, αναλύθηκε και κατασκευάστηκε μία κνημοποδική όρθωση για τους ασθενείς που πάσχουν από πτώση άκρου πόδα. Οι ασθενείς ή έχουν υποστεί κάποια νευρική βλάβη ή μυϊκή βλάβη, με αποτέλεσμα να έχουν ανωμαλία στον κύκλο βάδισης τους. Ταυτόχρονα όμως, παρατηρούνται αλλαγές στα κινηματικά και κινητικά μεγέθη. Η ανάλυση των μεγεθών αυτών γίνεται με τη βοήθεια των τεχνολογικών μέσων και των διαφόρων συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί για το σκοπό αυτό.

Ο κηδεμόνας αυτός αποτελείται από δύο μέρη. Αυτό που υποστηρίζει την κνήμη και αυτό που περιβάλλει το πέλμα. Επιπρόσθετα, ο κύριος μηχανισμός της κνημοποδικής όρθωσης αποτελείται από κωνικά με ευθεία οδόντωση γρανάζια. Στόχος των κωνικών γραναζιών είναι η αύξηση της τελικής ροπής που θα δοθεί στον κηδεμόνα. Για την αποφυγή διαφόρων δυνάμεων τριβής, κρίθηκε απαραίτητη η χρήση ενός ρουλεμάν. Να σημειωθεί πως η κίνηση στην όρθωση αυτή δίνεται από έναν σερβοκινητήρα.

Με σκοπό την αύξηση της αντοχής του κηδεμόνα, μεγάλο μέρος του έχει κατασκευαστεί από σύνθετα υλικά. Πιο συγκεκριμένα, ο κηδεμόνας πρόκειται να κατασκευαστεί από ανθρακόνημα, τα γρανάζια από χάλυβα, ενώ κάποια επιμέρους τμήματα δύναται να παραχθούν σε τρισδιάστατο εκτυπωτή.

Για τη διεκπεραίωση της πτυχιακής ο σχεδιασμός έγινε σε σχεδιαστικό πρόγραμμα Solidworks, ο προγραμματισμός σε Arduino, ενώ για την ανάλυση της αντοχής του κηδεμόνα χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα Ansys Workbench Mechanical. Έτσι, για τις απαιτήσεις της στατικής ανάλυσης λήφθηκαν υπ' όψη δύο βασικές φάσεις βάδισης, αυτή της αρχικής επαφής και αυτή της προώθησης. Έπειτα, για την ανάλυση αντοχής των γραναζιών λήφθηκε μόνο η ροπή που δέχεται το πινιόν από τον κινητήρα ως φορτίο.

Μετά από μελέτη των διαφόρων κινητήρων, αποφασίστηκε πως οι κατάλληλοι κινητήρες για την εφαρμογή αυτή είναι οι σερβοκινητήρες. Έτσι, η όρθωση ExoGaitOR λειτουργεί με τη βοήθεια δύο σερβοκινητήρων, οι οποίοι εκτελούν κίνηση και συντονίζονται, μέσω ενός μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής για το συντονισμό του σωστού βηματισμού, λαμβάνει δεδομένα από έναν αισθητήρα κάμψης (flex sensor) και εφόσον τα επεξεργαστεί, μέσω του κώδικα, δίνει εντολή στους κινητήρες να περιστραφούν. Κύρια πηγή ενέργειας της συσκευής αυτής είναι μία διάταξη μπαταριών.

Η κατασκευή του κνημοποδικού κηδεμόνα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Μηχανικά καθοδηγούμενων μηχανών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου. Αρχικά κατασκευάστηκε ένα καλούπι από γυψόγαζα, έπειτα με βάση αυτό και με τις κατάλληλες ενέργειες διαμορφώθηκε το ανθρακόνημα. Αμέσως μετά την αναμονή ώστε να στεγνώσει το ανθρακόνημα διανοίχθηκαν οι οπές και τοποθετήθηκαν τα γρανάζια και τα υπόλοιπα εκτυπωμένα εξαρτήματα.

Abstract

The purpose of this thesis is to construct a small, consumers appealing and active orthosis, that patients can wear easily and that can help them through the rehabilitation process, which could also be used in everyday life after some structural improvements.

The external support contributes to the modification of the structural or functional characteristics of human neuromuscular system, is called orthosis. An orthosis can support various parts of the human body. The orthosises are mainly categorized into active and passive, depending on how they work.

In this thesis, an ankle foot orthosis was designed, analysed and constructed, for patients with foot drop. Patients have suffered either nerve or muscle damage, resulting in abnormalities to their gait cycle. At the same time, changes in kinetics and kinematics magnitudes are noticed. The analysis of these magnitudes are conducted via technological means and various system that have been developed for this purpose.

This orthopaedic brace is composed of two parts. One that supports tibia and another one that surrounds the sole. In addition, the main mechanism of this ankle foot orthosis consists of straight bevel gears. The goal of the conical gears is to increase the final torque given to the orthotic brace. To avoid various friction forces, it was considered necessary to use a bearing. Note the motion to the orthotic brace given by a servo motor.

In order to increase the strength of the orthotic brace, a big part of it, has been constructed with composite materials. More specifically, the orthotic brace is going to be constructed with carbon fiber, steel gears, while some individual parts can be produced in a 3D printer.

For the purposes of the thesis, the design of the brace was done in the Solidworks design program, the programming in Arduino program, while Ansys computer program was used to analyse the strength. Therefore, for the requirements of static analysis two basic phases were taken into account, that of the initial contact and that of push off. Then, for the strength analysis of the conical gears only torque that received by the pinion from the motor was obtained as a load.

After studying the various motors, it was decided that the appropriate motors for this application are servomotors. Thus, ExoGaitOR orthosis operates with two servo motors, which conduct motion and synchronize through a microcontroller. The microcontroller, in order to synchronize the gait, receives data from a flex sensor and process them through the code, instructing the motor to rotate. The main power source of this device is a battery configuration.

The constructure of this active AFO fulfilled in CNC laboratory of University of Peloponnese. At first, a plaster gauze mold was made, and then with the proper procedures, the carbon fiber was formed. After waiting for the carbon fiber to dry, the holes were drilled, while the gears and the other 3D printed components were installed.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1.1 ΟΡΘΩΤΙΚΗ

Η ορθωτική είναι η επιστήμη που ασχολείται με την ανάπτυξη μηχανολογικών συσκευών με σκοπό την υποστήριξη ή την υποβοήθηση εξασθενημένων αρθρώσεων ή μη φυσιολογικών αρθρώσεων των άκρων. Συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση προβλημάτων ορθοπεδικής φύσεως, με την χρήση των ορθώσεων. Η όρθωση είναι ένας εξωτερικά εφαρμοζόμενος μηχανισμός που υποβοηθά δυσλειτουργίες του νευρομυϊκού σκελετικού συστήματος [1].

Η ιστορία της ορθωτικής ξεκινά περίπου 2000 χρόνια πριν, όταν τοποθετούσαν στα σανδάλια στρώματα μαλλιού ώστε να περιορίσουν την καταπόνηση των ποδιών και την κούραση. Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση υποστηρικτικού της καμάρας έγινε το 1865, όταν ο Everett H. Dunbar της Bridgewater στη Μασαχουσέτη πρόσθεσε δέρμα μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής σόλας, ώστε να δίνει επιπλέον στήριξη στην καμάρα.

Όμως, η πρώτη πραγματική όρθωση εμφανίζεται περίπου το 1905 με το όνομα Whitman Brace, από τον Royal Whitman. Πρόκειται για ένα άκαμπτο μεταλλικό στήριγμα της καμάρας που περιβάλλει την πτέρνα και την καμάρα. Παρόλο που προκαλούσε φθορές στα υποδήματα λόγω του όγκου και του βάρους, έγινε γνώστη εξαιτίας του κατασκευαστή της, που ήταν φημισμένος στον κλάδο των ορθοπεδικών χειρουργών. Το 1910, κατασκευάστηκε μια όρθωση ελαφρύτερη και πιο εύκαμπτη, από τον Δρ. William Scholl. Πρόκειται για την Foot-Easer, που για αρκετά χρόνια πουλήθηκαν εκατομμύρια ζευγάρια [2].

Έπειτα, στα μέσα του 20^{ου} αιώνα, που η πολιομυελίτιδα ήταν το πιο συχνό σύνδρομο, κατασκεύασαν ορθώσεις από δέρμα και χάλυβα για την υποστήριξη των κάτω άκρων. Να σημειωθεί, πως ο ιός της πολιομυελίτιδας προσβάλλει τόσο το νευρικό, όσο και το αναπνευστικό σύστημα. Με το πέρασμα του χρόνου και της εξέλιξης των επιστημών τα υλικά αυτά εγκαταστάθηκαν από νέα ελαφρότερα και πιο εύκαμπτα [3].

Η ορθωτική χρησιμοποιήθηκε τόσο για την κάλυψη των αναγκών των ασθενών με κινητικά προβλήματα, όσο και για την υποβοήθηση των στρατιωτών κατά τη διάρκεια του πολέμου. Ο λόγος γίνεται για τα exoskeleton (εξωσκελετικά), που πρώτος τα κατασκεύασε ο Ρώσος Nicolas Yagin. Το 1960 κατασκευάζεται από την General Electric και τον Αμερικάνικο στρατό, ένα κοστούμι τροφοδοτούμενο από υδραυλικά συστήματα και ηλεκτρικό ρεύμα. Σκοπός του ήταν η αύξηση της αντοχής των στρατιωτών, η διευκόλυνση της κίνησης αλλά και η συγκράτηση των βαρέων αντικειμένων. Η ανάπτυξη των exoskeleton συνεχίζεται ακόμα και σήμερα για τη χρήση τους από τους στρατιώτες πεζικού [4].

1.1.1 Όρθωση

Ο όρος όρθωση προέρχεται από το ρήμα ορθώνω, που σημαίνει στηρίζω κάτι όρθιο ή σε κατάλληλη θέση. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η όρθωση είναι ένας εξωτερικός μηχανισμός, που έχει ως στόχο την τροποποίηση των δομικών ή λειτουργικών χαρακτηριστικών του νευρομυοσκελετικού συστήματος [1]. Μία όρθωση χρησιμοποιείται για τους παρακάτω λόγους:

- Έλεγχος, καθοδήγηση, περιορισμός ή ακινητοποίηση τμήματος κάποιου άκρου, κάποιας άρθρωσης ή τμήματος του σώματος
- Περιορισμός της κίνησης ως προς κάποια κατεύθυνση
- Υποβοήθηση της κίνησης
- Μείωση των δυνάμεων που παραλαμβάνει ένα τραυματισμένο μέλος, από το ποσοστό του σωματικού βάρους που ασκείται
- Αποκατάσταση από κατάγματα, μετά την αφαίρεση του γύψου
- Διόρθωση του σχήματος ή της λειτουργίας του σώματος, για τη βελτίωση της κίνησης και τη μείωση του πόνου

Η κατασκευή μιας όρθωσης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση θερμοπλαστικών, ανθρακονημάτων, μετάλλων, ελαστικών, EVA (οξικού άλατος αιθυλενίου βινυλίου), υφασμάτων ή και με συνδυασμό παρόμοιων υλικών. Η συνήθης τοποθέτηση των χρατς, βοηθά στη σωστή και σταθερή τοποθέτηση του κηδεμόνα.

Ο όρος όρθωση είναι μια πιο γενική περιγραφή. Ανάλογα με την τοποθεσία που εφαρμόζεται ένας κηδεμόνας, προκύπτει και η αντίστοιχη ονομασία-κατηγορία. Στην Εικόνα 1 απεικονίζονται οι ομάδες εφαρμογής των διάφορων ειδών ορθώσεων. Η πτυχιακή αυτή αφορά τη δημιουργία ενός κηδεμόνα που εφαρμόζεται στο τμήμα του 'αστραγάλου-ποδιού', ο οποίος ονομάζεται κνημοποδικός κηδεμόνας ή σύμφωνα με την αγγλική ορολογία «AFO-Ankle Foot Orthosis»

Οι ορθώσεις ανάλογα με την περιοχή της τοποθέτησής τους, ομαδοποιούνται σε «**ορθώσεις άνω άκρων**» και «**ορθώσεις κάτω άκρων**». Αρχικά η όρθωση των άνω άκρων είναι μία μηχανική ή ηλεκτρομηχανική κατασκευή που εφαρμόζεται εξωτερικά από το βραχίονα ή τμήματα αυτού. Από την άλλη, οι ορθώσεις των κάτω άκρων είναι και αυτή μια κατασκευή εξωτερικής εφαρμογής που εφαρμόζεται σε τμήματα των κάτω άκρων [5].



Εικόνα 1 Μέρη εφαρμογής μιας όρθωσης [5]

1.1.2 Οι εμβιομηχανικές αρχές της όρθωσης

Υπάρχουν τρεις βασικές αρχές που βασίζεται η εμβιομηχανική, όσο αναφορά το σχεδιασμό και την κατασκευή μιας όρθωσης [6]. Οι τρεις βασικές αρχές είναι:

- **Τρία σημεία πίεσης**

Το άθροισμα των δυνάμεων και των ροπών που δημιουργούνται, πρέπει να είναι ίσο με το μηδέν. Για παράδειγμα, αν μία δύναμη ασκείται στην περιοχή της παραμόρφωσης, τότε είναι απαραίτητο να υπάρχουν δύο αντίθετες σε αυτή αντιδράσεις. Ενώ, κατά τη διάρκεια που ο ασθενής στέκεται όρθιος και ακίνητος, η γραμμή του βάρους του (σύμφωνα με το κέντρο βάρους), πρέπει να διέρχεται από την πίσω μεριά της άρθρωσης του ισχίου, την μπροστινή της άρθρωσης του γόνατος και την μπροστινή της άρθρωσης του αστραγάλου.

- **Ολική επαφή**

Η πίεση είναι ίση με τη συνολική δύναμη που ασκείται ανά επιφάνεια. Αυτό υποδηλώνει πως όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του υποστρώματος μιας όρθωσης, τόσο οι τιμές των δυνάμεων που ασκούνται στο σώμα θα ελαττώνονται.

Ο τύπος της πίεσης: $P=FA$, $[N/m^2]$ (1.1)

P: η πίεση, που ασκείται στο σώμα, από τον κηδεμόνα

F: η δύναμη που ασκείται στον κηδεμόνα

A: η επιφάνεια του υποστρώματος της όρθωσης

- **Μερική ανακούφιση από το βάρος**

Η αρχή αυτή αναφέρει πως όσο το δυνατόν μακριά βρίσκεται το σημείο εφαρμογής της δύναμης από την άρθρωση, τόσο αυξάνεται η ροπή, ενώ το μέγεθος της δύναμης που απαιτείται για την παραγωγή μιας συγκεκριμένης ροπής στην άρθρωση γίνεται μικρότερο. Έτσι, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της όρθωσης, τόσο αυξάνεται η ροπή που καταλήγει στην άρθρωση ή στο κινούμενο τμήμα.

1.1.2.1 Κατηγορίες όρθωσης κάτω άκρων

Οι ορθώσεις που εφαρμόζονται στα κάτω άκρα, ανάλογα με τη χρήση τους, διακρίνονται στους παρακάτω τύπους (Πίνακας 1) [7]:

Πίνακας 1 Τύποι ορθώσεων

Κνημοποδική όρθωση	AFO: Ankle Foot Orthosis
Μηροκνημοποδική όρθωση	KAFO: Knee Ankle Foot Orthosis
Όρθωση γόνατος	KO: Knee Orthosis
Οσφυομηροκνημοποδική όρθωση	HKAFO: Hip Knee Ankle Foot Orthosis
Οσφυϊκή όρθωση	HO: Hip Orthosis
Ορθωτικά πέλματα και υποδήματα	-

Κνημοποδική όρθωση (AFO)

Είναι ένα υποστήριγμα, συνήθως κατασκευασμένο από πλαστικό, ενώ τα τελευταία χρόνια είναι διαδεδομένη και η χρήση του ανθρακονήματος. Η χρήση ενός AFO, υποστηρίζει τον αστράγαλο και τον κρατά σταθερό στη σωστή θέση, καθώς βοηθά επίσης στη βάδιση ατόμων με πτώση άκρου ποδός. Σκοπός, αυτής της όρθωσης είναι ο έλεγχος της ευθυγράμμισης και της κίνησης των αρθρώσεων του ποδιού και του αστραγάλου.

Μηροκνημοποδική όρθωση (KAFO)

Η όρθωση KAFO εκτείνεται σε μεγάλο μέρος του ποδιού, καθώς καλύπτει το γόνατο, τον αστράγαλο και το πέλμα. Κατά τη χρήση του βοηθά τους μυς και σταθεροποιεί της αρθρώσεις. Τα βασικά υλικά κατασκευής αυτών είναι τα μέταλλα, τα πλαστικά, τα υφάσματα και το δέρμα.

Όρθωση γόνατος (KO)

Η όρθωση του γόνατος εκτείνεται προς τα πάνω και προς τα κάτω σε σχέση με τη θέση του γόνατος. Είναι σχεδιασμένη ώστε να ελέγχει τους μη λειτουργικούς συνδέσμους και να παρέχει λειτουργική υποστήριξη και αποκατάσταση, μετά από τραυματισμό και χειρουργική επέμβαση, του γόνατος.

Οσφυομηροκνημοποδική όρθωση (ΗΚΑFO)

Στην άρθρωση του ισχίου και στον πύελο εφαρμόζεται ένα στέλεχος, το οποίο είναι τοποθετημένο πλευρικά και κατακόρυφα σε μία όρθωση ΚΑFO και με αυτόν τον τρόπο μετατρέπεται σε ΗΚΑFO. Σκοπός αυτού του τύπου όρθωσης είναι ο περιορισμός της αστάθειας και της αδυναμίας του ισχίου σε κάμψη – έκταση, προσαγωγή – επαγωγή και εσωτερική – εξωτερική περιστροφή.

Οσφυϊκή όρθωση (HO)

Η όρθωση αυτή επιτρέπει την πλήρη έκταση του ισχίου και κάμψη στις 95 μοίρες καθώς και ρυθμιζόμενη στάση για την προσαγωγή. Παράλληλα αντιστέκεται στη μηριαία προσαγωγή και χρησιμοποιείται κυρίως από ηλικιωμένους ασθενείς, που έχουν ολική αντικατάσταση ισχίου.

1.1.3 Παθητικές και Ενεργητικές ορθώσεις

Οι κνημοποδικές ορθώσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται σε καθημερινή βάση, είναι κυρίως παθητικές. Οι παθητικές ορθώσεις διακρίνονται σε αρθρωτές (articulated) και σε μη αρθρωτές (non-articulated). Μπορούν ωστόσο να χωριστούν και σε υποκατηγορίες ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους. Με την εφαρμογή των παθητικών ορθώσεων παρεμποδίζεται η ανεπιθύμητη κίνηση του ποδιού άμεσα, μέσω της φυσικής αντίστασης.

Οι παραδοσιακές μεταλλικές και δερμάτινες ορθώσεις, με μηχανικές παύσεις, χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της κίνησης. Με τη χρήση ελατηρίων στις ορθώσεις προσφέρεται αντίσταση ή υποβοηθάτε η κίνηση. Το υλικό κατασκευής αυτών των ορθώσεων τις καθιστά πιο οικονομικές συγκριτικά με αυτές των σύνθετων υλικών, όμως είναι αντιαισθητικές. Πολλές από τις νέες υβριδικές ορθώσεις, έχουν σχεδιαστεί έχοντας μεγαλύτερη αποδοτικότητα στον έλεγχο της κίνησης του αστραγάλου (AFO). Οι υβριδικές ορθώσεις συνδυάζουν θερμοπλαστικά χαμηλού βάρους ή στρώσεις συνθέτου άνθρακα μαζί με αρθρωτούς συνδέσμους και στοιχεία παθητικού ελέγχου της κίνησης. Οι παθητικές ορθώσεις παρουσιάζουν ακαμψία, με μέγιστη ροπή αντίστασης έως 20 N·m, για ένα εύρος κίνησης 30 μοιρών.

Αν και τα παθητικά στοιχεία ενσωματώθηκαν στις υβριδικές ορθώσεις, και μπορούν να ελέγχουν την κίνηση και την προσφερόμενη ροπή, εξακολουθούν να υπάρχουν περιορισμοί στις δυνατότητες μιας καθαρά παθητικής συσκευής. Τα παθητικά στοιχεία βελτιώνουν τους περιορισμούς της βάρδισης, ελέγχοντας την κίνηση. Γενικά όμως, δεν παρέχουν άμεση βοήθεια κατά τη διάρκεια της προωθητικής φάσης. Επιπλέον ο έλεγχος των παθητικών ορθώσεων, βασίζεται στην ενεργοποίηση των ελατηρίων, των βαλβίδων ή των διακοπών με επαναλαμβανόμενο τρόπο, καθώς το άτομο περπατά. Οι παθητικές ορθώσεις, έχουν περιορισμένες δυνατότητες, δεν προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες και διαφορετικές απαιτήσεις της βάρδισης. Σε αντίθεση, οι ημι-ενεργητικές και οι ενεργητικές ορθώσεις, χρησιμοποιούν εξωτερικές τροφοδοσίες και είναι εξοπλισμένες με ενεργοποιητές που διευθύνουν τους δύο περιορισμούς των παθητικών ορθώσεων.

Οι ημι-ενεργητικές και ενεργητικές ορθώσεις μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες, σε αυτές που χρησιμοποιούνται καθημερινά και σε αυτές που προορίζονται

αυστηρά για αποκατάσταση στο εργαστήριο. Η λειτουργία των ενεργών συστημάτων βασίζεται στη ανατροφοδότηση των αισθητήρων, ώστε να καθοριστούν οι συνθήκες κίνησης και η απαιτούμενη βοήθεια που πρέπει να προσφερθεί στο χρήστη. Ένα σχετικό παράδειγμα, είναι πως ένα άτομο με αδυναμία της ραχιαίας κάμψης χρειάζεται βοήθεια για τον έλεγχο της κίνησης των ποδιών, κατά τη φάση της αιώρησης, για την αποφυγή της πτώσης άκρου ποδός. Οι εξ ολοκλήρου ενεργητικές ορθώσεις είναι σε θέση να προσφέρουν καθαρή δύναμη στον αστράγαλο, ενώ οι παθητικές και ημι-ενεργητικές, μπορούν μόνο να αποθηκεύουν και να απελευθερώνουν τη διαθέσιμη ενέργεια.

Οι ορθώσεις που κυριαρχούν στο εμπόριο και παρέχονται για καθημερινή χρήση, είναι οι παθητικές. Οι παθητικές ορθώσεις, περιορίζουν τις ανεπιθύμητες κινήσεις του ποδιού, αλλά δεν παρέχουν βοήθεια κατά τη διάρκεια της προωθητικής φάσης βάρδισης. Οι λόγοι που αυτές ενδείκνυται για καθημερινή χρήση είναι η απλότητα, η ανθεκτικότητα και η στενή σύνδεση των επιμέρους τμημάτων. Όμως καθώς ο έλεγχος της κίνησης μπορεί να βελτιώσει τη λειτουργικότητα ενός ατόμου, οι παθητικές ορθώσεις εμποδίζουν τη βάρδιση σε άλλα σημεία του κύκλου, χωρίς να παρέχουν συμπληρωματική ροπή υποβοήθησης. Επίσης, δεν μπορούν να προσαρμοστούν σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον, όπως για παράδειγμα την ανάβαση και κατάβαση σκαλιών. Οι ημι-ενεργητικές ορθώσεις αντιμετωπίζουν μερικούς από τους περιορισμούς των παθητικών, χρησιμοποιώντας αισθητήρες και μηχανισμούς ελεγχόμενης πέδησης, ώστε να ελέγξουν την κίνηση του ποδιού.

Ο συλλογισμός για το σχεδιασμό μιας ιδανικής όρθωσης, πρέπει να καταμετρά τις διαφορετικές απαιτήσεις λειτουργίας, ώστε να περιλαμβάνει πολλές πτυχές της βάρδισης που είναι δυνατόν να επηρεαστούν από κάποιον τραυματισμό ή να είναι αποτέλεσμα κάποιας παθολογίας. Επιπλέον, τα επιμέρους τμήματα της όρθωσης πρέπει να σε στενή σύνδεση μεταξύ τους, με όσο το δυνατόν μικρότερο βάρος, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι ενεργειακές επιπτώσεις στο χρήστη.

Παρακάτω ακολουθούν δυο πίνακες με χαρακτηριστικά παραδείγματα παθητικών (Πίνακας 2), ενεργητικών και ημι-ενεργητικών) ορθώσεων[8]

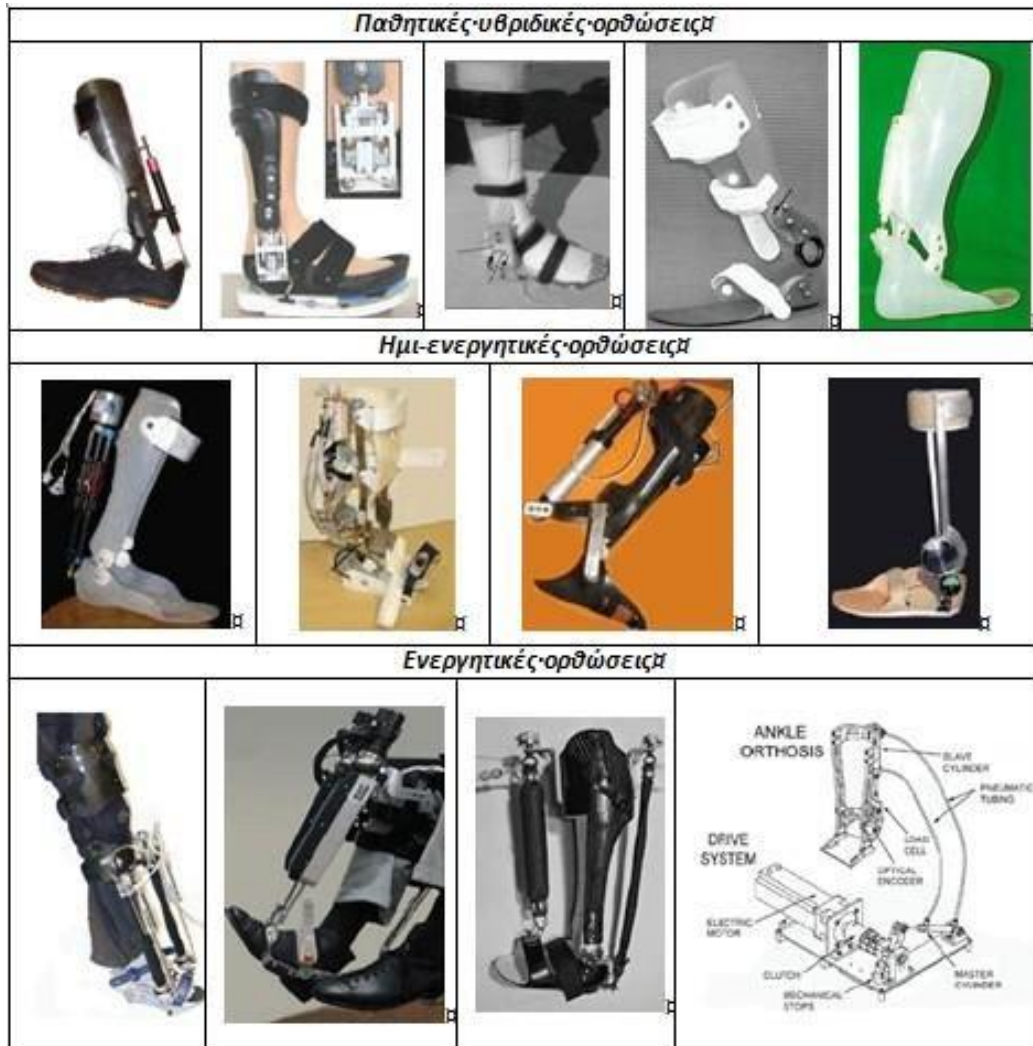
Πίνακας 2 Παθητικές και υβριδικές ορθώσεις

Τύπος	Ενεργό στοιχείο	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
DACS AFO	Μηχανικό Ελατήριο	Στενά συνδεδεμένα επιμέρους στοιχεία, χαμηλό βάρος, untethered. Με εναλλάξιμα ελατήρια για τις απαιτήσεις του κάθε ασθενή.	Σταθερή δύναμη αντίστασης, εμποδίζει την κίνηση.
PneumaFlex AFO	Ελατήριο Αέρα	Στενά συνδεδεμένα επιμέρους στοιχεία, χαμηλό βάρος, untethered. Με ρυθμιζόμενα πνευματικά ελατήρια για τις απαιτήσεις του κάθε ασθενή.	Σταθερή δύναμη αντίστασης, εμποδίζει την κίνηση.
University of Illinois AFO	Κλειδώμα CAM	Με μεγάλο εύρος ελέγχου της κίνησης, untethered, χρειάζεται ενέργεια για την ενεργοποίηση του μηχανισμού κατά την διάρκεια του βηματισμού.	Ογκώδης δομή, με περίπλοκο σύστημα κλειδώματος.
Osaka University Hybrid AFO	Φρένο Τριβής	Με μεγάλο εύρος ελέγχου της κίνησης, untethered, στοιχεία αντίδρασης στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους, συσσώρευση ενέργειας κατά την διάρκεια της βάδισης.	Η αντίσταση που προσφέρεται από την πέδηση δεν μπορεί να ρυθμιστεί με ευκολία.
Kanagawa Rehabilitation Center AFO	Αποσβεστήρας Λαδιού	Με μεγάλο εύρος ελέγχου της κίνησης, untethered, χαμηλό βάρος, η δύναμη αντίστασης είναι ρυθμιζόμενη.	Η δύναμη αντίδρασης είναι ίδια κατά τη διάρκεια της αρχικής στάσης και της αιώρησης.
Okayama University AFO	Πνευματικός Ενεργοποιητής	Με μεγάλο εύρος ελέγχου της κίνησης, untethered, η ενέργεια ενεργοποίησης του ενεργού στοιχείου, συσσωρεύεται κατά τη βάδιση.	Ογκώδης δομή, με παραγωγή μικρής προσφερόμενης ροπής.

Πίνακας 3 Ενεργητικές και ημι-ενεργητικές κνημοποδικές ορθώσεις.

Τύπος	Ενεργό στοιχείο	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Osaka University AFO	Μαγνητορεολογικός (MR) αποσβεστήρας	Με μεγάλο εύρος ελέγχου της κίνησης, με υψηλά μέγιστα των ροπών αστοχίας.	Tethered, παρουσιάζει μόνο αντίσταση στη κίνηση.
Halstead University AFO	Μαγνητορεολογικός (MR) αποσβεστήρας	Με μεγάλο εύρος ελέγχου της κίνησης, untethered.	Παρουσιάζει μόνο αντίσταση στη κίνηση.
MIT Active AFO	Σειριακός Ελαστικός Ενεργοποιητής (SEA)	Παρέχει υποβοήθηση για ραχιαία και πελματιαία κάμψη.	Tethered.
Arizona State Robotic Tendon AFO	Ρομποτικός Τένοντας (τροποποιημένο SEA)	Παρέχει υποβοήθηση για ραχιαία και πελματιαία κάμψη.	Tethered.
BIONic Walk Aide	Λειτουργία Ηλεκτρικής Προσομοίωσης (FES)	Στενά συνδεδεμένα επιμέρους στοιχεία, χαμηλό βάρος.	Για περιορισμένο πληθυσμό ατόμων.
NESS L300	Λειτουργία Ηλεκτρικής Προσομοίωσης (FES)	Στενά συνδεδεμένα επιμέρους στοιχεία, χαμηλό βάρος.	Για περιορισμένο πληθυσμό ατόμων.

Παρακάτω ακολουθεί η Εικόνα 2 με χαρακτηριστικά παραδείγματα για κάθε μια κατηγορία.



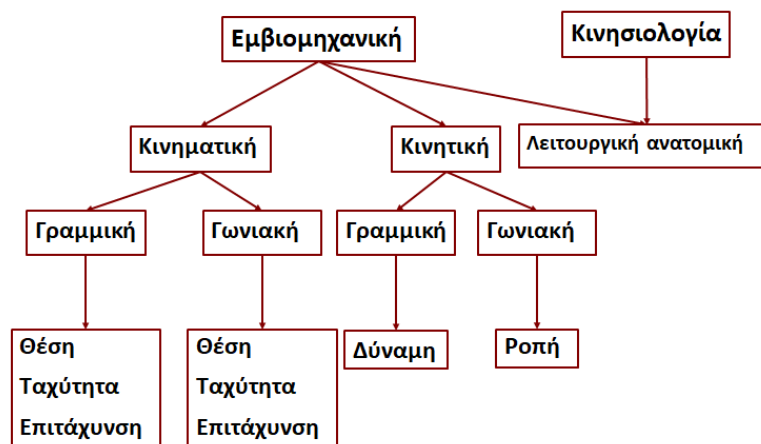
Εικόνα 2 Παραδείγματα κνημοποδικών ορθώσεων [8]

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2.1 ΜΕΛΕΤΗ ΒΑΔΙΣΗΣ

Η βάδιση είναι ο κύριος τρόπος μετακίνησης των ανθρώπων και χαρακτηρίζεται από περιόδους φόρτισης και αποφόρτισης των κάτω άκρων. Πρόκειται για μια περιοδική επαναληπτική κίνηση, αφού τα δύο κάτω άκρα επαναλαμβάνουν τις ίδιες κινήσεις ανά τακτά διαστήματα. Η διαδικασία αυτή είναι ο λεγόμενος κύκλος βάδισης. Πιο συγκεκριμένα ως κύκλος βάδισης ορίζεται η περίοδος, από την επαφή της πτέρνας του ενός ποδιού στο έδαφος, έως την επόμενη επαφή της πτέρνας στο έδαφος του ίδιου ποδιού. Υπάρχουν πολλοί τύποι βημάτων (βηματισμών) όπως το περπάτημα, το τρέξιμο, το άλμα και άλλοι παθολογικοί βηματισμοί, ωστόσο κύριος σκοπός αυτών είναι η μετακίνηση.

Η ανθρώπινη βάδιση διαφοροποιείται από άτομο σε άτομο. Η φυσιολογική βάδιση εμφανίζει κοινά στοιχεία σε όλους τους ανθρώπους και είναι μια δραστηριότητα που σχετίζεται με τη σωστή λειτουργία διαφόρων συστημάτων και οργάνων. Ο μοναδικός τρόπος βάδισης του κάθε ανθρώπου μαρτυρά τη μυοσκελετική του κατάσταση, την υγεία του, την προσωπικότητα του καθώς και κάποια ψυχολογικά και φυσικά χαρακτηριστικά του. Γι' αυτό και είναι αναγκαία η μελέτη και η ανάλυση της βάδισης ξεχωριστά για κάθε άνθρωπο.



Εικόνα 3 Διάγραμμα ροής διαχωρισμού των επιστημών της Εμβιομηχανικής και την Κινησιολογίας

Η κινησιολογία μελετά ποιοτικά την ανθρώπινη κίνηση, χρησιμοποιώντας γνώσεις της μηχανικής της φυσικής, της ανατομίας και της φυσιολογίας. Η ανατομική πλευρά της κινησιολογίας αποτελείται από τη μελέτη και την καταγραφή των ανατομικών στοιχείων του σκελετικού, μυϊκού και νευρικού συστήματος. Τυπικά, η ενασχόληση με την κινησιολογία συνδέεται άρρηκτα με την καλή γνώση της ανατομίας και φυσιολογίας του ανθρώπινου σώματος, των βασικών αρχών της νευτώνειας μηχανικής καθώς και κατανόηση της βάδισης και των κινήσεων των αρθρώσεων [9],[10].

Αντίστοιχα, η εμβιομηχανική μελετά ποιοτικά και ποσοτικά την ανθρώπινη κίνηση, χρησιμοποιώντας γνώσεις της φυσικής. Ο όρος αυτός συνδυάζει το πρόθεμα «έμβιο»-ζωή, με το πεδίο της μηχανικής. Είναι η επιστήμη που έχει σκοπό την

αναπαράσταση μηχανικών μοντέλων για τους έμβιους μηχανισμούς. Η αναπαράσταση αυτή σχετίζεται με τη λειτουργία ενός κυττάρου, ενός ιστού ή και ολόκληρου του οργανισμού. Έτσι, είναι πολύ σημαντικό για την εμβιομηχανική να μελετά τη μορφολογία και τις λειτουργίες των βιολογικών υλικών και στη συνέχεια να μετρά τις μηχανικές τους ιδιότητες ώστε να τα αναπαριστά με μηχανικά μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, με την εμβιομηχανική εξάγονται πληροφορίες για τα αποτελέσματα των δυνάμεων που δρουν στο ανθρώπινο σώμα. Άρα, η εμβιομηχανική εξετάζει την κίνηση των ζώντων οργανισμών και το αποτέλεσμα των δυνάμεων στους ζώντες οργανισμούς.

Πολλές φορές ο όρος εμβιομηχανική χρησιμοποιείται αλληλένδετα με τον όρο κινησιολογία (Εικόνα 3). Ο όρος κινησιολογία εμφανίζει πολλούς διαφορετικούς ορισμούς. Για ορισμένους η κινησιολογία αφορά την ποιοτική περιγραφή και μελέτη της κίνησης του ανθρώπινου σώματος. Για παράδειγμα, μια κινησιολογική ανάλυση περιλαμβάνει την περιγραφή της κίνησης των αρθρώσεων και τις ενέργειες των μυών και τις κινήσεις των αρθρώσεων. Αυτή η προσέγγιση δε βασίζεται σε ποσοτικές μετρήσεις, αλλά στην έννοια της παρατήρησης και της πρακτικής άσκησης. Για άλλους όμως, η κινησιολογία αποτελεί έναν ευρύτερο κλάδο, ο οποίος ασχολείται με τη μελέτη και την ερμηνεία της κίνησης. [11], [12].

2.1.1 Κινηματική μελέτη

Ψάχνοντας τον ορισμό της κινηματικής, μπορεί κάποιος να βρεθεί σε σύγχυση καθώς υπάρχει ταύτιση της σημασίας των όρων «κινηματική» και «κινητική», στη νεοελληνική γλώσσα, δηλώνοντας την περιγραφή της κίνησης των σωμάτων, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι δυνάμεις που επιδρούν στα σώματα. Αντίθετα στην αγγλική ορολογία υπάρχουν οι όροι «kinematics» και «kinetics». Ο όρος «kinematics» ορθά μπορεί να αναφερθεί ως κινηματική, ενώ ο όρος «kinetics», εκαφράζεται καλύτερα ως δυναμική. Τα μεγέθη που μελετώνται κυρίως στην κινηματική είναι :

- Μετατόπιση (Δx)
- Αρχική ταχύτητα (u_0)
- Τελική ταχύτητα (u)
- Χρονικό διάστημα (t)
- Σταθερή επιτάχυνση (a)

Στην Εικόνα 4 γίνεται σύγκριση των γωνιών του γόνατος, του πέλματος αλλά και του ισχίου κατά τη διάρκεια ενός κύκλου βάρδισης. Βάση των παραπάνω διαγραμμάτων τα οποία διεξάχθηκαν από πείραμα βρίσκονται τα κινηματικά μεγέθη. Το πρόβλημα απλοποιείται και καταγράφονται δεδομένα ενός σύνθετου προβλήματος όπως η βάρδιση με σκοπό την μελέτη περαιτέρω προβλημάτων.

Για τη μελέτη ενός ανθρώπινου μοντέλου χρησιμοποιείται συχνά η μέθοδος της αντίστροφης κινηματικής. Η αντίστροφη κινηματική είναι μια μαθηματική διαδικασία για την ανάκτηση των κινήσεων ενός σώματος, μέσα σε ένα περιβάλλον. Εν ολίγοις είναι η διαδικασία που μετατρέπει τις θέσεις των αρθρώσεων από το καρτεσιανό τρισδιάστατο χώρο σε γενικευμένες συντεταγμένες του μοντέλου (γωνίες), έτσι ώστε κάθε χρονική στιγμή το μοντέλο να είναι στην ίδια διάταξη με τις μετρήσιμες θέσεις των αντίστοιχων αρθρώσεων.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας, για την κατασκευή του κηδεμόνα της ποδοκνημικής άρθρωσης, ήταν απαραίτητα τα δεδομένα της κινηματικής ανάλυσης των κάτω άκρων. Συγκεκριμένα για τη βάρδιση, από την κινηματική

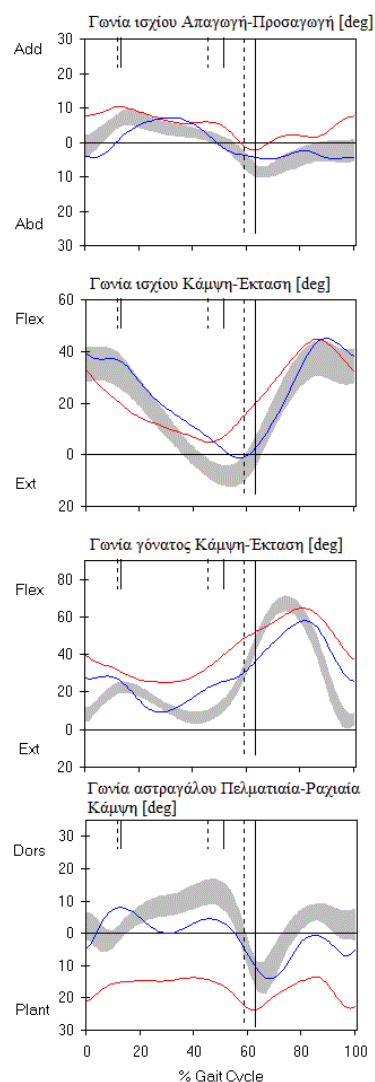
GaitLab
Klinik für PM&R, Wien
Ganglabor

KΙΝΗΜΑΤΙΚΗ

Δεξιά πλευρά: —
Αριστερή πλευρά: - - -
Τιμές αναφοράς: —

Name:
ID: 196
Dg.:
Exam. Date:

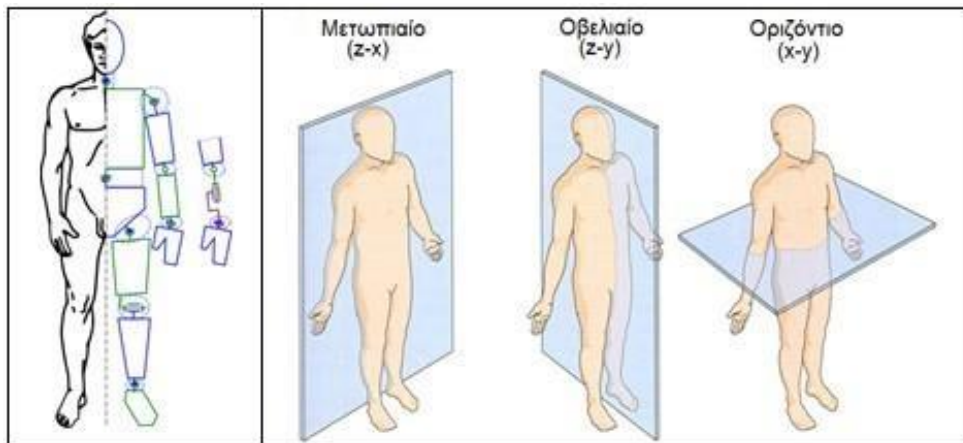
Ταχύτητα: 106,7 +/- 10,9 cm/sec
Ρυθμός: 143,1 +/- 10,1 steps/min
Μήκος βηματισμού: 89,3 +/- 4,8 cm
Χρόνος βηματισμού: 0,84 +/- 0,06 sec
Πλάτος βηματισμού: 30,1 +/- 7,2 cm
Μήκος δεξιού βηματισμού: 43,3 +/- 4,2 cm
Μήκος αριστερού βηματισμού: 45,6 +/- 4,0 cm
Δεξιά φάση στήριξης: 65,5 +/- 2,6 %
Αριστερή φάση στήριξης: 61,1 +/- 1,8 %



Εικόνα 4 Δεδομένα κινηματικής ανάλυσης [13]

ανάλυση παίρνουμε τα δεδομένα για το χρονικό διάστημα που χρειάζεται η κάθε επιμέρους φάση του κύκλου βάρδισης, το μήκος δρασκελισμού, τη μετατόπιση του κέντρου βάρους και το ρυθμός της βάρδισης.

Επειδή η κινηματική ανάλυση ενός ανθρώπου είναι πολύπλοκη, για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων έχουν δημιουργηθεί κάποιες παραδοχές. Το ανθρώπινο σώμα παρουσιάζει δυσκολίες στην ανάλυση λόγω του αριθμού των μελών του, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τις αρθρώσεις. Οι αρθρώσεις δεν αποτελούν ένα σημείο, αλλά καταλαμβάνουν περιοχή του σώματος, στοιχείο που δυσχεραίνει τον υπολογισμό της επίδρασης στα συνεργαζόμενα μέλη, όταν υπάρξει κίνηση. Η κίνηση στον τρισδιάστατο χώρο είναι χαρακτηριστικό που αυξάνει την δυσκολία της ανάλυσης.



Εικόνα 5 Κινηματικό μοντέλο του ανθρώπινου σώματος και ανάλυση σε τρία επίπεδα [14],[15]

Επιπλέον, το ανθρώπινο σώμα είναι ενεργητικό, δηλαδή εκτός των εξωτερικών δυνάμεων του περιβάλλοντος, εσωτερικά υπάρχουν οι μύες που ασκούν δυνάμεις. Για παράδειγμα αν η ανάλυση γινόταν με σταθερές εξωτερικές συνθήκες, τα αποτελέσματα για διαφορετικές χρονικές στιγμές θα ήταν διαφορετικά λόγω των μυών.

Οι παραδοχές που γίνονται (Εικόνα 5) αφορούν αρχικά την μορφολογία των τμημάτων του ανθρώπινου σώματος και η αναπαράσταση γίνεται με γνωστά γεωμετρικά σχήματα, που έχουν τη δυνατότητα να κινούνται ανεξάρτητα. Οι αρθρώσεις τοποθετούνται ως σημεία, η καθεμιά στο θεωρητικό κέντρο της άρθρωσης που αναφέρεται. Εφόσον οι πραγματικές συνθήκες συμβαίνουν σε τρισδιάστατο περιβάλλον, η ανάλυση πραγματοποιείται με τρεις συντεταγμένες (x,y,z) [16].

2.1.2 Δυναμική μελέτη

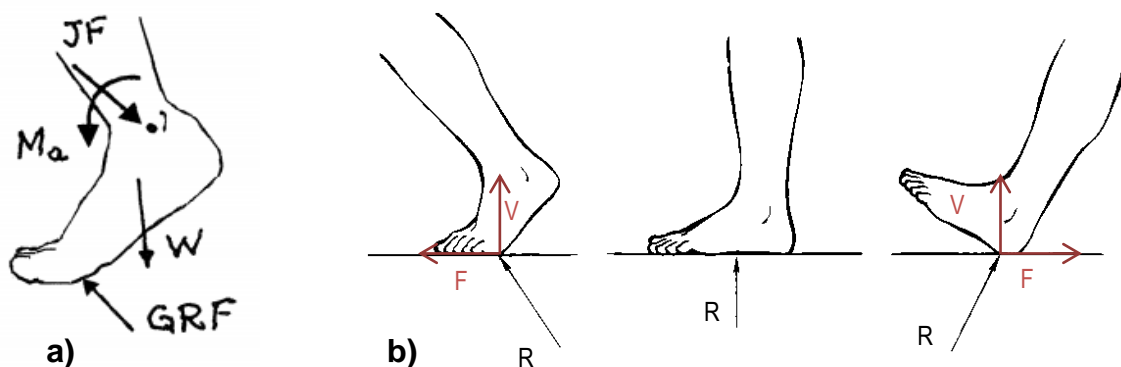
Καθημερινά, το ανθρώπινο σώμα παράγει εσωτερικές δυνάμεις και αντιστέκεται σε εξωτερικές δυνάμεις κατά τη διάρκεια της κίνησης του. Οι δυνάμεις της βαρύτητας και της τριβής επιτρέπουν τη βάρδιση και το χειρισμό αντικειμένων με προβλέψιμους τρόπους όταν οι μύες παράγουν εσωτερικές δυνάμεις.

Αφού γίνει η μελέτη της κινηματικής, το επόμενο βήμα είναι να εξαχθούν συμπεράσματα που σχετίζονται με τους παράγοντες της κίνησης του σώματος, όπως οι δυνάμεις, οι ροπές για δεδομένες τροχιές που σχετίζονται με την κίνηση.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι και μέθοδοι για τον υπολογισμό των δυνάμεων και των ροπών που ασκούνται σε ένα σώμα. Αρχικά, υπάρχει η αναλυτική μέθοδος σύμφωνα με την οποία μπορεί κανείς να πάρει όλες τις πληροφορίες της διάταξης. Επίσης, μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει αναδρομικές μεθόδους οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση αλλά μπορούν επίσης να μελετηθούν και πολύπλοκα προβλήματα. Η πολυπλοκότητα ενός προβλήματος εξαρτάται από τους βαθμούς ελευθερίας που μπορεί να έχει μία διάταξη.

Με τη μέθοδο της αντίστροφης δυναμικής προσδιορίζονται τα γενικευμένα μεγέθη των ροπών ή των δυνάμεων που πρέπει να ασκηθούν στις αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος ώστε το σύστημα να πράξει τη συγκεκριμένη κίνηση. Αυτό σημαίνει πως η διαδικασία της αντίστροφης δυναμικής βασίζεται στη διαδικασία της αντίστροφης κινηματικής. Η τεχνική αυτή βασίζεται στους νόμους του Νεύτωνα και πραγματοποιείται με συγκεκριμένα βήματα. Το πρώτο βήμα αφορά τη διαδικασία της μοντελοποίησης. Σε αυτό το σημείο καθορίζονται οι μαθηματικές εξισώσεις αλλά και οι γραφικές παραστάσεις των μελών που αποτελείται το σύστημα. Σε επόμενο βήμα, εφαρμόζονται οι εξισώσεις της δυναμικής ή της στατικής ανάλυσης. Οι γνώστες μεταβλητές είναι ανθρωπομετρικά στοιχεία όπως η μάζα, τα μήκη των μελών και η ροπή αδράνειας ενώ οι άγνωστες είναι οι δυνάμεις, οι ροπές και τα κινηματικά χαρακτηριστικά [11].

Γενικά, η **ροπή** μίας δύναμης ως προς ένα σημείο είναι το διανυσματικό φυσικό μέγεθος που έχει μέτρο ίσο προς το γινόμενο της δύναμης επί την κάθετη απόσταση της δύναμης από το σημείο περιστροφής. Η μονάδα μέτρησης της ροπής είναι Newton επί μέτρα ($N \cdot m$). Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο της κίνησης του Νεύτωνα κάθε δύναμη έχει μία ίση και αντίθετη αντίδραση. Καθώς το άτομο εφαρμόζει το σωματικό του βάρος στο έδαφος, το έδαφος εφαρμόζει μια δύναμη ίση αλλά αντίθετης φοράς στον άνθρωπο (δράση – αντίδραση). Κάθε άρθρωση του σώματος κατά τη διάρκεια της βάρδισης δέχεται διαφορετικές τιμές, διευθύνσεις και φορές δυνάμεων. Στην περίπτωση της άρθρωσης του αστραγάλου ασκείται η ροπή M_a που την προκαλεί η δύναμη της αντίδρασης του δαπέδου (GRF), οι δυνάμεις που δέχεται από την κνήμη (J_F), και το βάρος του αστραγάλου. Κατά τη διάρκεια της βάρδισης η διεύθυνση και το σημείο της αντίδρασης του δαπέδου αλλάζει (Εικόνα 6β). Πιο συγκεκριμένα, στη φάση της αρχικής επαφής του πέλματος στο έδαφος, η επιφάνεια που ασκείται η δύναμη της αντίδρασης του δαπέδου βρίσκεται στην πτέρνα.



Εικόνα 6 α) Δυνάμεις και ροπές που ασκούνται από το πόδι στο έδαφος και αντίστροφα. β) GRF σε διάφορες φάσεις της βάρδισης [17],[18]

2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΑΔΙΣΗΣ

Ο κύκλος βάδισης (Εικόνα 7) χωρίζεται σε δύο βασικές περιόδους, με σκοπό την καλύτερη μελέτη της κίνησης. Αναλυτικότερα, έχει χωριστεί στη **φάση στήριξης-στάσης**, που είναι το 60% της διάρκειας του κύκλου βάδισης και στη **φάση αιώρησης-ταλάντωσης** που είναι το 40% της συνολικής διάρκειας του κύκλου βάδισης. Με τη φάση στάσης χαρακτηρίζεται ο χρόνος που το πόδι είναι σε επαφή με το έδαφος. Αντίθετα, ο χρόνος που το πόδι βρίσκεται στον αέρα, ονομάζεται φάση αιώρησης. Οι δύο αυτές φάσεις υποδιαιρούνται στις παρακάτω μικρότερες φάσεις για την αποδοτικότερη μελέτη:

Φάση στήριξης

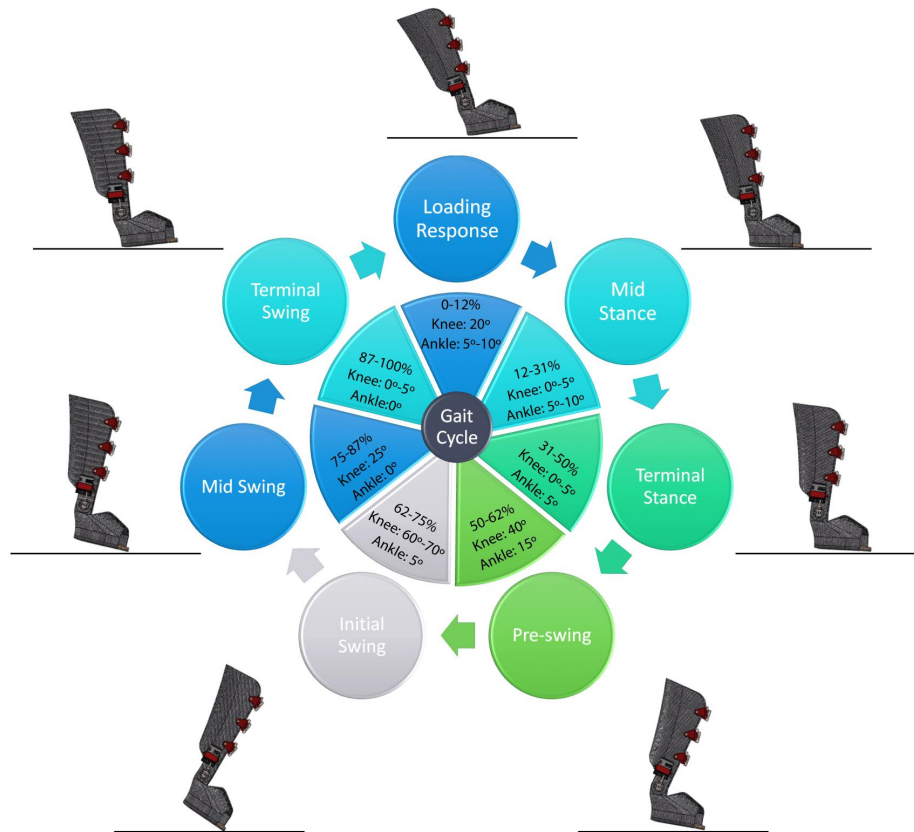
Η φάση στήριξης είναι η πρώτη περίοδος του κύκλου και υποδιαιρείται σε δύο δραστηριότητες, αυτή της αποδοχής του βάρους και αυτή της μονής στήριξης, καθώς το πέλμα βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος. Παρακάτω αναφέρονται οι επιμέρους φάσεις βάδισης, για την περίοδο αυτή:

- **Αρχική επαφή (Initial contact):** Είναι η αρχή της φάσης στήριξης, τη στιγμή αυτή η πτέρνα ακουμπά το έδαφος.
- **Αρχή της φόρτισης (Loading response):** Η φάση αυτή διαρκεί από τη στιγμή που το βάρος του σώματος μεταφέρεται από το κάτω άκρο που «πατάει» στο έδαφος, μέχρι το άλλο κάτω άκρο να εγκαταλείψει το έδαφος.
- **Μέση φάση στήριξης (Midstance):** Είναι η χρονική φάση που διαρκεί όσο μετατοπίζεται προς τα εμπρός το βάρος του σώματος επάνω στο στηριγμένο κάτω άκρο, ενώ το άλλο άκρο παύει να «ακουμπάει» στο έδαφος.
- **Τελική στήριξη (Terminal stance):** Είναι η χρονική φάση μεταξύ μέσης στήριξης και πριν από την επαφή του αιωρούμενου κάτω άκρου με το έδαφος ή η στιγμή της ανύψωσης της πτέρνας στο στηριζόμενο κάτω άκρο.
- **Προ-αιώρηση (Pre-swing):** Είναι η χρονική φάση που μεσολαβεί από την ανύψωση στο φορτιζόμενο κάτω άκρο μέχρι την ανύψωση των δακτύλων στο άλλο κάτω άκρο.

Φάση αιώρησης

Η φάση της αιώρησης είναι η δεύτερη και τελευταία περίοδος του κύκλου βάδισης. Βασικό χαρακτηριστικό στη φάση αυτή είναι η απουσία της επαφής του πέλματος με το έδαφος, για αυτό το λόγο η δραστηριότητα αυτή καλείται ανύψωση του κάτω άκρου. Παρακάτω αναφέρονται οι επιμέρους φάσεις βάδισης, για την περίοδο αυτή:

- **Αρχική αιώρηση (Initial Swing):** Η στιγμή της βάδισης που χάνεται η επαφή του πέλματος με το έδαφος και ο κορμός κινείται προς τα εμπρός.
- **Μέση αιώρηση (Midswing):** Σε αυτή τη φάση της βάδισης γίνεται το πέρασμα του αιωρούμενου άκρου μπροστά από το κέντρο βάρους του σώματος και περιλαμβάνει τη μέγιστη κάμψη του γόνατος.
- **Τελική αιώρηση (Terminal Swing):** Σε αυτή τη φάση πραγματοποιείται η ραχιαία κάμψη και το γόνατο εκτείνεται, με σκοπό την επαφή την πτέρνας στο έδαφος [21], [22]

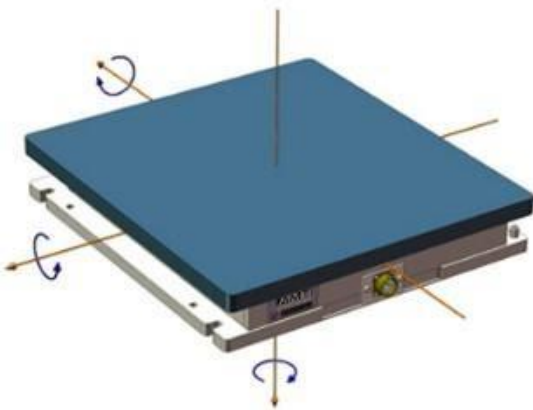


Εικόνα 7 Οι Φάσεις της βόδισης [23].

2.3 ΜΕΣΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΑΔΙΣΗΣ

Η φυσιολογική βάδιση προϋποθέτει ισορροπία, συντονισμό, αρτιότητα στις αρθρώσεις και νευρολογική επάρκεια. Οποιαδήποτε, βλάβη των παραπάνω προκαλεί δυσλειτουργία στη βάδιση. Με την ανάλυση μπορεί κανείς να αντιληφθεί τις αιτίες του προβλημάτων, να αντιμετωπίσει με τον σωστό τρόπο το πρόβλημα καθώς και να συγκρίνει την πρόοδο του ασθενή μετά από την παρέμβαση.

2.3.1 Μέσα κινητικής ανάλυσης



Εικόνα 8 Δυναμόπλακα [24]

δυνάμεων και των σημείων εφαρμογής τους. Με υπολογισμούς μπορούν να προκύψουν οι ροπές, που είναι αποτελέσματα των δυνάμεων αυτών. Από την άλλη, τα μεγέθη των εσωτερικών δυνάμεων, έχουν πιο χρονοβόρα διαδικασία, εφόσον πρέπει να γίνουν μετρήσεις για τον προσδιορισμό περισσότερων παραμέτρων, όπως της κίνησης, της μυϊκής δραστηριότητας και των χαρακτηριστικών ανατομίας του κάθε μέλους.

2.3.2 Μέσα κινηματικής ανάλυσης

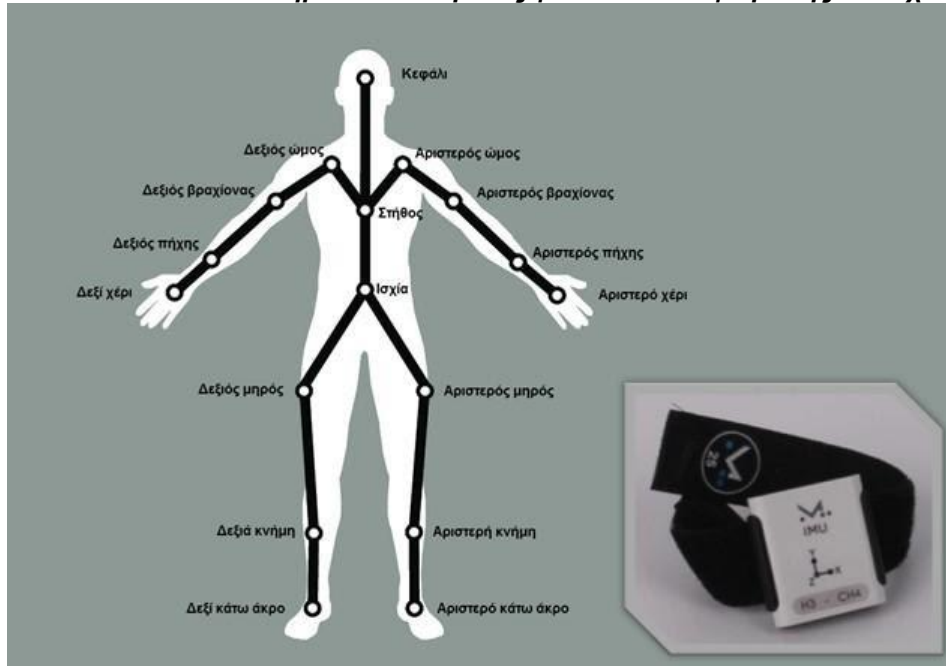
Υπάρχουν τρία διαθέσιμα συστήματα για την πραγματοποίηση της κινηματικής ανάλυσης. Το «σύστημα καταγραφής με βίντεο», που η ονομασία του δηλώνει ότι πρόκειται για τη βιντεοσκόπηση (με κινητή ή ακίνητη κάμερα) του κύκλου βάδισης (Εικόνα 9). Οι αρθρώσεις, ορίζονται σαν σημάδια στο εξεταζόμενο μοντέλο, ώστε να απεικονίζονται καλύτερα και να γίνεται πιο εύκολη η ανάλυση. Με αυτή τη διαδικασία αποτυπώνεται η κίνηση του ατόμου και λαμβάνονται δεδομένα όπως η θέση, η ταχύτητα



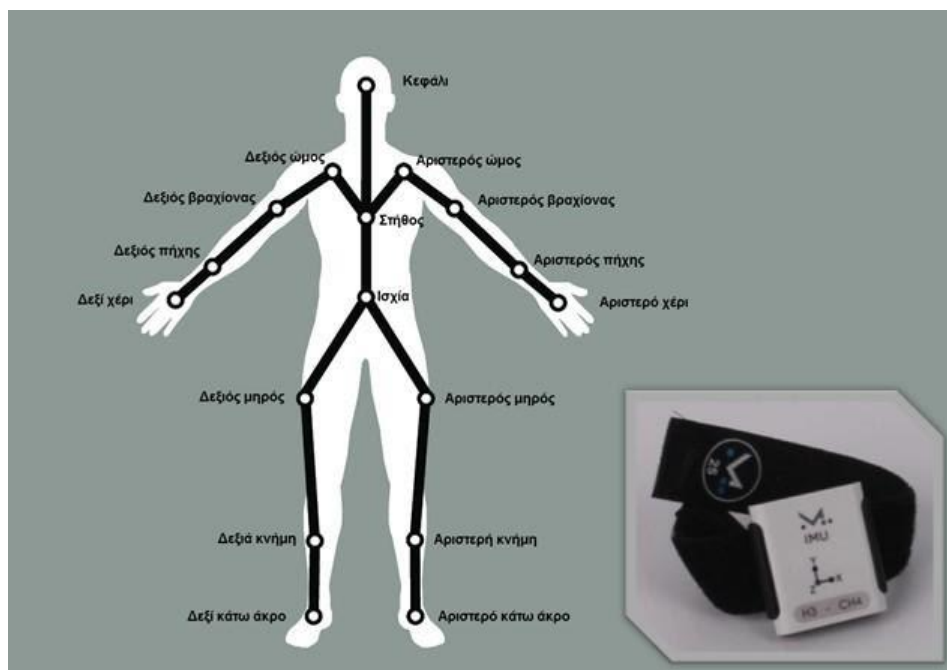
Εικόνα 9 Κάμερα καταγραφής της κίνησης [25]

και η επιτάχυνση των σημείων (αρθρώσεων) στο χώρο, καθώς και ο χρόνος ολοκλήρωσης της κάθε φάσης βάρδισης.

Το «σύστημα επιταχυνσιόμετρων», περιλαμβάνει επιταχυνσιόμετρα τα οποία τοποθετούνται κοντά στα σημεία του σώματος για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης (

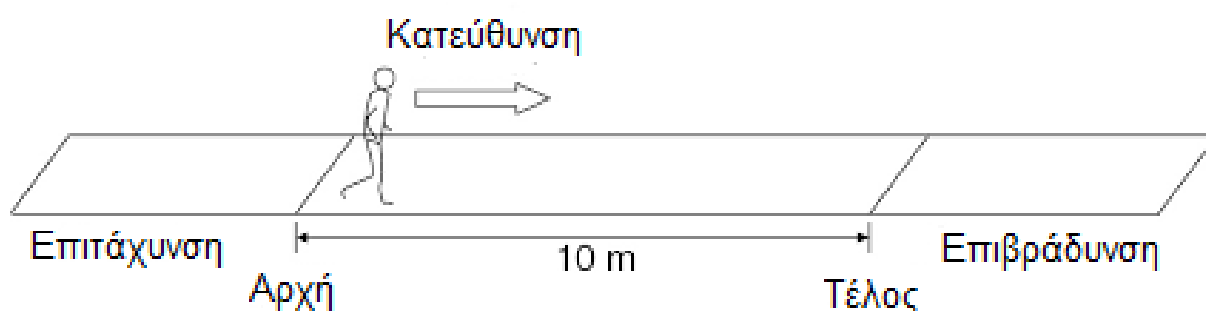


Εικόνα 10). Δίνονται ακόμα, οι συντεταγμένες του μέλους, που γίνονται οι μετρήσεις, ενώ με τη χρήση λογισμικού προκύπτουν δεδομένα με την μορφή γραφικής για τις μεταβολές της επιτάχυνσης, της ταχύτητας και της μετατόπισης του κέντρου μάζας (που υπολογίζεται θεωρητικά) στον κατακόρυφο άξονα.



Εικόνα 10 Σημεία τοποθέτησης των επιταχυνσιομέτρων. Κάτω δεξιά ο αισθητήρας λήψης των δεδομένων.[26],[27]

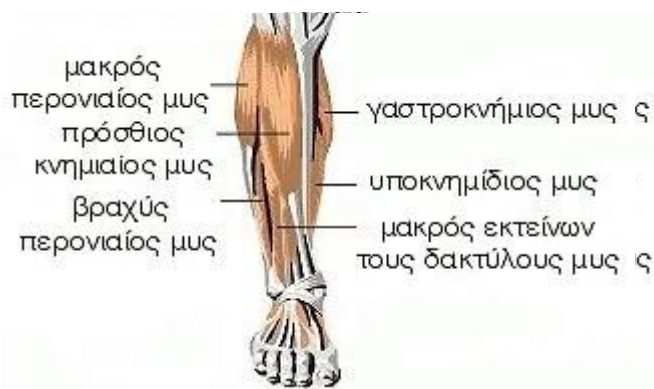
Τέλος, το «σύστημα του αγωγίμου διαδρόμου» (Εικόνα 11), το οποίο περιλαμβάνει ένα διάδρομο κατασκευασμένο από μέταλλο, δύο ηλεκτρόδια με τη μορφή αυτοκόλλητων και μία πηγή σταθερής τάσης. Το εξεταζόμενο άτομο βαδίζει κατά μήκος του διαδρόμου, έχοντας κολλημένα τα ηλεκτρόδια εξωτερικά των υποδημάτων, με την πηγή τοποθετημένη σε αυτά. Το σύστημα αυτό, μας δίνει πληροφορίες για τη διάρκεια στήριξης και αιώρησης του κάθε ποδιού, τη διάρκεια διπλής στήριξης, καθώς επίσης τη μέση ταχύτητα βάδισης και το μέσο μήκος βήματος, με την χρήση ενός ζεύγους φωτοκυττάρων.



Εικόνα 11 Σύστημα αγωγίμου διαδρόμου.

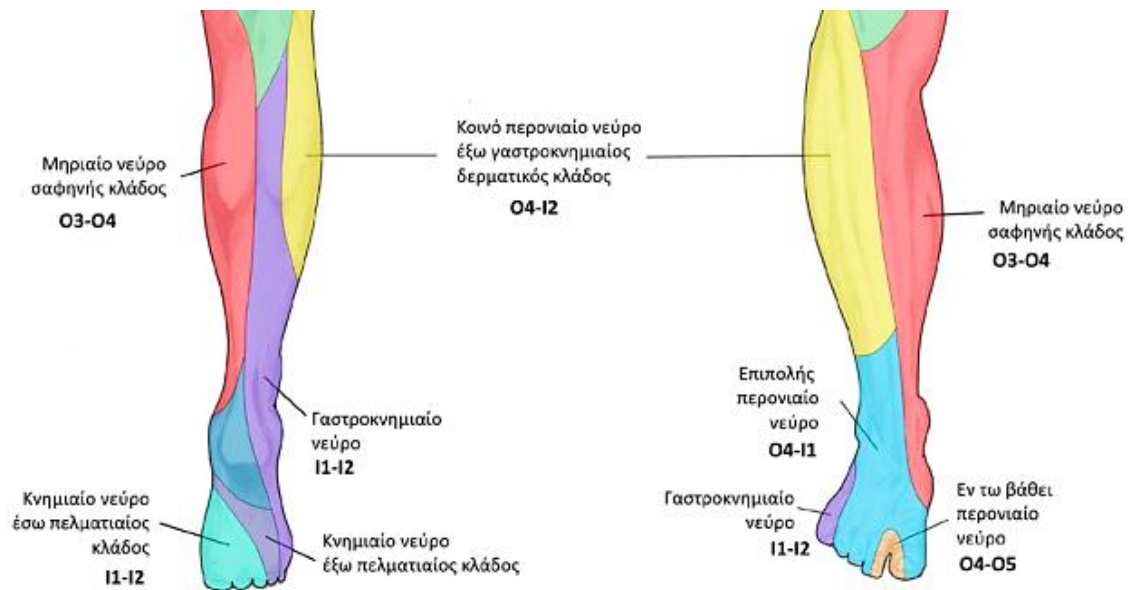
2.4 FOOT DROP

Το «**foot drop**» ή αλλιώς πτώση του άκρου ποδός είναι μία ανωμαλία βάδισης, στην οποία υπάρχει πτώση του μπροστινού μέρους του ποδιού, εξαιτίας της εξασθένησης ή της βλάβης κάποιων νεύρων ή μυών. Η πτώση του πέλματος χαρακτηρίζεται από μειωμένη ικανότητα ανασήκωσης των δακτύλων ή ανύψωσης του πέλματος (ραχιαία κάμψη) κατά τη διάρκεια της βάδισης. [28]



Εικόνα 12 Μυς της κνήμης [30]

Οι πιθανές αιτίες της πτώσης άκρου πόδα είναι είτε η βλάβη του περωναίου νεύρου που κατά συνέπεια δημιουργεί μυϊκή αδυναμία, είτε η παράλυση των μυών του πρόσθιου τμήματος του κάτω άκρου. Μια τέτοια βλάβη μπορεί να προκληθεί από τραυματισμό της σπονδυλικής στήλης, από διαβητικές διαταραχές, από εγκεφαλική βλάβη, από βλάβη του νωτιαίου μυελού, από τοξίνες ή ακόμη και σε περιπτώσεις χειρουργικής επέμβασης του ισχίου ή του γόνατος. Να σημειωθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις η ασθενείς υιοθετούν το καλπαστικό βάδισμα. Με άλλα λόγια, υπάρχει διαφοροποίηση της βάδισης των ασθενών. Εξαιτίας της πάρεσης του περωναίου νεύρου και κατά συνέπεια της αδυναμίας της ραχιαίας



κάμψης, σηκώνουν το κάτω άκρο υψηλότερα και η πρώτη επαφή τους με το έδαφος γίνεται με τα δάχτυλα.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει ανάλυση του περιφερικού συστήματος το οποίο είναι τμήμα του νευρικού συστήματος και περιλαμβάνει όλα τα νεύρα που εκτείνονται από τον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό και φτάνουν σε άλλα μέρη του σώματος, συμπεριλαμβανομένων των μυών και των οργάνων. Το ισχιακό νεύρο είναι περιφερικό νεύρο το οποίο διακλαδίζεται στο περιφερικό κνημιαίο νεύρο και στο περιφερικό κοινό περονιαίο νεύρο (Εικόνα 13). Το περονιαίο νεύρο χωρίζεται στο εν τω βάθει περονιαίο νεύρο και στο επιπολής περονιαίο νεύρο. Κάθε ένα από τα προηγούμενα νευρώνει διαφορετικούς μύες (Εικόνα 12) για την εκτέλεση μιας κίνησης. Αναλυτικά το επιπολής νεύρο νευρώνει το μεγάλο περονιαίο και το βραχύ περονιαίο μυ. Επίσης, παρέχει τους αισθητικούς κλάδους στην ραχιαία επιφάνεια του άκρου πόδα. Επιπρόσθετα το εν τω βάθει περονιαίο νεύρο νευρώνει τον μακρό εκτείνοντα των δακτύλων, τον μακρό εκτείνοντα του μεγάλου δακτύλου, τον πρόσθιο κνημιαίο αλλά και την κνημοπερονιαία και ποδοκνημική άρθρωση, καθώς και το δέρμα μεταξύ του πρώτου και δεύτερου δακτύλου (Εικόνα 13, Εικόνα 12).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η πτώση άκρου ποδός είναι η αδυναμία της ραχιαίας κάμψης. Η ραχιαία κάμψη οφείλεται κυρίως, στο εν τω βάθει περονιαίο νεύρο και κατά συνέπεια στον πρόσθιο κνημιαίο, στον μακρό εκτείνοντα τα δάχτυλα και στο

Εικόνα 13 Δερματική νεύρωση κάτω άκρων [29],[30]

μακρό εκτείνοντα το μεγάλο δάχτυλο. Αντίθετα, η πελματιαία κάμψη στον γαστροκνημιαίο, στον υποκνημίδιο και στο μακρό περονιαίο που νευρώνονται από το εν τω βαθύ περονιαίο νεύρο. Συνεπώς, βλάβη των δύο αυτών νεύρων μπορεί να προκαλέσει αδυναμία της ραχιαίας και της πελματιαίας κάμψης.

Η ασθένεια αυτή μπορεί να είναι προσωρινή ή μόνιμη, ανάλογα από τη μυϊκή αδυναμία ή την παράλυση που έχει προκληθεί. Επίσης μπορεί να συμβεί σε ένα ή και στα δύο πόδια. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πιθανότατα να οφείλεται ή από τραύμα των μυών ή από βλάβη του νωτιαίου μυελού, ανωμαλία ανατομίας, τοξίνες ή μόνο από νευρική διαταραχή ή από κάποια ασθένεια. Μερικές από τις ασθένειες που μπορούν να προκαλέσουν πελματιαία πτώση είναι κάποιο εγκεφαλικό επεισόδιο, αμυοτροφική πλευρική σκλήρυνση, μυϊκή δυστροφία, πολιομυελίτιδα, σκλήρυνση κατά

πλάκας, εγκεφαλική παράλυση, κληρονομική σπαστική παραπληγία ή ακόμα μπορεί να είναι και αποτέλεσμα χειρουργικής επέμβασης αντικατάστασης ισχίου ή ανασυγκρότησης γόνατου.

Στην περίπτωση της πτώσης του άκρου πόδα, το πόδι κρέμεται με τα δάχτυλα προς τα κάτω με αποτέλεσμα τα δάχτυλα να συρθούν στο έδαφος ή ο ασθενής να λυγίσει το γόνατο ώστε να σηκώσουν το πόδι τους ψηλότερα και να αποφύγουν το σύρσιμο, κατά τη διάρκεια της βάρδισης. Έτσι για να διακρίνουμε ότι ο ασθενής έχει foot drop αρκεί να παρατηρήσουμε το περπάτημα του στο αντίθετο πόδι και να παρατηρήσουμε ότι ανυψώνεται υπερβολικά ο μηρός (καλπασμός). Για τη διάγνωση της πτώσης του άκρου ποδός αρκεί η παρατήρηση του βηματισμού και η εξέταση των μυών των ποδιών για οποιαδήποτε βλάβη ή αδυναμία.

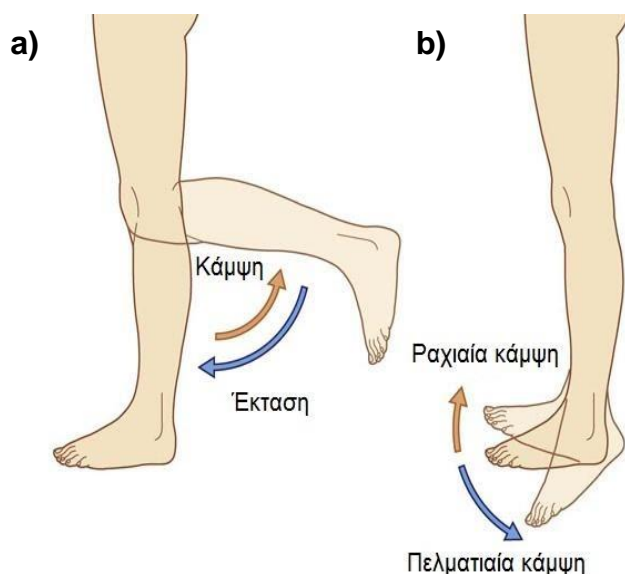
Η πτώση του άκρου πόδα επηρεάζει τον κύκλο βάρδισης του πάσχοντος. Η αντιμετώπιση του γίνεται με φυσιοθεραπείες, τη χρήση ορθοστατικών κηδεμόνων (AFO, PAFO, AAF0), την ηλεκτρική διέγερση των νεύρων ή τη χειρουργική επέμβαση. Οι συνεδρίες με το φυσιοθεραπευτή γίνονται όταν η βλάβη που έχει υποστεί ο ασθενής είναι μυϊκή. Ο φυσιοθεραπευτής με συγκεκριμένες ασκήσεις βοηθά στην ενδυνάμωση του αστραγάλου και στη βελτίωση των συμπτωμάτων. Η χρήση AFO είναι η πιο συνηθισμένη θεραπεία, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της κίνησης του αστραγάλου με σκοπό τη βελτίωση της βάρδισης. Έπειτα, με την ηλεκτρική διέγερση (FES) διεγείρονται και τονώνονται τα νεύρα που ελέγχουν τους μύς της ανύψωσης του ποδιού. Τέλος η χειρουργική επέμβαση συνίσταται κυρίως σε νεότερους ασθενείς και σε σοβαρές περιπτώσεις, καθώς είναι μια μακροπρόθεσμη λύση στην οποία έχει προκύψει μόνιμη απώλεια κίνησης από την παράλυση των μυών [28].

2.4.1 Ανάλυση βάρδισης ασθενή με πτώση άκρου πόδα

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι ασθενείς με βλάβη του περνιαίου νεύρου πάσχουν από πτώση άκρου ποδός, δηλαδή αδυναμία στην ραχιαία κάμψη. Έτσι, δημιουργούνται προβλήματα στη βάρδιση. Κατά συνέπεια ο κύκλος βάρδισης ενός ασθενούς με πτώση άκρου πόδα διαφέρει με αυτόν ενός φυσιολογικού ανθρώπου. Η φυσιολογική βάρδιση χωρίζεται σε δύο φάσεις, αυτή της στάσης και αυτή της αιώρησης. Στους ασθενείς με πτώση άκρου πόδα η φάση της αιώρησης είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί ορθά, χωρίς κάποια υποβοήθηση. Συνεπώς, ο κύκλος βάρδισης έχει ως εξής [31]:

- Στη **φάση της αιώρησης**, εάν το πόδι που κινείται είναι το προσβεβλημένο, θα πραγματοποιείται μεγαλύτερη κάμψη στο γόνατο ώστε να αντιμετωπίσει την ανικανότητα του πέλματος για ραχιαία κάμψη.
- Η **αρχική επαφή** του ποδιού που βρίσκεται σε κίνηση δεν πραγματοποιεί φυσιολογική επαφή με το έδαφος (πρώτα πτέρνα και ύστερα μεταβίβαση του βάρους στα μετατάρσια). Αντ' αυτού το μπροστινό μέρος του πέλματος πέφτει απότομα στο έδαφος ή ολόκληρο το πέλμα προσκρούεται στο έδαφος.
- Η **τελική φάση επαφής** του πέλματος με το έδαφος, είναι πολύ διαφορετική στους ασθενείς που πάσχουν από πτώση άκρου ποδός. Δεδομένου ότι οι ασθενείς έχουν αδυναμία στο προσβεβλημένο πόδι, υπάρχει περίπτωση να μην μπορούν να υποστηρίξουν και το σωματικό τους βάρος [32]

2.4.2 Σύγκριση και ανάλυση κινητικών και κινηματικών μεγεθών



Εικόνα 14 α). κάμψη-έκταση γόνατος, β) πελματιαία και ραχιαία κάμψη

Κατά τη διάρκεια της βάδισης τον κυριότερο ρόλο στη βάδιση λαμβάνει η ποδοκνημική άρθρωση. Ως ποδοκνημική άρθρωση εννοούμε την αστραγαλοκνημιαία άρθρωση που είναι η άρθρωση μεταξύ του αστραγάλου και του περιφερειακού τμήματος της κνήμης και της περόνης. Είναι γωνιωδής άρθρωση γι' αυτό έχει μόνο ένα βαθμό ελευθερίας. Στις βασικές κινήσεις της άρθρωσης αυτής, περιλαμβάνονται η ραχιαία και η πελματιαία κάμψη (Εικόνα 14β). Το εύρος κίνησης της ραχιαίας κάμψης κυμαίνεται έως και τις 20° ενώ της πελματιαίας κάμψης κυμαίνεται έως 45°. Όμως κατά τη διάρκεια της βάδισης η μέγιστη ραχιαία κάμψη

είναι 10°, ενώ η πελματιαία 15 με 20°. Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι πολύ διαφορετικές από άνθρωπο σε άνθρωπο και φυσικά από πάθηση σε πάθηση.

Ωστόσο, αξίζει να γίνει αναφορά και στην κίνηση του γόνατος. Εκτός από την πελματιαία και ραχιαία κάμψη του πέλματος, παράλληλα πραγματοποιείται έκταση και κάμψη το γόνατος (Εικόνα 14α). Ενώ η άρθρωση του γόνατος παρουσιάζει ένα μεγάλο εύρος κίνησης κατά τη βάδιση, το εύρος αυτό κυμαίνεται από τιμές κοντά στο μηδέν μέχρι τις 65°. Παρακάτω θα γίνει περαιτέρω αναφορά και σύγκριση των μεγεθών για έναν υγιή άνθρωπο και για κάποιον που πάσχει από πτώση άκρου πόδα.

Εξαιτίας, της νευρικής αυτής βλάβης δεν αλλάζει μόνο ο τρόπος βάδισης αλλά και τα μεγέθη της κινηματικής και της κινητικής. Η βασικότερη αλλά και σημαντικότερη διαφορά παρατηρείται τόσο στις μέγιστες γωνίες πελματιαίας και ραχιαίας κάμψης όσο και στις τιμές της ροπή. Έτσι, για να αντιληφθεί κανείς την πραγματική διαφορά καταφεύγει σε σύγκριση.

Στο Τμήμα Φυσιοθεραπείας του Warsaw της Πολωνίας έγινε μία συγκριτική έρευνα των μεγεθών βάδισης των υγιών ανθρώπων και αυτών που πάσχουν από πτώση άκρου πόδα [33], σε δείγμα ανθρώπων με συγκεκριμένη ηλικία και συγκεκριμένα σωματική διάπλαση. Τα χαρακτηριστικά των οποίων παρατηρούνται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4).

Πίνακας 4 Χαρακτηριστικά ομάδων τα οποία αναλύθηκαν στην μελέτη

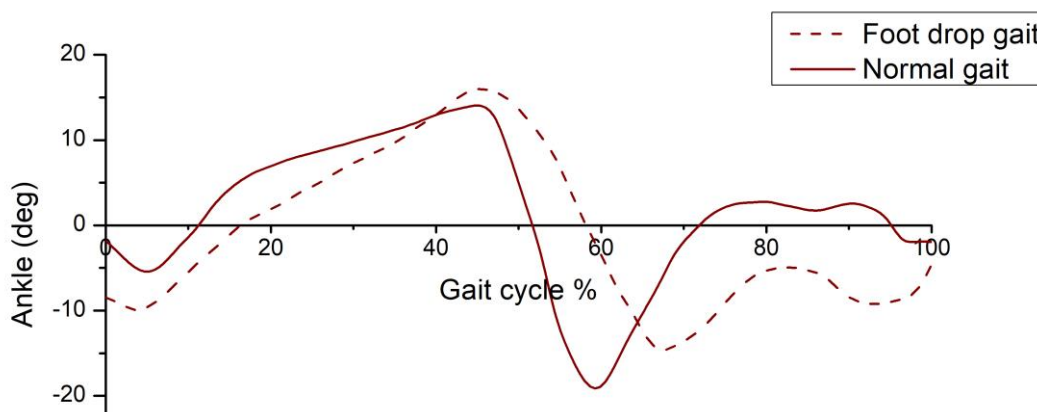
Ομάδα	Ηλικία (χρόνια) (τιμή ±SD)	Ύψος (cm) (mean ±SD)	Σωματικό βάρος (kg) (mean ±SD)
DF	45±17.4	173.9±12.7	75.7±22.4
C	22.6±4.6	174.1±8.6	69.4±11.7

SD: Standar deviation, DF: drop foot group, C:control group

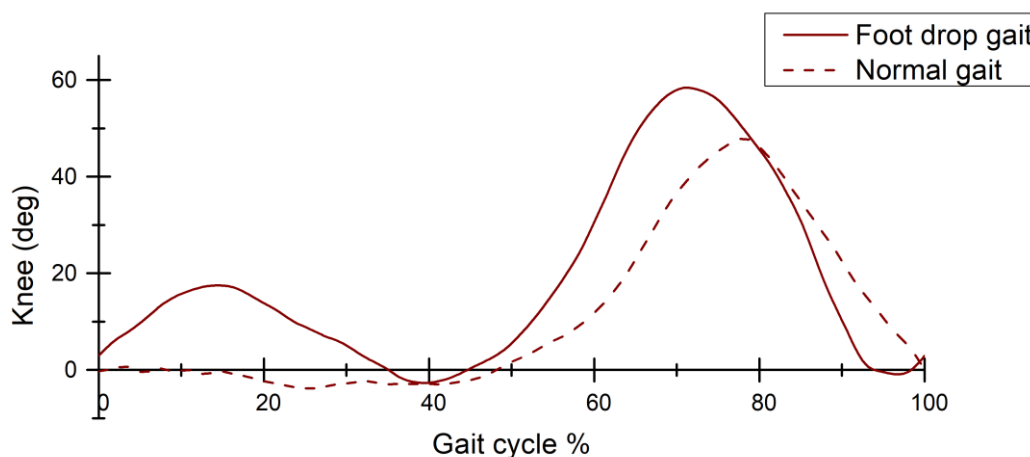
Σύμφωνα με τα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνα 15) παρατηρείται σαφή διαφορά των δύο κύκλων βάδισης. Πριν όμως, παρατηρήθηκε αύξηση του χρόνου του κύκλου βάδισης σε αθρόπους με πτώση άκρου πόδα κατά 47% και επίσης πραγματοποίησαν 60% λιγότερα βήματα συγκρινόμενα με την φυσιολογική βάδιση. Στον Πίνακα 5 μπορεί κανείς να αντιληφθεί τη διαφορά των χωροχρονικών μεγεθών. Όπως για παράδειγμα, η ταχύτητα, το μήκος βήματος, το μήκος δρασκελισμού και κατ' επέκταση ο ρυθμός βάδισης μειώνονται, αφού και ο χρόνος βάδισης αυξάνεται κατά 70% περίπου. Τα δεδομένα αυτά δείχνουν πραγματικά τη δυσκολία του ασθενή στη βάδιση.

Έπειτα, όσο αναφορά τα κινηματικά και κινηματικά μεγέθη, και κατά τη φάση αιώρησης - ραχιαία κάμψη, περίπου δηλαδή στο 45% του κύκλου βάδισης διακρίνεται αύξηση της τιμής της γωνίας του αστραγάλου για κάποιον με πτώση άκρου πόδα, ενώ η τιμή της πελματιαίας κάμψης μειώνεται (Εικόνα 15 a). Το μεγαλύτερο όμως πρόβλημα αυτών με πτώση άκρου πόδα είναι το μικρό εύρος της ραχιαίας κάμψης στο πρώτο 10% του κύκλου βάδισης.

Έπειτα, σημαντική ήταν η σύγκριση των γωνιών του γόνατος κατά τη διάρκεια ενός κύκλου βάδισης. Στην (Εικόνα 15 b) διακρίνεται πως περίπου κατά 30% αυξάνεται η γωνία από το γόνατο σε κάποιον με πτώση άκρου πόδα στην αρχική φάση στάσης. Επίσης παρατηρείται ξανα καθυστέρηση της κίνησης κατά περίπου 10% κατά τη διάρκεια τις αιώρησης, αύξηση όμως των γωνιών κατά την ίδια φάση για κάποιον με πτώση άκρου πόδα.



(a)



(b)

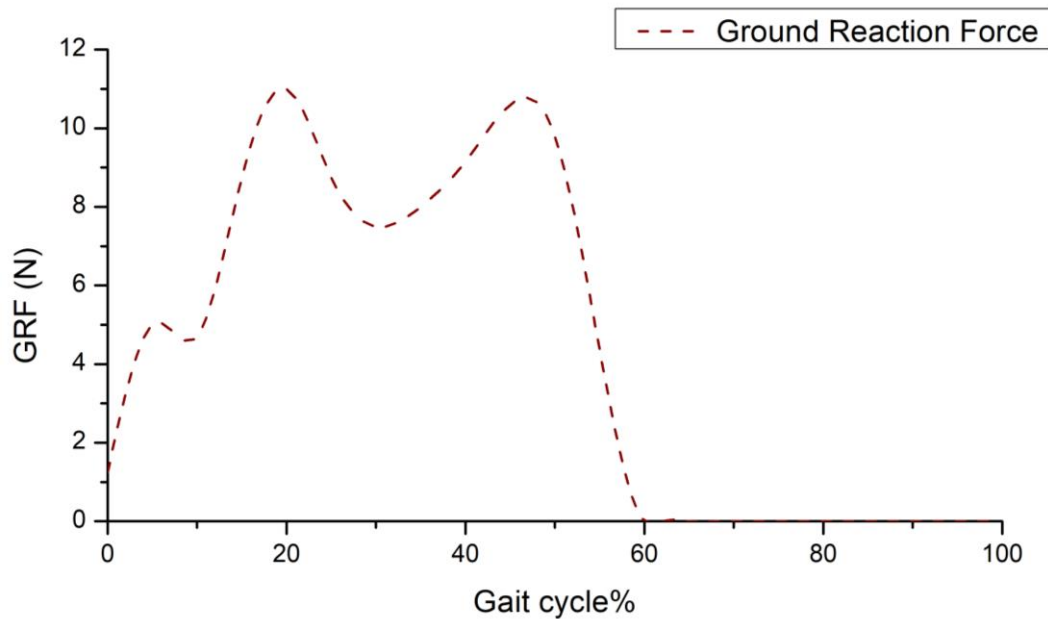
Εικόνα 15 Σύγκριση γωνιών αστραγάλου και γόνατος

Πίνακας 5 Σύγκριση χωροχρονικών παραμέτρων βάδισης ενός ασθενή και ενός υγιούς [33]

Χωροχρονικές παράμετροι	Πτώση άκρου πόδα	Φυσιολογική βάδιση
Ρυθμός (βήματα/λεπτό)	71.0±9.6	119.4 ± 8.3
Χρόνος δρασκελισμού (s)	1.7± 0.4	1.0 ± 0.3
Μήκος δρασκελισμού (m)	1.1 ± 0.1	1.5 ±0.1
Μήκος βήματος (m)	0.5 ± 0.1	0.7 ± 0.1
Ταχύτητα βάδισης	0.7 ± 0.1	1.4 ± 0.1

Εκτός όμως από τη σύγκριση των κινηματικών μεγεθών, είναι απαραίτητη και και η σύγκριση των κινητικών μεγεθών, η ροπή και η δύναμη που ασκούνται κατά τη διάρκεια του κύκλου βάδισης. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 2.1.2, οι δυνάμεις που ασκούνται στο πέλμα κατά τη βάδιση είναι η αντίδραση του δαπέδου (GRF) που είναι η κατακόρυφη δύναμη, η οριζόντια δύναμη, η ροπή στην άρθρωση αστράγαλο και η δύναμης της άρθρωσης.

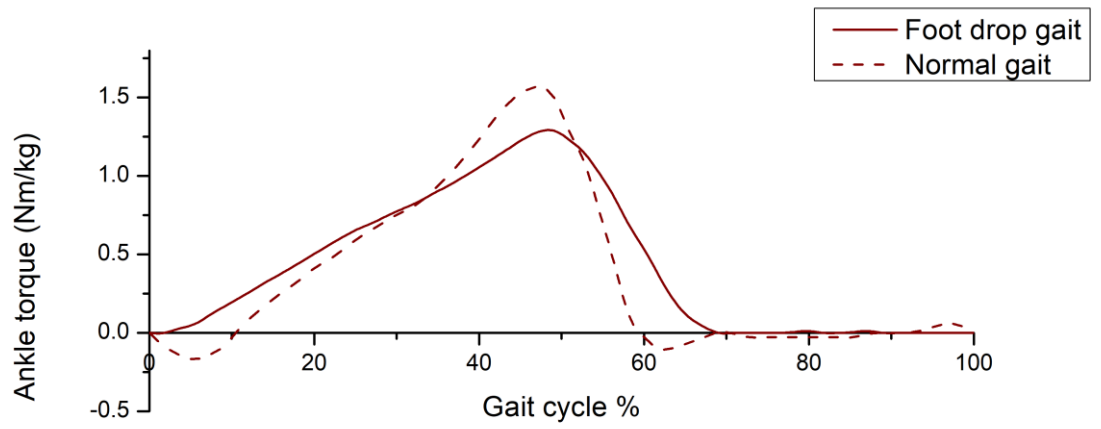
Έτσι κατά την προωθητική φάση το σημείο επαφής με το έδαφος βρίσκεται στο μπροστινό μέρος του πέλματος. Η GRF αποτελείται από δύο βασικές συνιστώσες, την κάθετη συνιστώσα στο έδαφος (V), και την οριζόντια συνιστώσα (F) στο έδαφος. Η κάθετη συνιστώσα οφείλεται κυρίως στο σωματικό βάρος του σώματος και υπολογίζεται ότι η μέγιστη δύναμη που ασκείται είναι περίπου το 150% του βάρους του ανθρώπινου σώματος. Αντίστοιχα, η οριζόντια δύναμη (F) στο έδαφος υποδεικνύει την κίνηση προς τα εμπρός ή προς τα πίσω. Το σημείο αιχμής αυτής της δύναμης μετράται περίπου στο 20% του σωματικού ανθρώπινου βάρους. Οι τιμές αυτές διαφέρουν από άνθρωπο σε άνθρωπο και εξαρτώνται από φυσιολογικά και ψυχολογικά χαρακτηριστικά του ατόμου.



Εικόνα 16 Διάγραμμα κάθετης δύναμης [19]

Η συνισταμένη των ροπών σε κάθε άρθρωση περιλαμβάνει τις ροπές από τους αγωνιστές και ανταγωνιστές μύες, τις αρθρικές επιφάνειες, καθώς και τους συνδέσμους. Η ροπή που αναπτύσσεται από τον αγωνιστή μυ σε μια γωνία της άρθρωσης ισούται με το γινόμενο της δύναμης του μυός επί το μήκος του μοχλοβραχίονα δύναμης του μυοτενόντιου συστήματος (muscle-tendonmomentarm) στη συγκεκριμένη γωνία. Ως μοχλοβραχίονας δύναμης ορίζεται η κάθετη απόσταση από το κέντρο περιστροφής της άρθρωσης έως τη γραμμή δράσης του μυοτενόντιου συμπλέγματος.[20]

Επιπλέον σύμφωνα με μελέτες, διεξάγεται πως η μέγιστη ροπή (M_a) που απαιτείται για την περιστροφή του αστραγάλου κατά τη βάρδια είναι μέγιστο 1.2 φορές της μάζας του σώματος του ατόμου. Αυτό σημαίνει πως για κάποιον που ζυγίζει 80 kg η απαιτούμενη ροπή είναι 96 N·m. Η μέγιστη κατά απόλυτο τιμή παρατηρείται στην προωθητική φάση, ενώ η ελάχιστη κατά απόλυτο τιμή παρατηρείται κατά τη μέση φάση στήριξης.



Εικόνα 17 Διάγραμμα ροπών της άρθρωσης του αστραγάλου

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ

Οδοντωτός τροχός ή γρανάζι, είναι ένα μηχανολογικό στοιχείο με περιφερειακές εσοχές και εξοχές (δόντια) που έχει ως σκοπό τη μετάδοση της κίνησης (οδοντοκίνηση), με αλλαγές στη διεύθυνση και την ταχύτητα της. Η χρήση τους είναι ευρέως διαδεδομένη, καθώς τα συναντούμε σε ρολόγια, αυτοκίνητα, μειωτήρες, ποδήλατα κλπ.

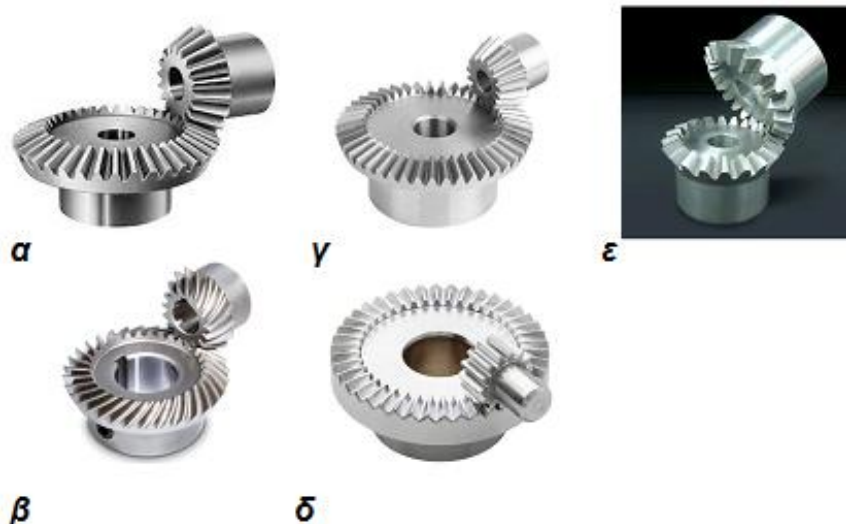
Οι κατηγορίες των γραναζιών που υπάρχουν, διαφοροποιούνται από την κατανομή των δοντιών και τη γεωμετρία των αξόνων των ατράκτων. Επομένως συναντούμε τις παρακάτω κατηγορίες γραναζιών [34].

- **Γρανάζια με παράλληλους άξονες:** μετωπικό γρανάζι (spur gear), ελικοειδές γρανάζι (helical gear), εσωτερικό γρανάζι (internal gear), ράβδος με ευθύγραμμη και ελικοειδή οδόντωση (straight and helical rack), οδοντωτοί τροχοί με διπλά ελικοειδή δόντια (double helical gear) (Εικόνα 18).



Εικόνα 18 α. Spur gear, β. Helical gear, γ. Straight rack, δ. Helical rack, ε. Internal gear και στ. Double helical gear.[35],[36],[37],[38],[39],[40]

- **Γρανάζια με τεμνόμενους άξονες:** κωνικά γρανάζια με ορθή οδόντωση (straight bevel, Miter gear), γωνιακά κωνικά γρανάζια με ορθή οδόντωση (angular straight bevel gear), κωνικά γρανάζια με ελικοειδή οδόντωση (spiral bevel gear), γωνιακά κωνικά γρανάζια με ελικοειδή οδόντωση (angular spiral bevel gear), κωνικά γρανάζια με ελικοειδή οδόντωση μηδενικής γωνίας (zero bevel gear), face gear (Εικόνα 18α).



Εικόνα 19 α. Straight bevel gear, β. Spiral bevel gear, γ. Zero bevel gear, δ. Face gear και ε. Angular straight bevel gear.[41],[47],[43],[44], [45]

- **Γρανάζια με μη τεμνόμενους άξονες, για αλλαγή της κατεύθυνσης (Screw gear):** σύστημα ατέρμονα κοχλία-κορώννας (cylindrical worm with cylindrical worm wheel), οδοντωτοί τροχοί με ελικοειδή δόντια (crossed helical gear-screw gear), οδοντωτοί τροχοί με υποειδή δόντια (hypoid gear). (Εικόνα 20)



Εικόνα 20α. Hypoid gear, β. Crossed helical gear και γ. Cylindrical worm with cylindrical worm wheel [46],[47], [48]

- **Στοιχεία μηχανών παρόμοιας μορφής και σκοπού λειτουργίας με των οδοντωτών τροχών:** Sprockets, Ratchet gear, Timing pulley. (Εικόνα 21)



Εικόνα 21 α. Sprockets, β. Ratchet gear και γ. Timing pulley. [49],[50], [51]

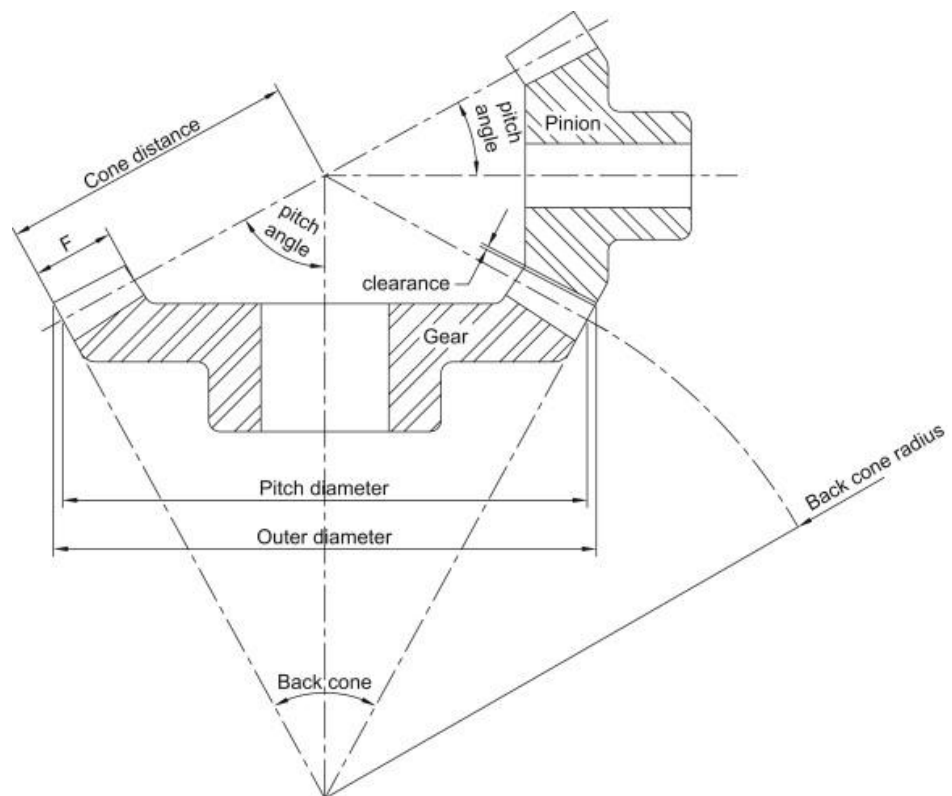
3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ

Ο κνημοποδικός κηδεμόνας «ExoGaitOR» αποτελείται από ένα μηχανισμό, ο οποίος έχει ως βασικά στοιχεία δύο συνεργαζόμενα γρανάζια. Πολλά από τα πλεονεκτήματα των γραναζιών καθόρισαν την επιλογή τους ως βασικό μέρος του μηχανισμού και αναφέρονται παρακάτω.

Τα γρανάζια παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και ταυτόχρονα απαιτούν ελάχιστη συντήρηση. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές διατάξεις, βάση της τοποθέτησης των αξόνων τους στον χώρο. Μπορούν να μεταδώσουν την κίνηση, ανάλογα με τον αριθμό των δοντιών, με μικρότερη ή μεγαλύτερη περιστροφική ταχύτητα. Τέλος παρουσιάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης.

Στα μειονεκτήματα τους καταλογίζονται η θορυβώδης λειτουργία, το υψηλό κόστος κατασκευής και η μετάδοση της κίνησης με μη ελαστικό τρόπο. Όσον αφορά τη θορυβώδη λειτουργία, έχει πραγματοποιηθεί κατάλληλη επιλογή, στηριζόμενη και στην χωρική διάταξη, για να επιτυγχάνεται παράλληλα και η μείωση του χώρου που καταλαμβάνει ο μηχανισμός.

3.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΤΥΠΟΥ ΓΡΑΝΑΖΙΩΝ



Εικόνα 22 Βασικά μεγέθη γραναζιών [53]

Για τη μετάδοση της κίνησης από τον άξονα του κινητήρα στο σύνδεσμο της άρθρωσης του κηδεμόνα, χρησιμοποιείται μία συμπλοκή γραναζιών. Η επιλογή πρωτίστως βασίζεται στην γεωμετρία του κηδεμόνα, την εξοικονόμηση του χώρου και την ομαλή και ασφαλή μετάδοση της κίνησης. Ο κνημοποδικός κηδεμόνας «ExoGaitOR» αποτελείται από ένα ζευγάρι κωνικών γραναζιών με ευθεία οδόντωση (straight bevel gear). Το ζεύγος των κωνικών γραναζιών με ευθεία οδόντωση, απεικονίζεται στην Εικόνα 19α. Κωνικά ονομάζονται τα γρανάζια εκείνα τα οποία κατά την συναρμογή τους έχουν τους άξονες τους τεμνόμενους, είναι σύνηθες οι άξονες του συνεργαζόμενου ζεύγους γραναζιών να είναι τεμνόμενοι υπό γωνία 90°. Σημαντικό όφελος, λόγω της εμπλοκής της μεγαλύτερης επιφάνειας των δοντιών αυτών, είναι πως δεν υπάρχει απώλεια στροφών και η σχέση μετάδοσης παραμένει σταθερή, λόγω των μικρών ταλαντώσεων. Μπορούν να μεταφέρουν φορτία μεγάλου μεγέθους, επειδή η κατανομή του φορτίου εφαρμόζεται σε μεγαλύτερες επιφάνειες, όπως έχει ήδη αναφερθεί προηγουμένως. Θετικό χαρακτηριστικό αυτού του τύπου γραναζιών είναι επίσης το ότι παρουσιάζουν μειωμένο θόρυβο κατά τη λειτουργία τους. [54].

3.3.1 Βασικά μεγέθη και χαρακτηριστικοί υπολογισμοί γραναζιών

Απαραίτητο για την ακριβή διαμόρφωση και για τους υπολογισμούς των γραναζιών, είναι ο προσδιορισμός κάποιων μεγεθών (Εικόνα 24). Τα γρανάζια αποτελούνται από μία σχετικά δύσκολη γεωμετρία, που τη χαρακτηρίζουν διάφορα μεγέθη, εκ των οποίων τα βασικά μεγέθη αναφέρονται παρακάτω.

Για τη σωστή και ομαλή λειτουργία τους, είναι απαραίτητος ο σωστός υπολογισμός του αριθμού module. Ο **αριθμός module** είναι μια μονάδα μεγέθους και υπολογίζεται από το λόγο της αρχικής διαμέτρου προς τον αριθμό των δοντιών του γραναζιού.

- Ο αριθμός module : $m = d_0 \cdot z$ (3.1)

d_0 η αρχική διάμετρος του γραναζιού

z ο αριθμός των δοντιών του γραναζιού

Ένας ακόμη σημαντικός λόγος των συνεργαζόμενων γραναζιών είναι η **σχέση μετάδοσης** (i). Ο λόγος αυτός δείχνει τον αριθμό των περιστροφών, του άξονα του γραναζιού εξόδου, όταν ο άξονας του γραναζιού εισόδου (δηλαδή του κινητήριου) έχει πραγματοποιήσει μία περιστροφή [5].

- Η σχέση μετάδοσης: $i = \frac{z_{out}}{z_{in}} = \frac{d_{out}}{d_{in}}$ (3.2)

z_{out} ο αριθμός των δοντιών του γραναζιού εξόδου
 z_{in} ο αριθμός των δοντιών του γραναζιού εισόδου
 d_{out} η αρχική διάμετρος του γραναζιού εξόδου
 d_{in} η αρχική διάμετρος του γραναζιού εισόδου

3.3.2 Επιλογή κατάλληλων διαστάσεων

Συχνά παρατηρούνται σφάλματα κατασκευής και τοποθέτησης κατά τη συναρμολόγηση των κωνικών οδοντωτών τροχών. Παρατηρείται ευαισθησία σε ελαστικές παραμορφώσεις και κυρίως στο βέλος κάμψης των ατράκτων. Τέτοιοι είδους σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε μονόπλευρη φόρτιση, κραδασμούς, μονόπλευρη φόρτιση, εμπλοκή των γραναζιών που έπειτα μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικές και ανεπιθύμητες επιδράσεις. Έτσι ο σχεδιαστής θα πρέπει να λάβει υπόψιν του και να μελετήσει όλες τις παραμέτρους σχεδίασης.

Ένα σύστημα μετάδοσης κίνησης θα πρέπει να τηρεί κάποια μέγιστα και ελάχιστα όρια παραμέτρων, διαστάσεων ώστε να εξασφαλισθεί η ομαλή λειτουργία του. Η πρακτική εμπειρία σε τέτοιες περιπτώσεις έχει δώσει τη λύση. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται ο υπολογισμός των διαστάσεων του συστήματος μετάδοσης κίνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας

	Τύποι προς υπολογισμό		Αποτελέσματα μετά από υπολογισμούς	
	Πινιόν	Συνεργαζόμενο	Πινιόν	Συνεργαζόμενο
Πλήθος δοντιών	z_1	z_2	15	45
Διάμετρος γραναζιών (mm)	$d_1 = z_1 \cdot m$	$d_2 = z_2 \cdot m$	15	45
Λόγος μετάδοσης	$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{n_1}{n_2}$		3	
Γωνία αρχικού κώνου (°) (γωνία αξόνων 90°)	$\tan \delta_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{i}$	$\tan \delta_2 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1} = i$	0.33	3
Γωνία αξόνων (°)	$\Sigma = \delta_1 + \delta_2$		90	
Διάμετρος εξωτερικού κύκλου (mm)	$d_{a1} = d_1 + 2m \cos \delta_1$	$d_{a2} = d_2 + 2m \cos \delta_2$	16.90	45.63
Διάμετρος μέσου κύκλου (δείκτης m για το μέσον) (mm)	$d_{m1} = d_1 - b \sin \delta_1$	$d_{m2} = d_2 - b \cos \delta_2$	13.42	43.42
Μετωπικό πλάτος (mm)	$b_{\max} \leq \frac{R}{3}$		7.91	7.91
Απόσταση κώνου (mm)	$R = \frac{d_1}{2 \sin(\delta_1)} = \frac{d_2}{2 \sin(\delta_2)}$		23.72	23.72
Εικονικό πλήθος οδόντων (δείκτης v για εικονικό ή ισοδύναμο)	$z_{v1} = \frac{z_1}{\cos(\delta_1)}$	$z_{v2} = \frac{z_2}{\cos(\delta_2)}$	938.99	142.30

Μέσο module	$m_m = \frac{d_{m2}}{z_2} = \frac{d_{m1}}{z_1}$		0.89	0.96
Χάρη κεφαλής – ποδός	$c = 0.2m$		0.2	0.2
Ολικό ύψος οδόντος	$h = 2m + 0.2m = 2.2m$		2.2	2.2
Ύψος κεφαλής (mm)	$h_{a1} = h_{a2} = m$		1	1
Ύψος ποδός (mm)	$h_{f1} = h_{f2} = m$		1.2	1.2
Γωνία κεφαλής (°)	$\tan \theta_{\alpha 1} = \tan \theta_{\alpha 2} = \frac{m}{R}$		0.04	0.04
Γωνία ποδός (°)	$\tan \theta_{f1} = \tan \theta_{f2} = 1.2 \frac{m}{R}$		0.05	0.05
Γωνία κώνου ακατέρραστου τεμαχίου ή μετωπική γωνία (°)	$\delta_{\alpha 1} = \delta_1 + \theta_{\alpha 1}$	$\delta_{\alpha 2} = \delta_2 + \theta_{\alpha 2}$	2.85	73.98
Ύψος επιπέδου τροχού (mm)	$CH_1 = \frac{d_2}{2} - m \sin \delta_1$	$CH_2 = \frac{d_1}{2} - m \sin \delta_2$	2.42	6.55
Απόσταση κώνου πλάτης (mm)	$R_{a1} = R \tan \delta_1$	$R_{b1} = R \tan \delta_1$	-10.44	-71.15

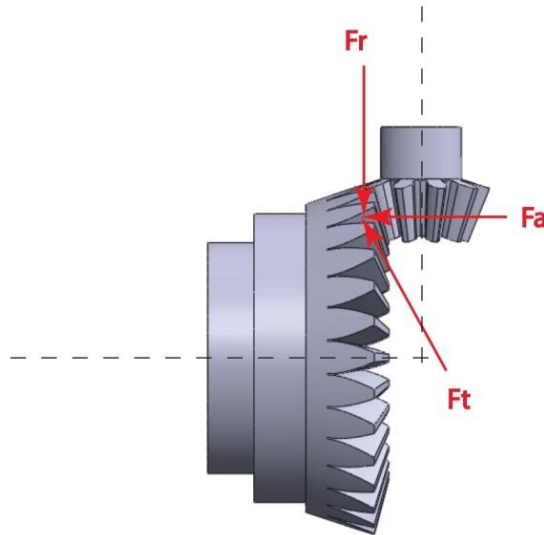
Έχει παρατηρηθεί πως για υψηλές φοιτήσεις και υψηλές ταχύτητες ο ελάχιστος αριθμός δοντιών είναι 16, ενώ για μέσες ταχύτητες είναι 12 και χαμηλές ταχύτητες και φορτίσεις ο αριθμός των δοντιών πρέπει να είναι τουλάχιστον 10. Βάση των παραπάνω έγινε ο σχεδιασμός των γραναζιών.

3.3.3 Εφαρμοζόμενες δυνάμεις σε ευθύγραμμο κωνικά γρανάζια

Κατά την περιστροφή των γραναζιών, η εφαρμογή των δυνάμεων υφίσταται στα σημεία επαφής, δηλαδή στις επιφάνειες των δοντιών των γραναζιών. Οι άξονες των κωνικών γραναζιών είναι υπό την κλίση των 90 μοιρών μεταξύ τους. Με αποτέλεσμα τα δόντια των συνεργαζόμενων γραναζιών, να έρχονται σε επαφή μεταξύ τους, με τη σχεδίαση δοντιών κεκλιμένης επιφάνειας (ίδια κλίση για το γρανάζι και το πινιόν).

Οι τρεις μορφές δυνάμεων που ασκούνται (Εικόνα 23) είναι:

- Εφαπτόμενες δυνάμεις (F_t), οι οποίες μεταδίδουν τη ροπή
- Ακτινικές δυνάμεις (F_r), οι οποίες ενεργούν κατά τη διεύθυνση του y άξονα
- Αξονικές δυνάμεις (F_a), οι οποίες ενεργούν κατά τη διεύθυνση του z άξονα



Εικόνα 23 Δυνάμεις σε ευθύγραμμα κωνικά γρανάζια.

Στην παραπάνω εικόνα η αξονική δύναμη- F_a , η οποία ασκείται στο μεγάλο γρανάζι είναι η αντίστοιχη ακτινική δύναμη για το πινιόν. Παρόμοια, η ακτινική δύναμη- F_r για το μεγάλο γρανάζι, αντιστοιχίζεται στην αξονική δύναμη για το πινιόν. Ενώ η εφαπτόμενη δύναμη- F_t αποτελεί τη συνολική δύναμη, με την οποία ασκείται ροπή στα συνεργαζόμενα γρανάζια. Για τον υπολογισμό της αξονικής και της ακτινικής δύναμης εφαρμόζονται οι ακόλουθες σχέσεις:

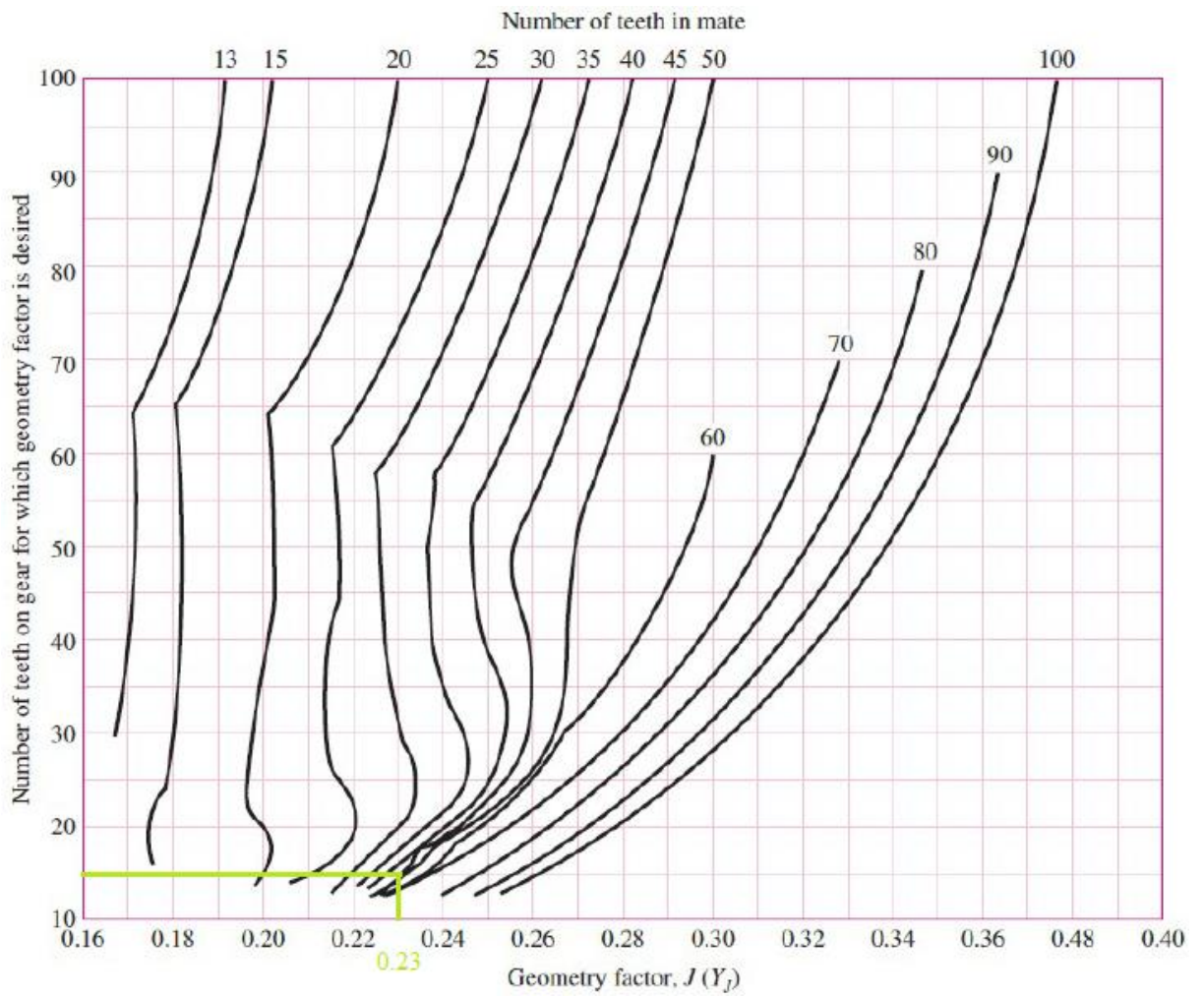
$$F_a = F_t \cdot \tan \varphi \cdot \sin \gamma \quad (3.3)$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \varphi \cdot \cos \gamma \quad (3.4)$$

Οι ακόλουθοι υπολογισμοί των χρήσιμων παραμέτρων, για ευθύγραμμα κωνικά γρανάζια, γίνονται σύμφωνα με τα πρότυπα της AGMA, για άξονες γραναζιών κάθετους μεταξύ τους (shaft angle 90°) και 20° pressure angle. Απαιτούμενα δεδομένα για τους υπολογισμούς, είναι τα ακόλουθα:

Δεδομένα	
Αριθμός δοντιών – πινιόν, N	15
Αριθμός δοντιών - μεγάλου γραναζιού, Nm	45
Pitch diameter - πινιόν (mm), D	14.74
Face Width - πινιόν (mm), F	5
Ροπή - πινιόν, T (Nmm)	30000
AGMA Geometry Factor (από διάγραμμα-J)	0.23

Ο επιλογή του AGMA geometry factor J, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του παρακάτω διαγράμματος (Εικόνα 24).



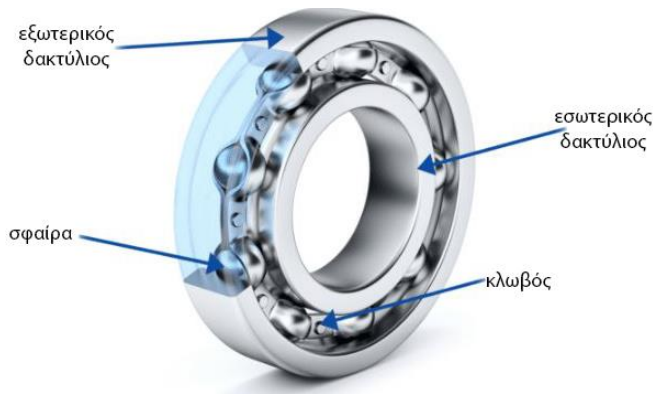
Εικόνα 24: Γεωμετρικός συντελεστής J , κατά AGMA [53].

Ύστερα από υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν σε αρχείο excel, λόγω της μεγαλύτερης υπολογιστικής ευελιξίας, προέκυψαν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

Αποτελέσματα τάσεων		
AGMA Καμπτική τάση (N/mm)	$AGMA \text{ Bending Stress} = \frac{W_{to} \cdot P}{F \cdot J}$	3602
Διάτμηση δοντιού (F/A) (N/mm)	$F/A = \frac{W_{to}}{A_c}$	591
Γεωμετρικά αποτελέσματα		
Βήμα, P	$Pitch = \frac{Z_1}{D}$	1
Γωνία βήματος, πινιόν, G	$Pitch \text{ angle} = a \cdot \tan\left(\frac{Z_1}{Nm}\right)$	0.322
Γωνία βήματος μεγάλου γραναζιού, gam	$Pitch \text{ angle} = a \cdot \tan\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)$	1.249
Λόγος μετάδοσης, i	$i = \frac{Z_1}{Z_2}$	0.333
Κωνική απόσταση, A_o	$A_o = \frac{D/2}{\sin G}$	23.306
Εφαπτομενική δύναμη στο τέλος του μεγάλου δοντιού, W_{to} (kN)	$W_{to} = \frac{T}{D/2}$	4.070
Εφαπτομενική δύναμη στο μέσο του προσώπου-TFMF (kN)	$F_t = \frac{T}{\left(\frac{D}{2} - F \cdot \frac{\sin G}{2}\right)}$	4.560
Gear tooth separation force estimate (kN)	$GTSFE = \max(W_{to} \text{ ή } TFMF) \cdot \tan\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right)$	1.660
Πάχος δοντιού, μεγάλη πλευρά, tt	$tt = 0.5 \cdot \frac{\pi}{P}$	1.544
Διάμετρος, μικρό τελείωμα δοντιού	$D_{set} = 2 \cdot (A_o - F) \cdot \sin G$	11.578
Πάχος δοντιού, μικρό τελείωμα, tts	$tts = \frac{0.5 \cdot \pi}{N/D_{set}}$	1.212
Κυκλικό βήμα, p	$p = \frac{\pi}{P}$	3.087

Χορδαλική επιφάνεια, A_c	$A_c = \frac{F \cdot (tt + tts)}{2}$	6.890
Ακτίνα πίσω κόνου, R_b	$R_b = A_o \cdot \tan G$	7.769

3.4 ΕΔΡΑΝΑ ΚΥΛΙΣΗΣ



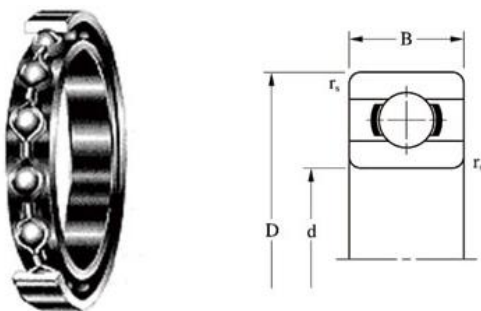
Εικόνα 25 Επιμέρους τμήματα εδράνου κύλισης

Τα έδρανα κύλισης – ρουλεμάν είναι τα στοιχεία που επιτρέπουν τη στήριξη περιστρεφόμενων αξόνων, ατράκτων ή πέρων σε ακίνητα στοιχεία (πχ. βάσεις στήριξης). Αποτελούνται γενικά από δύο ομόκεντρες στεφάνες που χωρίζονται με ισαπέχουσες σφαίρες ή κυλίνδρους. Τα έδρανα κύλισης που είναι σχεδιασμένα να φέρουν ακτινικό ή αξονικό φορτίο καλούνται ακτινικά ή αξονικά έδρανα κύλισης. Κύριος σκοπός της χρήση των εδράνων κύλισης είναι η μείωση της τριβής κατά την περιστροφή των αξόνων. Επιπρόσθετα όμως μειώνουν τις θερμοκρασίες που

αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια περιστροφής των στοιχείων αλλά και αποτρέπουν την ακινητοποίηση των στοιχείων.

Κάθε έδρανο κύλισης απαρτίζεται από το σώμα κύλισης, τον εσωτερικό δακτύλιο, τον εξωτερικό δακτύλιο και τον κλωβό (Εικόνα 25). Ο εσωτερικός δακτύλιος στερεώνεται πάνω στην άτρακτο, ενώ ο εξωτερικός στηρίζεται πάνω στη λεία επιφάνεια της βάσης του εδράνου. Το σώμα εκτός από σφαίρα μπορεί να είναι κύλινδρος, κολουρος κώνος, βαρελοειδής κολουρος κώνος ή βελόνα. Τα έδρανα κύλισης μπορεί να είναι ή ακτινικά ή αξονικά ή συνδυαστικά. Η κατηγοριοποίηση αυτή γίνεται με βάση τη διεύθυνση της δύναμης την οποία δέχεται ένα έδρανο κύλισης. Άλλη μια κατηγοριοποίηση των ρουλεμάν είναι ανάλογα με τον αριθμό των σωμάτων κυλίσεως. Μπορεί να είναι απλά, διπλά, τριπλά ή τετραπλά. Τέλος, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους ονομάζονται σταθερά, κινητά ή αυτορυθμιζόμενα [55],[56]

3.4.1 Έδρανα κύλισης στον κηδεμόνα ExoGaitOR



Εικόνα 26 Αναπαράσταση διαστάσεων εδράνου κύλισης

Πίνακας 6 Τεχνικά χαρακτηριστικά

	mm
Διάμετρος οπής (d)	20
Εξωτερική διάμετρος (D)	27
Ακτίνα (r_s min)	0.20
Πλάτος (B)	4

Μετά από ενδελεχή μελέτη των χαρακτηριστικών των εδράνων κύλισης αλλά και σε συνδυασμό με τις διαστάσεις του άξονα του μοτέρ και των οπών του κηδεμόνα επιλέχθηκε ένα σφαιρικό ρουλεμάν με εξωτερική διάμετρο 27 mm, εσωτερική διάμετρο 20 mm και πλάτος 4 mm. Τα βασικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 6 και στην Εικόνα 26.

Η χρήση ενός εδράνου κύλισης στη συγκεκριμένη κατασκευή είναι άκρως απαραίτητη. Αρχικά χρησιμοποιείται για να αποφευχθούν δυνάμεις τριβής κατά την περιστροφή των αξόνων σύνδεσης. Όμως ο κύριος λόγος της χρήσης του είναι επειδή κατά την περιστροφή των αξόνων σύνδεσης δεν απαιτείται η κίνηση των δύο βασικών τμημάτων του κηδεμόνα. Έτσι, με τη χρήση ενός ρουλεμάν στην όρθωση της κνήμης αποτρέπεται η κίνηση της (Εικόνα 27).



Εικόνα 27 Θέση εδράνου κύλισης στον κνημοποδικό κηδεμόνα ExoGaitOR

3.5 SOLIDWORKS



Εικόνα 28 Λογότυπο σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks [57]

Ο κηδεμόνας ExoGaitOR δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα τρισδιάστατου σχεδιασμού «SolidWorks», έκδοσης 2017 (Εικόνα 28). Το SolidWorks χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες μηχανημάτων, ηλεκτρονικών υπολογιστών και λογισμικού, σε ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα, από κατασκευαστικές, αυτοκινητοβιομηχανίες κλπ.

Για να προκύψει η συναρμογή της όρθωσης ExoGaitOR, ήταν απαραίτητος πρώτα ο σχεδιασμός των επιμέρους κομματιών (Part). Παρακάτω απεικονίζονται (Εικόνα 29) τα βασικά κομμάτια που σχεδιάστηκαν με το πρόγραμμα Solidworks.



1) Όρθωση πέλματος



2) Όρθωση πέλματος



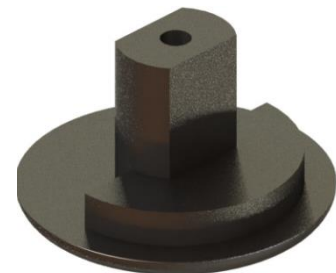
3) Πινιόν



4) Κωνικό γρανάζι



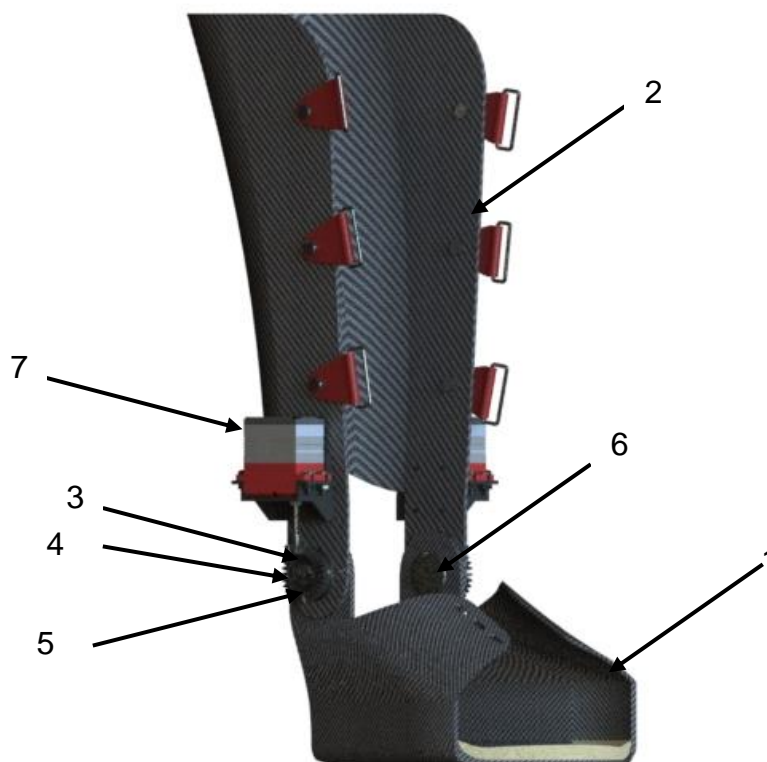
5) Κομμάτι στήριξης



6) Κομμάτι σύνδεσης

Εικόνα 29 Βασικά κομμάτια της όρθωσης ExoGaitOR

Με τη διαδικασία της συναρμολόγησης (Assembly), τα επιμέρους τμήματα της κατασκευής, συνδέονται μεταξύ τους, δίνοντας μας ένα τελικό ολοκληρωμένο μοντέλο, για την όρθωση ExoGaitOR.

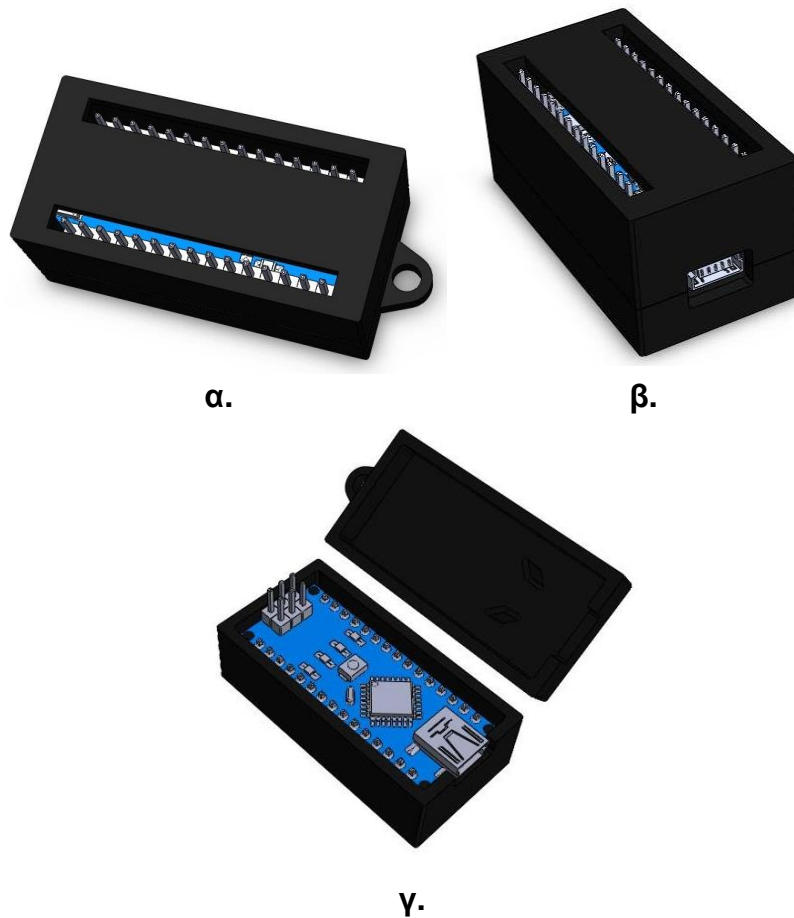


Εικόνα 30 Όρθωση ExoGaitOR

Στην Εικόνα 30, οι αναγραφόμενοι αριθμοί απευθύνονται στην αρίθμηση του (εκτός του αριθμού 7, ο οποίος δηλώνει τον κινητήρα). Έτσι γίνεται εύκολα ο εντοπισμός τους, ώστε στην συνέχεια να γίνει κατανοητή η αρχή της λειτουργίας του.

Εκτός του κινητήρα, ο υπόλοιπος ηλεκτρονικός εξοπλισμός παραλείπεται από το αρχείο Assembly, όμως αυτό δεν είναι εμπόδιο για την επεξήγηση της λειτουργίας του μηχανισμού. Οι πληροφορίες του προγραμματισμού, θα παραληφθούν σε αυτό το κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5). Σκοπός της κατασκευής αυτής είναι η κάλυψη των φορτίων που απαιτείται η ποδοκνημική άρθρωση να υπερνικήσει κατά την διάρκεια του κύκλου βάδισης, για τα άτομα που παρουσιάζουν πτώση άκρου πόδα. Αρχικά καθώς ο κινητήρας (7) τροφοδοτείται και λαμβάνει το κατάλληλο σήμα, αρχίζει να περιστρέφεται. Στην έξοδο του κινητήρα, είναι τοποθετημένο το πινιόν (3), το οποίο περιστρέφεται με στροφές ίδιες με αυτές του κινητήρα. Το πινιόν συνεργάζεται με το γρανάζι (4) και καθώς περιστρέφεται το παρασέρνει, εξαναγκάζοντας το να εκτελέσει περιστροφική κίνηση. Μέσω του άξονα σύνδεσης (6), η ροπή οδηγείται από το μεγάλο γρανάζι στην όρθωση του πέλματος (1) και τείνει είτε να την ανυψώσει, είτε να την κατεβάσει. Η ανύψωση της όρθωσης του πέλματος, αντιστοιχεί σε ραχιαία κάμψη, ενώ το κατέβασμα, σε πελματιαία κάμψη. Οι δύο ασκούμενες ροπές είναι αντίθετης φοράς, στοιχείο που υποδηλώνει την αλλαγή της φοράς περιστροφής του κινητήρα. Η παραπάνω περιγραφή αναφέρεται στη κοινή λειτουργία των διπλών κομματιών του εξοπλισμού (κινητήρες, γρανάζια, άξονες σύνδεσης).

Επίσης να επισημανθεί πως η σταθερή στήριξη της όρθωσης, πάνω στο πόδι επιτυγχάνεται με την χρήση χράτς (hook and loop) στην κνήμη (2) και με λάστιχο στο πέλμα.



Εικόνα 31 Σχέδιο εξωτερικού περιβλήματος, του μικροελεγκτή Arduino Nano

Για την ασφαλή τοποθέτηση του μικροελεγκτή Arduino Nano, έχει σχεδιαστεί ένα πλαστικό περίβλημα, το οποίο αποτελείται από δύο μέρη (Εικόνα 31). Με κατάλληλα διαμορφωμένα ανοίγματα, που διευκολύνουν τη συνδεσμολογία των καλωδίων με τις θύρες της πλακέτας. Επιπλέον στο άνω μέρος του κουτιού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρός γάντζος στο σημείο της οπής, με σκοπό την τοποθέτηση του κουτιού πάνω στον ασθενή (στο παντελόني ή στη ζώνη του).

3.6 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΡΘΩΣΗΣ ExoGaitOR

Η όρθωση ExoGaitOR είναι κατασκευασμένη για να προσφέρει υποβοήθηση κατά τη βάρδια, σε άτομα τα οποία παρουσιάζουν πτώση του άκρου ποδός. Τα βασικά μέρη λειτουργίας της όρθωσης είναι ο αισθητήρας κάμψης, ο μικροεπεξεργαστής Arduino, οι κινητήρες και η συμπλοκή των κωνικών γραναζιών.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί προηγουμένως ο κύκλος της βάρδιας αποτελείται ΚΑΙ βρίσκεται τοποθετημένος στο πίσω μέρος του γόνατος (εξαιτίας της μικρότερης καμπυλότητας, της μορφολογία του, σε αντίθεση με την μπροσινή επιφάνεια του γόνατος). Ο αισθητήρας κάμψης παίρνει μετρήσεις για το μέγεθος της γωνίας που σχηματίζεται μεταξύ της κνήμης και του μηρού. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται από τον μικροεπεξεργαστή Arduino. Ο μικροεπεξεργαστής αναλύει τα δεδομένα εισόδου, σύμφωνα με τα δεδομένα της βάρδιας του ατόμου, τα οποία προκύπτουν μέσω της

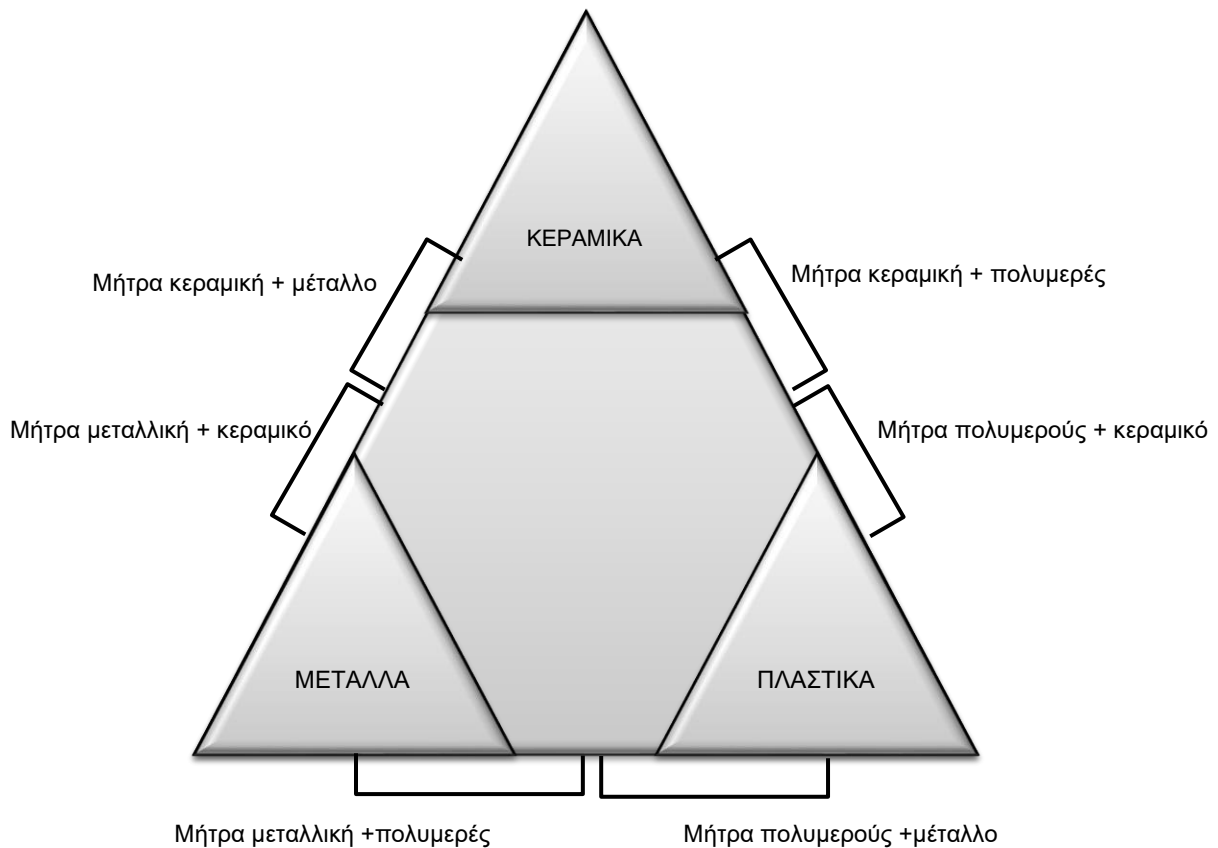
κινηματικής ανάλυσης (διάγραμμα γωνιών του γόνατος συναρτήσει του ποσοστιαίου χρόνου βάρδισης). Με τον τρόπο αυτό ο κώδικας αναγνωρίζει για κάθε χρονική στιγμή, τη φάση που εκτελεί ο χρήστης. Στη συνέχεια, έχοντας δεδομένα της κινηματικής ανάλυσης (διάγραμμα γωνιών του πέλματος συναρτήσει του ποσοστιαίου χρόνου βάρδισης), ο κώδικας δίνει εντολές εξόδου προς τους δύο σερβοκινητήρες, με σκοπό να τους περιστρέψει κατάλληλα. Η μετάδοση της κίνησης από τους κατακόρυφους άξονες των κινητήρων, προς την άρθρωση της όρθωσης του πέλματος, γίνεται με την χρήση της συμπλοκής των δύο ευθύγραμμα κωνικά γρανάζια.

Η τροφοδοσία του ηλεκτρονικού συστήματος γίνεται από δύο μπαταρίες (Κεφάλαιο 5.4). Τα στοιχεία τροφοδοσίας, βρίσκονται τοποθετημένα στο σημείο της μέσης. Πιο συγκεκριμένα, είναι τοποθετημένα σε ειδικά διαμορφωμένες θήκες, οι οποίες στηρίζονται στη ζώνη του χρήστη. Η μεταφορά του ρεύματος προς το μικροελεγκτή και τους κινητήρες, γίνεται με τη χρήση καλωδίων.

Τα άτομα που παρουσιάζουν πτώση άκρου ποδός, αδυνατούν να ανυψώσουν το πέλμα τους. Με την χρήση της όρθωσης ExoGaitOR, πραγματοποιείται η ραχιαία κάμψη του πέλματος. Η ραχιαία κάμψη παρουσιάζει πρόβλημα στις φάσεις της αρχικής επαφής, της τελικής επαφής και της φάσης της αιώρησης (Κεφάλαιο 2.4.1).

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4.1 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ



Εικόνα 32 Συνδυασμοί σύνθετων υλικών.[59]

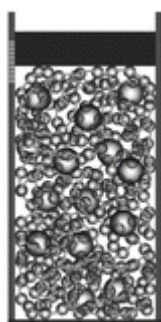
«**Σύνθετα**» ονομάζονται τα υλικά που αποτελούνται από δύο ή και περισσότερα διαφορετικά υλικά. Η τελική σύνθεση του συνθέτου παρουσιάζει διαφορετικές μηχανικές και χημικές ιδιότητες, από αυτές των επιμέρους υλικών. Τα σύνθετα, διαφοροποιούνται από τα μίγματα και τα στερεά διαλύματα, καθώς τα ξεχωριστά συστατικά τους, είναι διακριτά. Ένα από τα υλικά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα, έχει καλύτερα χαρακτηριστικά και προσδίδει στο σύνθετο βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. Το υλικό αυτό είναι η «**ενίσχυση**» και η ονομασία του υποδηλώνει την παραπάνω αναφορά, πως ενισχύει με τις ιδιότητες του το σύνθετο υλικό. Η ενίσχυση, συγκρατείται από την «**μήτρα**». Η μήτρα είναι ένα υλικό, χαμηλότερης πυκνότητας, αντοχής και δυσκαμψίας από την ενίσχυση το οποίο εξασφαλίζει την μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της ενίσχυσης. Αν υπάρξει αστοχία, το μεγαλύτερο μέρος των καταπονήσεων απαιτείται να το παραλάβει η μήτρα.

Ανάλογα με την επιλογή της ομάδας των υλικών, για την ενίσχυση και τη μήτρα αντίστοιχα, υπάρχουν 6 πιθανοί συνδυασμοί σύνθετων υλικών που μπορούν να προκύψουν. Στην πυραμίδα, της Εικόνα 32 φαίνονται οι τρεις βασικές ομάδες υλικών και οι συνδυασμοί αυτών [58].

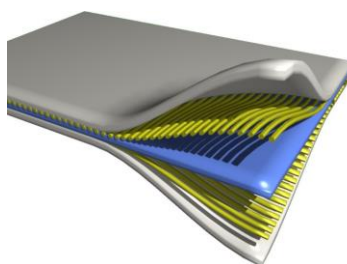
4.1.1 Υλικά ενίσχυσης

Εκτός από το υλικό, σημαντικός παράγοντας των τελικών ιδιοτήτων του συνθέτου, είναι η μορφολογία του συστατικού ενίσχυσης. Βάση της μορφής προκύπτουν τρεις κατηγορίες, τα ινώδη, τα στρωματικά και τα κοκκώδη σύνθετα (Εικόνα 33 Κατηγορίες μορφής ενίσχυσης συνθέτων.).

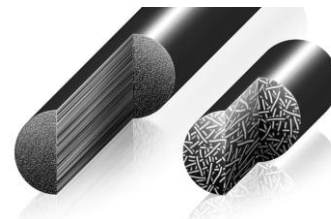
- **Ινώδη Σύνθετα** : σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες.
- **Κοκκώδη σύνθετα** : σύνθετα υλικά με ενίσχυση σωματιδίων διάχυτα μέσα στο υλικό της μήτρας.
- **Στρωματικά σύνθετα** : σύνθετα υλικά που αποτελούνται από στρώσεις συστατικών.



Κοκκώδες σύνθετο



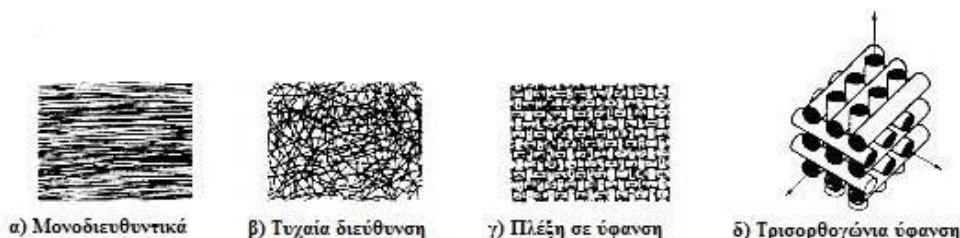
Πολύστρωτο σύνθετο



Σύνθετο με ενίσχυση ινών

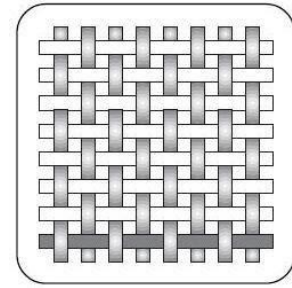
Εικόνα 33 Κατηγορίες μορφής ενίσχυσης συνθέτων.

Οι ίνες παρουσιάζουν αρκετές κατηγοριοποιήσεις, που προκύπτουν από διαφορετικά κριτήρια. Ο προσανατολισμός των ινών είναι ένα από τα κριτήρια κατηγοριοποίησης. Έτσι υπάρχουν τα μονοδιευθυντικά (Εικόνα 34α) και τα πολυδιευθυντικά στα οποία οι ίνες έχουν διαφορετικές κατευθύνσεις. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που οι ίνες μπορεί να είναι είτε σε τυχαία διεύθυνση είτε είναι όταν οι διευθύνσεις της **πλέξης ύφανσης** και της **τρισορθογωνίας ύφανσης** ακολουθούν ένα μοτίβο (Εικόνα 34). Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε πλέξη με απλή ύφανση και γωνίες 0/90 ή αλλιώς πλέξη woven.



Εικόνα 34 Προσανατολισμός των ινών [59]

Τα χαρακτηριστικά του συνθέτου, για αυτή την κατηγορία επηρεάζονται από το είδος της πλέξης, τον αριθμό των ινών της κάθε πλέξης και της γωνίας που αυτές σχηματίζουν. Τα σύνθετα υλικά με τη μορφή υφάσματος, έχουν ισότροπη συμπεριφορά. Γενικά, παρουσιάζουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τα μονοδιευθυντικά και αυτό οφείλεται στα μεγαλύτερα ποσοστά ενίσχυσης που περιέχουν. Συγκεκριμένα η απλή πλέξη είναι ο πιο γνωστός τρόπος πλέξης και χαρακτηρίζεται από σταθερότητα και συμμετρία. Βέβαια συγκρινόμενη με τις υπόλοιπες πλέξεις, έχει χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες. Επιπλέον για υφάσματα μεγάλου βάρους δεν επιλέγεται, εξαιτίας του μεγάλου βαθμού αναδίπλωσης των ινών. Σε αυτή τη πλέξη, οι εγκάρσιες και διαμήκεις δέσμες ινών διασταυρώνονται κάθετα μεταξύ τους και εναλλάξ βρίσκονται η μία ομάδα πάνω από την άλλη (Εικόνα 35).



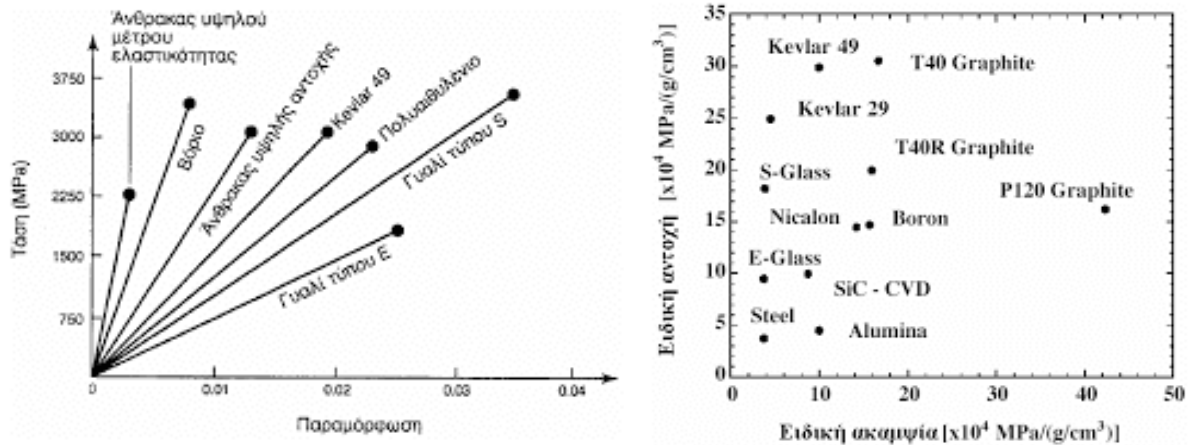
Εικόνα 35 Απλή πλέξη [60]

Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης είναι ο λόγος του μήκους προς τη διάμετρο. Έτσι, οι ίνες χαρακτηρίζονται ως **συνεχείς ή μεγάλου μήκους**, όταν ο λόγος μήκους προς τη διάμετρο είναι αριθμητικά μεγαλύτερος ή ίσος του 100. Ενώ, όταν ο λόγος αυτός πέφτει πιο χαμηλά από τη τιμή αυτή, οι ίνες χαρακτηρίζονται **ασυνεχείς ή κοντές**. Τέλος, για κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως διάμετρο μικρότερη από 1 μm και μήκος ίσο με 1 μm , είναι τα **νηματίδια ή τριχίτες**.

Επίσης οι ίνες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και σύμφωνα με το υλικό τους. Για τη σωστή επιλογή ινών και σύσταση του συνθέτου, πρέπει να διακρίνονται από **υψηλό μέτρο ελαστικότητας, υψηλή τάση θραύσης, μεγάλη ακαμψία, χαμηλή δυσθραυστότητα και μικρή πυκνότητα**.

Υπάρχουν διαφόρων υλικών ίνες. Είναι οι ίνες άνθρακα, οι πολυμερικές ίνες, οι μεταλλικές οι κεραμικές, οι ίνες γυαλιού και πολλές άλλες. Όμως αυτές που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι ίνες άνθρακα. Και αυτό γιατί, από ίνες άνθρακα παρασκευάζονται σύνθετα υλικά υψηλών επιδόσεων, συνδυασμένες μαζί με ρητινική μήτρα. Αυτή η κατηγορία έχει χαρακτηριστικά όπως υψηλή αντοχή και υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Το σύνθετο παρουσιάζει βέλτιστα αποτελέσματα όσο οι ίνες του είναι κατάλληλα προσανατολισμένες και όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του σε γραφίτη. Όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις στην εφαρμογή, προτιμάται ταυτόχρονα καλή μηχανική συμπεριφορά και χαμηλό βάρος. Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες αυτών, οι ίνες υψηλής αντοχής (με μέτρο ελαστικότητας 230 GPa) και οι ίνες υψηλού μέτρου ελαστικότητας (μεταξύ των τιμών 440 έως 640 GPa). Ανάλογα με την περιεκτικότητα των ινών σε άνθρακα υπάρχουν δύο κατηγορίες, οι «**ίνες γραφίτη**» με ποσοστό άνθρακα μεγαλύτερο από 99% και οι «**ίνες άνθρακα**» με ποσοστό από 80 έως 95%. Η διαδικασία παραγωγής του γραφίτη, έχει πολύ υψηλό κόστος, τουλάχιστον δέκα φορές περισσότερο από τις ίνες γυαλιού. Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιήθηκαν στην εν λόγω εργασία ίνες άνθρακα.

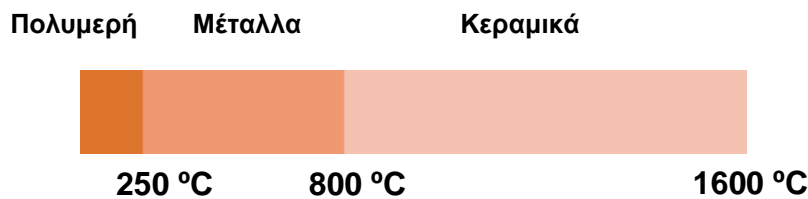
Για τη βέλτιστη επιλογή κατηγορίας ινών, πρέπει αρχικά να οριστούν οι απαιτήσεις που καλείται να καλύψει το τελικό σύνθετο. Στην Εικόνα 36 γίνεται σύγκριση των ινών για διαφορετικά υλικά.



Εικόνα 36 Γραφικές με χαρακτηριστικά μεγέθη διαφορετικών υλικών ενίσχυσης [58].

4.1.2 Υλικά Μήτρας

Η φάση της μήτρας προσδίδει πολλά οφέλη στο σύνθετο. Αρχικά συνδέει τις ίνες μαζί και ταυτόχρονα τις προστατεύει από επιφανειακή βλάβη (που μπορεί να προκληθεί λόγω μηχανικής εκτριβής ή λόγω χημικών αντιδράσεων με το περιβάλλον). Επιπλέον εμποδίζει τη διάδοση των ψαθυρών ρωγμών από ένα σε ένα, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφική αστοχία.



Εικόνα 37 Όρια θερμοκρασίας υλικών μήτρας [58].

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες υλικών μήτρας, οι πολυμερικές, οι μεταλλικές και οι κεραμικές. Η επιλογή είναι διαφορετική, ανάλογα με τα επιθυμητά αποτελέσματα της εφαρμογής. Για παράδειγμα, αν προτιμάται το σύνθετο υλικό να έχει καλό βαθμό ολκιμότητας, τότε γίνεται χρήση μεταλλικής ή πολυμερικής μήτρας. Σε αντίθετη περίπτωση για τη βελτίωση της δυσθραυστότητας χρησιμοποιείται κεραμική μήτρα. Η επιλογή της μήτρας καθορίζεται από τη θερμοκρασία και το περιβάλλον όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί το σύνθετο (Εικόνα 37).

- Πολυμερικές μήτρες (PMC: Polymer Matrix Composite)

Οι πολυμερικές ή αλλιώς οργανικές μήτρες κατηγοριοποιούνται σε θερμοπλαστικές και θερμοσκληρυνόμενες (Πίνακας 7).

Πίνακας 7 Κατηγορίες πολυμερικών μητρών

Θερμοπλαστικές μήτρες	Θερμοσκληρυνόμενες μήτρες
<ul style="list-style-type: none"> • Γραμμικές αλυσίδες που συγκράτούνται με δυνάμεις Van der Waals • Σε υψηλές θερμοκρασίες οι δυνάμεις Van der Waals λύνονται (το υλικό γίνεται πιο μαλακό), αλλά επιδρούν ξανά • Χαμηλό κόστος • Παραδείγματα: <ul style="list-style-type: none"> • Πολυαιθυλενίου (PE) • Πολυστυρενίου (PS). 	<ul style="list-style-type: none"> • Τρισδιάστατη δομή πλέγματος, μεταξύ των αλυσίδων υπάρχουν πρωτογενείς ισχυροί δεσμοί • Με την αύξηση της θερμοκρασίας οι διαμοριακοί δεσμοί αυξάνονται, τότε τα υλικά αυτά γίνονται πιο σκληρά και ψαθυρά • Καλύτερες μηχανικές ιδιότητες • Παραδείγματα: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Πολυεστερικές ρητίνες (με ενίσχυση ινών γυαλιού) ➢ Εποξειδικές ρητίνες (καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, με μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 200 °C ➢ Φαινολικές ρητίνες (μέτριες μηχανικές ιδιότητες με χαμηλή πλαστικότητα και η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι 400°C)

- Μεταλλικές μήτρες (MMC: Metal Matrix Composite)

Ως μεταλλικά υλικά μήτρας χρησιμοποιούνται εκείνα που είναι όλκιμα (αλουμίνιο, τιτάνιο, νικέλιο). Η ενίσχυση του συνθέτου, με μεταλλική μήτρα, μπορεί να βελτιώσει την ειδική ακαμψία, την ειδική αντοχή, την αντίσταση στην εκτριβή, την αντίσταση στον ερπυσμό, τη θερμική αγωγιμότητα και τη διαστατική σταθερότητα. Έναντι των σύνθετων υλικών με πολυμερική μήτρα παρουσιάζουν:

- Μεγαλύτερη ολκιμότητα και πιο καλές μηχανικές ιδιότητες
- Καλύτερη θερμική και ηλεκτρικής αγωγιμότητα
- Υψηλότερες θερμοκρασίες χρήσης
- Μη ευφλεκτότητα
- Μεγαλύτερη αντίσταση στην υποβάθμιση από οργανικά ρευστά
- Πιο εύκολη συνδεσμολογία των τεμαχίων του σύνθετου υλικού

Ενώ ως αρνητικά χαρακτηριστικά μπορούν να αναφερθούν:

- Πολύ πιο ακριβά από εκείνα πολυμερούς μήτρας
- Μεγαλύτερο βάρος

- Σε υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάζεται φθορά των ινών, εσωτερικά της μήτρας
- Οι σύνδεσμοι που δημιουργούνται στην διεπιφάνεια του μετάλλου και της ίνας είναι εύθραυστοι και οδηγεί σε θραύση των ινών με τη δημιουργία αρχικά μικρών ρωγμών
- Κεραμικές μήτρες (CMC: Ceramic Matrix Composite)

Χαρακτηριστικά των κεραμικών υλικών είναι η σκληρότητα, στιβαρότητα, η αντοχή σε οξείδωση και υψηλές θερμοκρασίες. Όμως παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα, λόγω της μεγάλης διαφοράς των συντελεστών γραμμικής διαστολής των υλικών της μήτρας και της ενίσχυσης. Ένα πολύ γνωστό παράδειγμα κεραμικής μήτρας είναι το τσιμέντο.

4.1.3 Σύνθετα με πολυμερική μήτρα και ινώδη ενίσχυση

Επικρατούν τρεις βασικοί τύποι σύνθετων πολυμερικής μήτρας με ενίσχυση ινών. Η ενίσχυση της πολυμερικής μήτρας γίνεται με ίνες γυαλιού ή ίνες άνθρακα ή ίνες αραμιδίου [61].

- Τα **σύνθετα με ίνες γυαλιού** που περιέχονται μέσα σε πολυμερική μήτρα, είναι γνωστά με την ονομασία **fiberglass**. Οι ίνες των συνθέτων, έχουν διάμετρο από 3 έως 20 μm (Πίνακας 8).

Πίνακας 8 Πολυμερή Σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών γυαλιού

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Το γυαλί ελκύεται εύκολα από το τήγμα, για τη δημιουργία ινών με υψηλή αντοχή	Τα σύνθετα με ίνες γυαλιού είναι αρκετά δύσκαμπτα και δεν επιδεικνύουν την ακαμψία
Η εύρεση τους είναι εύκολη, καθώς επίσης η παραγωγή τους είναι οικονομική και περιλαμβάνει μια ευρεία ποικιλία τεχνικών δημιουργίας των συνθέτων	Ακόμα και οι πολύ μικρές επιφανειακές ατέλειες έχουν την δυνατότητα να υποβαθμίσουν τις ιδιότητες σε εφελκυσμό
Κατατάσσεται στις ισχυρές ίνες και όταν εμβαπτιστεί σε πολυμερική μήτρα προκύπτει σύνθετο υλικό με πολύ υψηλή αντοχή	Οι συνθήκες λειτουργίας για τις περισσότερες περιπτώσεις περιορίζονται στους 200°C
Παρουσιάζει χημική αδράνεια σε μεγάλη ποικιλία διαβρωτικών μέσων, εξαιτίας της σύζευξης με πλαστικό.	

- Τα **πολυμερή σύνθετα με ίνες άνθρακα**, χρησιμοποιούνται περισσότερο από κάθε άλλο τύπο σύνθετων. Οι διαμέτροι των ινών του άνθρακα που

δημιουργούνται είναι από 4 έως 10 μm. Επιπλέον, υπάρχουν τέσσερις ομάδες ινών άνθρακα οι οποίες κατηγοριοποιούνται βάση του μέτρου εφελκυσμού τους (κανονικό, μέσο, υψηλό και πολύ υψηλό) (Πίνακας 9).

Πίνακας 9 Πολυμερή σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών άνθρακα

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Οι ίνες άνθρακα έχουν μέγιστο ειδικό μέτρο ελαστικότητας και μέγιστη ειδική αντοχή, συγκρινόμενες με όλα τα υπόλοιπα ινώδη ενισχυτικά υλικά	Παρουσιάζουν σχετικά σύνθετες τεχνικές παραγωγής των ινών
Σε υψηλές θερμοκρασίες διατηρούν το υψηλό μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό και την υψηλή αντοχή	Σε υψηλές θερμοκρασίες είναι πιθανόν να οξειδωθούν
Δεν επηρεάζονται από την υγρασία ούτε επίσης από μεγάλη ποικιλία διαλυτών, οξέων και βάσεων, όταν βρίσκονται σε θερμοκρασία δωματίου.	
Για την κατηγορία αυτή υπάρχει μεγάλο εύρος φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών, έτσι μπορούν να προκύψουν σύνθετα υλικά με ειδικά σχεδιασμένες ιδιότητες	
Οι διαδικασίες παραγωγής των ινών, έχουν αναπτυχθεί και έχουν μειωμένο κόστος, ενώ διατηρείται η αποτελεσματικότητά τους	
Η εποξειδική ρητίνη η οποία περιβάλλει τις ίνες άνθρακα, βελτιώνει την συγκόλληση τους με την πολυμερική μήτρα	

- Τα σύνθετα υλικά με **ίνες αραμιδίου** (Kevlar, Nomex) συνδυάζονται κυρίως **με πολυμερικές μήτρες** (εποξειδικές ρητίνες, πολυεστέρες). Οι ίνες αραμιδίου είναι σχετικά εύκαμπτες και σε κάποιο βαθμό όλκιμες (Πίνακας 10).

Πίνακας 10 Πολυμερή σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών αραμιδίου

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Έχουν υψηλή αντοχή και υψηλό μέτρο ελαστικότητας	Οι ίνες είναι σχετικά αδύνατες σε θλίψη
Έχουν διαμήκεις εφελκυστικές αντοχές και εφελκυστικά μέτρα ελαστικότητας υψηλότερα από τα αντίστοιχα των άλλων πολυμερών ινών	Χημικά, τα υλικά αυτά είναι επιρρεπή σε υποβάθμιση υπό την επίδραση ισχυρών οξέων και βάσεων
Παρουσιάζουν δυσθραυστότητα, αντοχή σε κρούση, αντοχή σε ερπυσμό και αστοχία σε κόπωση	

Τέλος, στον Πίνακα 11 παραθέτονται οι ιδιότητες των σύνθετων υλικών πολυμερικής μήτρας, για τις τρεις βασικές περιπτώσεις ενίσχυσης.

Πίνακας 11 Δεδομένα για τις ιδιότητες πολυμερικών συνθέτων [62]

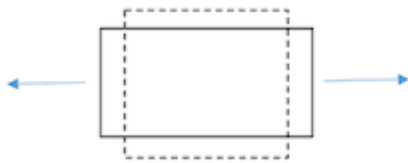
Ιδιότητα	Γυαλί (τύπου E)	Άνθρακας (υψηλής αντοχής)	Αραμίδιο (Kevlar 49)
Ειδικό Βάρος	2,1	1,6	1,4
Εφελκυστικό Μέτρο Ελαστικότητας			
Διαμήκες (Gra)	45	145	76
Εγκάρσιο (Gra)	12	10	5,5
Εφελκυστική Αντοχή			
Διαμήκης (Mpa)	1020	1240	1380
Εγκάρσια (Mpa)	40	41	30
Τελική εφελκυστική παραμόρφωση			
Διαμήκης(Mpa)	2,3	0,9	1,8
Εγκάρσια (Mpa)	0,4	0,4	0,5

4.1.4 Πλεονεκτήματα σύνθετων υλικών

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα για τη χρήση σύνθετων υλικών είναι η αντοχή και η ακαμψία, σε συνδυασμό με το χαμηλό τους βάρος. Με την κατάλληλη επιλογή των υλικών της μήτρας και της ενίσχυσης, κατασκευάζονται σύνθετα με επιθυμητές ιδιότητες, για τις διάφορες εφαρμογές. Ακόμα, όσο αναφορά το σχεδιασμό, έχουν το πλεονέκτημα της ευελιξίας και της δημιουργίας πολύπλοκων κομματιών. Επιπλέον έχουν ηλεκτρική μόνωση και υψηλή αντοχή για μεγάλο εύρος χημικών παραγόντων. Η χρήση του στη ρομποτική, επιτρέπει γρηγορότερες κινήσεις σε ρομποτικούς βραχίονες και μειώνει τα κατασκευαστικά σπληρίγματα αυτών. Σε εφαρμογές μετακίνησης, που απαιτείται η χρήση καυσίμου, η ένταξη των σύνθετων στη κατασκευή μειώνει την ποσότητα καυσίμου, καθώς ταυτόχρονα είναι δυνατόν να αυξήσει την επιτάχυνση και την εμβέλεια του. Σημαντική όμως είναι και η χρήση τους στην κατασκευή των ορθώσεων και τεχνητών μελών.

4.2 ΑΝΤΟΧΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

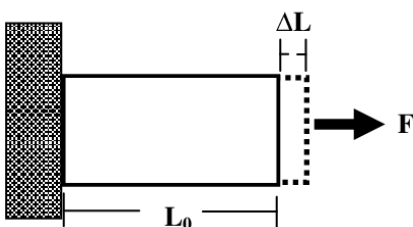
4.2.1 Ορθή τάση και παραμόρφωση.



Εικόνα 38 Ορθή τάση-Normal stress

Τάση (stress) είναι η μέση δύναμη που ασκείται ανά μονάδα επιφάνειας. Η τάση κάθετα στο επίπεδο της τομής ονομάζεται ορθή τάση και συμβολίζεται με σ . Η ορθή τάση μπορεί να προκαλέσει θλιπτικές τάσεις ή εφελκυστικές. Πρακτικά η τάση σε ένα σημείο του στερεού δείχνει τον βαθμό καταπόνησης του υλικού. Οι μονάδα μέτρησης της τάσης είναι το Pa. Η ορθή τάση εκφράζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$



Εικόνα 39 Ορθή παραμόρφωση-Normal strain

Παραμόρφωση είναι ο λόγος μεταβολής του μήκους ενός σώματος προς το μήκος του σώματος. Έτσι, η παραμόρφωση είναι το αποτέλεσμα της ανάπτυξης των τάσεων ως αντίδραση στις εξωτερικά επιβαλλόμενες δυνάμεις. Πρόκειται για ένα αδιάστατο μέγεθος το οποίο εκφράζεται με την παρακάτω σχέση:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (4.2)$$

Μονοαξονική ένταση θεωρείται αυτή που ασκείται σε μία διεύθυνση, ενώ πολυαξονική σε πολλές διευθύνσεις. Στις περιπτώσεις της μονοαξονικής έντασης ισχύει η απλή μορφή του νόμου του Hooke.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4.3)$$

Όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας Young. Να σημειωθεί πως η παραπάνω σχέση του Hooke ισχύει μόνο στην ελαστική περιοχή. Για τις πολυαξονικές φορτίσεις, όπως στα σύνθετα υλικά, ισχύει ο γενικευμένος νόμος του Hooke.

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad \text{ή} \quad \varepsilon_{ij} = S_{ijkl} \sigma_{kl} \quad (4.4)$$

$$\begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{32} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{21} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} & C_{17} & C_{18} & C_{19} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} & C_{27} & C_{28} & C_{29} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} & C_{37} & C_{38} & C_{39} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} & C_{47} & C_{48} & C_{49} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} & C_{57} & C_{58} & C_{59} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} & C_{67} & C_{68} & C_{69} \\ C_{71} & C_{72} & C_{73} & C_{74} & C_{75} & C_{76} & C_{77} & C_{78} & C_{79} \\ C_{81} & C_{82} & C_{83} & C_{84} & C_{85} & C_{86} & C_{87} & C_{88} & C_{89} \\ C_{91} & C_{92} & C_{93} & C_{94} & C_{95} & C_{96} & C_{97} & C_{98} & C_{99} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} \\ \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{32} \\ \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

Οι συνιστώσες του παραπάνω πίνακα μειώνονται ανάλογα με το αν το υλικό αν δηλαδή είναι ορθότροπο, ισότροπο, τρικλινές κλπ.

4.2.2 Ισοδύναμη τάση και παραμόρφωση

Η ισοδύναμη τάση σχετίζεται με τις αρχές των τάσεων και εκφράζεται με τον τύπο:

$$\sigma_e = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \quad (4.6)$$

Η ισοδύναμη τάση ή αλλιώς η τάση Von Mises χρησιμοποιείται συχνά επειδή μπορεί κανείς από μία τρισδιάστατη κατάσταση να πάρει ως αποτέλεσμα ένα θετικό αποτέλεσμα τάσης.

Αντίστοιχα, και η ισοδύναμη παραμόρφωση ή παραμόρφωση Von Mises υπολογίζεται ως:

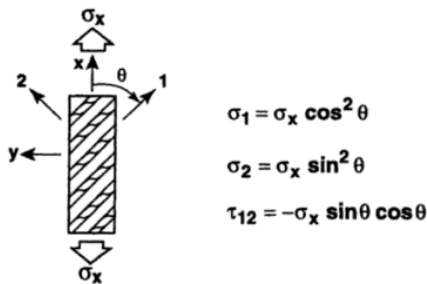
$$\varepsilon_e = \frac{1}{1+\nu} \varepsilon_e = \frac{1}{1+\nu} \left(\frac{1}{2} [(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2] \right)^{1/2} \quad (4.7)$$

Όπου ν ο λόγος Poisson

4.2.3 Κριτήρια αστοχίας σύνθετων υλικών

Για να κατανοήσει κανείς τη συμπεριφορά του συνθέτου που μελετά θα πρέπει να κατανοήσει αν το υλικό του συμπεριφέρεται ως ορθοτροπικό ή ανισότροπικό και αν συμπεριφέρεται ως ισοτροπικό. Ένα υλικό ονομάζεται ανισοτροπικό όταν οι μηχανικές του ιδιότητες εξαρτώνται από τον προσανατολισμό σε ένα σημείο του σώματος. Για παράδειγμα ένα τέτοιο υλικό δεν έχει μοναδικό συντελεστή ελαστικότητας (Young Module) ούτε μοναδική τάση εφελκυσμού. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει συμμετρία για τις ιδιότητες του υλικού. Αυτά τα υλικά είναι γνωστά και ως τρίκλινα. Παρόμοιες ιδιότητες με τα ανισοτροπικά έχουν τα ορθότροπα και τα μονοκλινικά. Τα μονοκλινικά έχουν ένα επίπεδο συμμετρίας στις μηχανικές ιδιότητες, ενώ τα ορθότροπα έχουν τρία επίπεδα συμμετρίας όσο αναφορά της μηχανικής ιδιότητες. Η αντίθετη κατάσταση των ανισοτροπικών είναι τα ισοτροπικά. Τα σύνθετα πολύστρωτα υλικά είναι συχνά ανισοτροπικά.

Η αστοχία των σύνθετων είναι πιο πολύπλοκη σε αντίθεση με τα μέταλλα. Στα σύνθετα η αστοχία μπορεί να εμφανιστεί με τη μορφή ρωγμών, κόπωσης, θραύση και διάβρωσης. Για την μελέτη πρόβλεψης των διάφορων αστοχιών χρησιμοποιούνται τα πολυαξονικά κριτήρια αστοχίας. Η αιτία χρήσης των πολυαξονικών κριτηρίων είναι οι διάφορες στρώσεις και κατευθύνσεις τους, που περιλαμβάνει ένα σύνθετο.



$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_x \cos^2 \theta \\ \sigma_2 &= \sigma_x \sin^2 \theta \\ \tau_{12} &= -\sigma_x \sin \theta \cos \theta\end{aligned}$$

Για κάθε κριτήριο αστοχίας, εφαρμόζεται ένα φορτίο εκτός των αξόνων των φύλλων. Στην Εικόνα 40 η σχεϊναι η μονοαξονική τάση μετατρέπεται σε διαξονική ώστε να αναλυθεί σύμφωνα με τη διεύθυνση των ινών. Έτσι συγκρίνεται η μονοαξονική κατάσταση με την πολυαξονική. Τα πιο συνηθισμένα κριτήρια είναι τα κριτήρια Μέγιστης τάσης και Μέγιστης παραμόρφωσης, το κριτήριο Tsai Hill, το κριτήριο Tsai Wu και τα κριτήρια Hashin. Περεταίρω πληροφορίες θα αναφερθούν παρακάτω. [63], [64]

Εικόνα 40 Πολυαξονική τάση

4.2.3.1 Κριτήριο αστοχίας Μέγιστης Τάσης και Μέγιστης παραμόρφωσης

Το κριτήριο αστοχίας της μέγιστης τάσης/παραμόρφωσης βασίζεται στο ότι η αστοχία εμφανίζεται σε μία στρώση, όταν οποιαδήποτε από τις διευθύνσεις της ίνας, της μήτρας ή η διατμητική τάση/παραμόρφωση υπερβούν το επιτρεπτό όριο. Το κριτήριο αυτό εκφράζεται ως εξής:

$$\frac{|\sigma_1|}{|X|} = 1; \frac{|\sigma_{21}|}{|Y|} = 1; \frac{|\tau_{12}|}{|S|} = 1; \quad (4.8)$$

$$\frac{|\epsilon_1|}{|X_\epsilon|} = 1; \frac{|\epsilon_2|}{|Y_\epsilon|} = 1; \frac{|\gamma_{12}|}{|S_\epsilon|} = 1; \quad (4.9)$$

Όπου,

σ_1, σ_2 , και τ_{12} , είναι η διεύθυνση της ίνας, η διεύθυνση της μήτρας και η διατμητική τάση/παραμόρφωση στη μία στρώση

X, Y και S είναι οι επιτρεπόμενες διαμήκες, εγκάρσιες και διατμητικές τάσεις.

Η διαμήκη και εγκάρσια επιτρεπόμενη τάση ή παραμόρφωση, X_t, Y_t και X_c, Y_c , είναι επιτρεπτές φορτίσεις αν οι τάσεις ή οι παραμορφώσεις είναι μεγαλύτερες του μηδενός και η θλίψη (compression) είναι επιτρεπτή, αν δεν υπάρχει κάτι άλλο. Το κριτήριο αστοχίας της μέγιστης τάσης ή παραμόρφωσης δεν λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση μεταξύ των τάσεων/παραμορφώσεων. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε σφάλματα στις προβλέψεις των φορτίσεων όταν οι πολυαξονικές καταστάσεις της τάσης εμφανίζονται σε μία δομή [71].

4.2.3.1 Κριτήριο Tsai-Wu και Tsai-Hill

Το κριτήριο αστοχία Tsai-Hill βασίζεται στο κριτήριο διαρροής για τα ανισοτροπικά υλικά. Εκφράζεται ως:

$$\left(\frac{\sigma_1}{X}\right)^2 - \frac{\sigma_1\sigma_2}{X^2} + \left(\frac{\sigma_2}{Y}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{S}\right)^2 \leq 1 \quad (4.10)$$

Το κριτήριο Tsai-Hill εφαρμόζεται σε επίπεδο στρώσης, και περιγράφει μία ομαλή ελλειπτική περιβάλλουσα αστοχία. Για να εισαχθεί η αλληλεπίδραση της τάσης και της δύναμης/αντοχής στις κατευθύνσεις της ίνας και της μήτρας, το κριτήριο Tsai-Hill γενικεύτηκε στο κριτήριο του Tsai-Wu. Το κριτήριο αυτό εκφράζεται ως εξής:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_3\tau_{12} + F_4\sigma_1^2 + F_5\sigma_2^2 + F_6\tau_{12}^2 + F_7\sigma_1\sigma_2 = 1 \quad (4.11)$$

Όπου,

$$F_1 = \frac{1}{X^t} + \frac{1}{X^c}; F_2 = \frac{1}{Y^t} + \frac{1}{Y^c}; F_3 = 0 \quad (4.12)$$

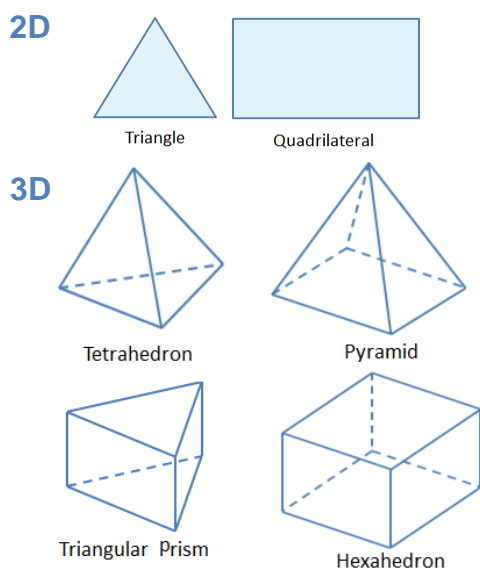
$$F_4 = \frac{1}{X^t X^c}; F_5 = \frac{1}{Y^t Y^c}; F_6 = \frac{1}{S^2} \quad (4.13)$$

$$F_7 = \frac{1}{2Y^t} [1 - (F_1 + F_2)Y^t] - (F_4 + F_5)(Y^t)^2 \quad (4.14)$$

Είναι εμφανές από τις εξισώσεις πως τα κριτήρια Tsai-Hill και Tsai-Wu δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα όταν η επιτρεπόμενη τάση είναι ίση με την επιτρεπόμενη θλίψη (compression). [65]

$$X^t = X^c \text{ και } Y^t = Y^c \quad (4.15)$$

4.2.4 Πεπερασμένα στοιχεία



Εικόνα 41 Μορφές στοιχείων υπολογιστικού πλέγματος

Η ανάλυση μιας κατασκευής σε πεπερασμένα στοιχεία γίνεται όλο και πιο αναγκαία με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Είναι μία αριθμητική μέθοδος που επιλύει προσεγγιστικά εξισώσεις μερικών διαφορικών. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των σχημάτων δεν επιλέγεται η αναλυτική επίλυση των προβλημάτων, αλλά η προσεγγιστική. Αν και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι προσεγγιστική, είναι όμως αξιόπιστη. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής θα λέγαμε πως είναι το υπολογιστικό κόστος. Με την εξέλιξη των υπολογιστών όμως αυτό τείνει να ξεπεραστεί.

Για την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων ο επιλυτής θα πρέπει να ακολουθήσει κάποια βήματα. Αρχικά, πρέπει να σχεδιάσει σε τρισδιάστατη μορφή (CAD) το μοντέλο προς ανάλυση. Έπειτα το πιο κρίσιμο και σημαντικό βήμα είναι ο χωρισμός του μοντέλου σε πεπερασμένα στοιχεία (πλέγμα). Στη συνέχεια, μελετά και ορίζει το πρόβλημα

σύμφωνα με τα δεδομένα που υπάρχουν (εδράσεις, δυνάμεις, ταχύτητες κλπ). Τέλος, επιλύει το πρόβλημα και εξετάζει τα αποτελέσματα της επίλυσης.

Αναλυτικά, αφού ο επιλυτής εισάγει το μοντέλο στο υπολογιστικό πρόγραμμα προχωρά στη δημιουργία του πλέγματος. Εξαιρεση αποτελούν οι περιπτώσεις των συναρμολογημένων μοντέλων (assembly), όπου απαιτείται ο καθορισμός των επαφών όσο αναφορά τα σημεία επαφής των εξαρτημάτων αλλά και τη συμπεριφορά της επαφής (τριβώδεις, σύνδεση μεταξύ των εξαρτημάτων, χωρίς τριβή κ.α.).

Υπάρχουν διάφορες μορφές πεπερασμένων στοιχείων για τη γένεση του κατάλληλου πλέγματος. Καθεμιά από αυτές χρησιμοποιείται ανάλογα με τον τύπο της ανάλυσης, αν δηλαδή απαιτείται δισδιάστατη (2D) ή τρισδιάστατη ανάλυση (3D). Ως επί το πλείστον στις τρισδιάστατες αναλύσεις χρησιμοποιούνται πολυεδρικά στοιχεία, ενώ στις δισδιάστατες τρίγωνα ή τετράπλευρα (Εικόνα 41). Όσο πιο μικρά τα στοιχεία του πλέγματος τόσο πιο πυκνό και ακριβές είναι το πλέγμα. Πυκνότερο πλέγμα όμως σημαίνει μεγάλο υπολογιστικό κόστος, ενώ αραιό πλέγμα σημαίνει μείωση της ακρίβειας. Συνεπώς, απαιτείται ισορροπία του μεγέθους των στοιχείων. Για την επίτευξη της ισορροπίας αυτής υπάρχει δυνατότητα αξιολόγησης του πλέγματος. Η αξιολόγηση γίνεται βάση κάποιων κριτηρίων, όπως το κριτήριο της αναλογίας των διαστάσεων (Aspect ratio), του συντελεστή στρέβλωσης (Warping factor), της ποιότητας των στοιχείων (element quality) και πολλών άλλων.

Το επόμενο στάδιο είναι ο ορισμός των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών των εξαρτημάτων. Έπειτα ακολουθεί, η φυσική αποτύπωση του προβλήματος ή αλλιώς ο ορισμός των συνοριακών συνθηκών. Συνοριακές συνθήκες μπορεί να είναι οι δυνάμεις, οι ροπές, η ταχύτητα, καθώς και οι εδράσεις. Πριν την επίλυση όμως του προβλήματος θα πρέπει ο αναλυτής να αποφασίσει για τον τρόπο επίλυσης του προβλήματος, αν δηλαδή το πρόβλημα του είναι γραμμικό ή μη γραμμικό. Τέλος, επιλύει το πρόβλημα και μελετά την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

4.2.5 Εργαλείο αστοχίας συνθέτων υλικών

Για τη μελέτη της αστοχίας των συνθέτων υλικών στο πρόγραμμα Ansys χρησιμοποιείται το εργαλείο αστοχίας των συνθέτων υλικών (Composite failure tool). Αυτό γίνεται όταν ο αναλυτής έχει χρησιμοποιήσει το υποπρόγραμμα ACP Composite Pre-Post. Ουσιαστικά είναι μία επιλογή του μετά-επεξεργαστή, που χρησιμοποιείται για μοντέλα συνθέτων υλικών που μοντελοποιήθηκαν σε αυτά τα υποπρογράμματα. Η επιλογή αυτή επιτρέπει στο χρήστη να διαμορφώσει το δικό του συνδυαστικό κριτήριο αστοχίας, για την εκτίμηση της αντοχής του συνθέτου υλικού. Για παράδειγμα με αυτή τη επιλογή θα μπορούσε κανείς να επιλέξει την μελέτη αντοχής βάση των κριτηρίων αστοχίας της μέγιστης τάσης και της μέγιστης παραμόρφωσης.

Τα αποτελέσματα της επιλογής αυτής εμφανίζονται σύμφωνα την χρήση του συντελεστή ασφαλείας του Inverse reserve factor και του Safety Margin. Αναλυτικά στοιχεία θα αναφερθούν παρακάτω.

- **Safety factor**

Αυτό ο τύπος αποτελεσμάτων είναι μία ένδειξη του περιθωρίου που έχει κανείς για αστοχία. Εκφράζεται ως εξής,

$$S_F \cdot F_{applied} = F_f \quad (4.16)$$

Πρόκειται το λόγο αντοχής τους υλικού προς την μέγιστη φόρτιση που δέχεται το μοντέλο. Έτσι, όταν ο συντελεστής ασφαλείας είναι μεγαλύτερος της μονάδας υπάρχει περιθώριο για αστοχία. Όσο μεγαλύτερος τόσο το καλύτερο. Αντίθετα, αν είναι μικρότερος της μονάδας υπάρχει αστοχία. Να σημειωθεί πως δεν μπορεί να είναι μηδέν, καθώς η δύναμη αντοχή του υλικού δεν μπορεί να είναι μηδέν. Άρα ο συντελεστής ασφαλείας είναι πάντα μεγαλύτερος του μηδενός.

- **Inverse reserve factor**

Τα αποτελέσματα που παράγονται με αυτόν τον συντελεστή είναι το αντίστροφο του συντελεστή ασφαλείας. Αναλυτικά, οι κρίσιμες τιμές των αποτελεσμάτων για αστοχία μπορεί να πάρουν τιμές από 0 έως 1. Ενώ η μη κρίσιμες μπορεί να είναι μεταξύ του 1 και του άπειρου. Ο συντελεστής αυτός εκφράζεται με τη βοήθεια της παρακάτω σχέσης:

$$IRF = \frac{1}{S_F} \quad (4.17)$$

- **Safety Margin**

Το αποτέλεσμα του Safety Margin προκύπτει από τον συντελεστή ασφαλείας, αφού για την εύρεση του αφαιρείται από το συντελεστή ασφαλείας η μονάδα.

$$S_M = S_F - 1 \quad (4.18)$$

Όταν S_M είναι μικρότερος του μηδενός, τότε παρατηρείται αστοχία. Η σχετική ποσότητα μείωσης ή αύξησης του φορτίου υποδεικνύεται με το Safety margin. Συνήθως εκφράζεται με ποσοστό.

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ExoGaitOR ΣΤΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ANSYS

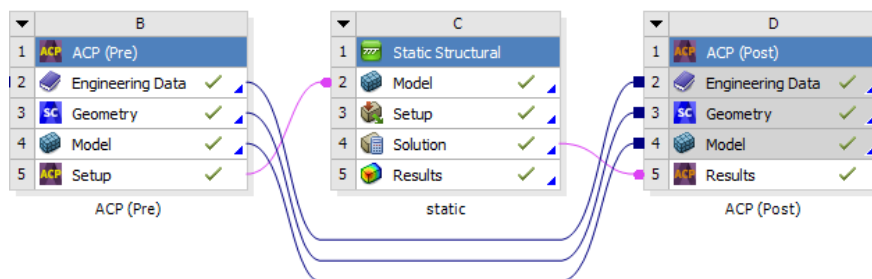


Εικόνα 42 Λογότυπο Ansys

Για την ανάλυση της αντοχής του κνημοποδικού νάρθηκα ExoGaitOR χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πρόγραμμα Ansys. Πιο συγκεκριμένα, το Ansys είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης μηχανικών διεργασιών, που καλύπτει πολλούς τομείς. Παρέχει ένα ευρύ φάσμα μελετών, όπως στατικών, δυναμικών, μελετών ροής κ.α.. Το πρόγραμμα αυτό αναλύει την απαιτούμενη διεργασία χρησιμοποιώντας την επιστήμη των πεπερασμένων στοιχείων. Πρώτα όμως θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο, γεωμετρία. Παρακάτω θα αναλυθούν συνοπτικά τα βήματα.

4.3.1 Ανάλυση αντοχής κηδεμόνα

Για την ανάλυση αντοχής του κηδεμόνα, ο οποίος πρόκειται να κατασκευαστεί από σύνθετα υλικά, απαιτείται διαφορετική διαδικασία. Αναλυτικά για την επιπρόσθετη εξέταση των στρώσεων του συνθέτου υλικού χρησιμοποιήθηκαν τα υποπρογράμματα ACP-Pre και ACP-Post (Εικόνα 46).

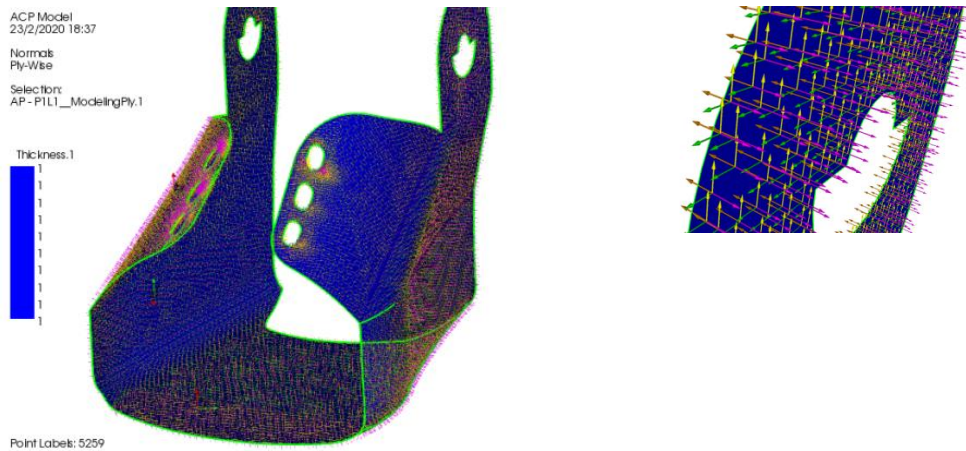


Εικόνα 43 Διαδικασία ανάλυσης συνθέτων

Συνοπτικά, η διαδικασία που ακολουθείται για τη στατική ανάλυση μιας κατασκευής από σύνθετα υλικά παρατηρείται παραπάνω. Αρχικά, επιλέγονται τα υλικά τα οποία θα χρησιμοποιηθούν κατά την κατασκευή (Engineering Data). Έπειτα, εισάγεται η τρισδιάστατη γεωμετρία (Geometry) και ρυθμίζεται κατάλληλα το μοντέλο (Model). Δημιουργείται δηλαδή, το πλέγμα (Mesh) και ομαδοποιούνται οι επιφάνειες με κοινά χαρακτηριστικά (Name selection). Τα χαρακτηριστικά αυτά αφορούν τον αριθμό των στρώσεων, τη φορά των στρώσεων, τη γεωμετρία των επιφανειών κ.α.. Στη συνέχεια εισάγονται οι στρώσεις με τη βοήθεια της ομαδοποίησης, πριν όμως είναι απαραίτητος ο ορισμός της φοράς των στρώσεων (Εικόνα 44) και έπειτα ο αριθμός τους.

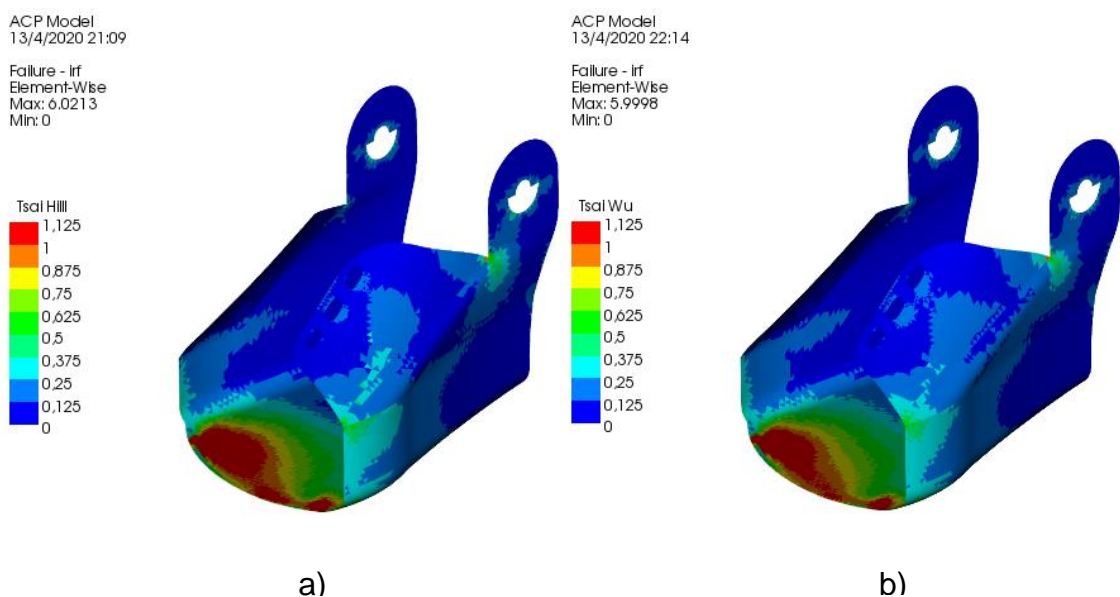
Στο πεδίο της στατικής ανάλυσης (Static Structural) εισάγονται οι συνοριακές συνθήκες. Αναλυτικά, οι συνθήκες αυτές καθορίζουν το πρόβλημα που απαιτείται να

επιλυθεί. Με άλλες λόγια ορίζονται οι εδράσεις και οι δυνάμεις του προβλήματος προς επίλυση. Σε επόμενο στάδιο το πρόβλημα επιλύεται (Solution) και τα λαμβάνονται τα αποτελέσματα ACP-Post.



Εικόνα 44 Βοηθητικά βελάκια για τη μοντελοποίηση του συνθέτου

Για το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε Epoxy Carbon Woven (230 GPa) Wet. Για να την επιλογή του αριθμού των στρώσεων έγιναν υπολογιστικά πειράματα ώστε να αποφασιστεί ο κατάλληλος αριθμός στρώσεων. Χρησιμοποιήθηκαν αρχικά, τρεις στρώσεις συνθέτου σε όλο τον νάρθηκα και στα σημεία υψηλών τάσεων μία επιπλέον. Αποδείχθηκε όμως πως δεν ήταν αρκετό για την εφαρμογή αυτή, και αυτό μπορεί να διαπιστωθεί από τα κριτήρια αστοχία των συνθέτων υλικών(Εικόνα 45). Έτσι, εφαρμόστηκαν με τρεις στρώσεις σε γωνίες 0/90/0 σε όλες τις επιφάνειες εκτός του κάτω μέρους και στο σημείο σύνδεσης του κινητήρα (Εικόνα 46), όπου εκεί εφαρμόστηκαν πέντε στρώσεις (0/90/0/90).



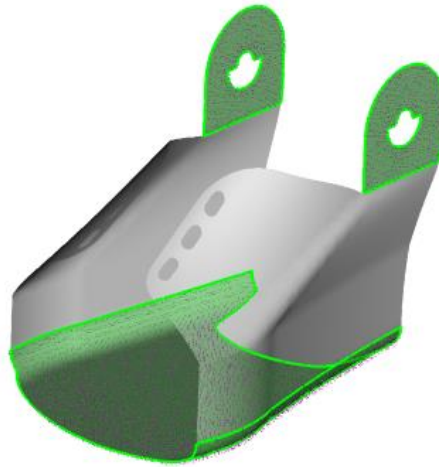
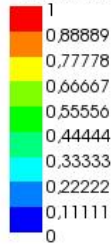
Εικόνα 45 Απεικόνιση της αστοχίας σύμφωνα με τα κριτήρια TsaiHill και TsaiWu των συνθέτων υλικών

ACP Model
13/4/2020 19:32

Thickness
Element-Wise
Unit: mm

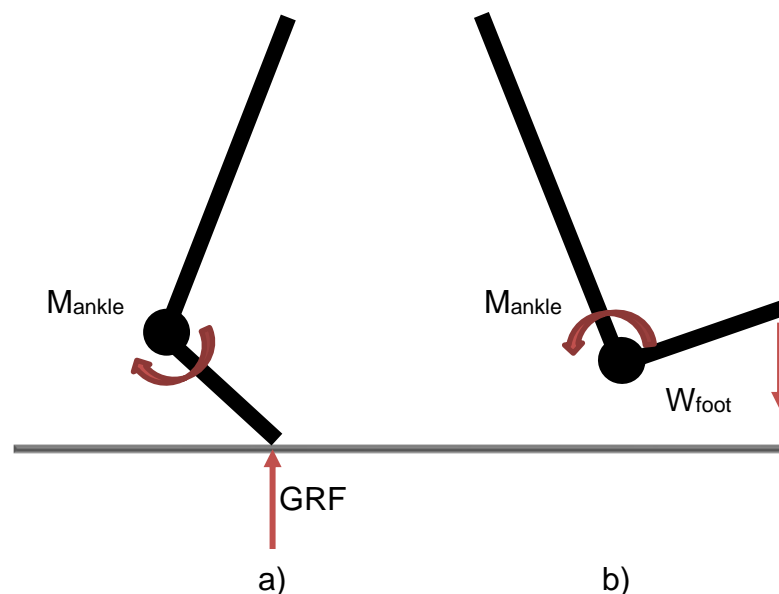
Selection:
MP - ModellingPly.5

Thickness.1



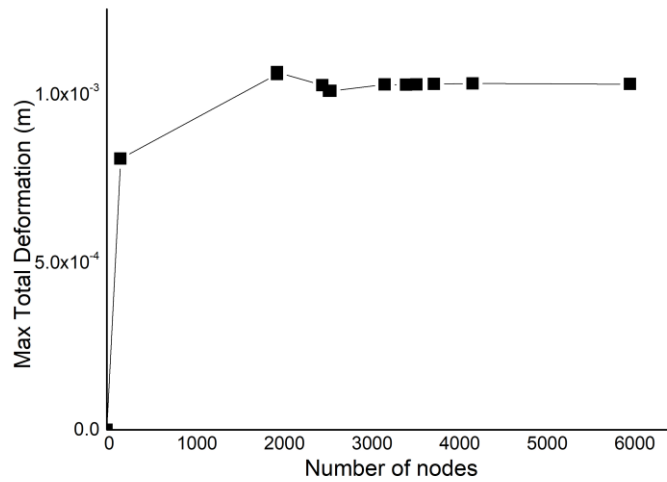
Εικόνα 46 Σημεία όπου εφαρμόζονται τέσσερις στρώσεις

Εξετάστηκαν δύο βασικές φάσεις βάδισης, η φάση στην οποία η πτέρνα έρχεται σε επαφή με το έδαφος-αρχική επαφή και η φάση στην οποία τα δάκτυλα έρχονται σε επαφή με το έδαφος-τελική στήριξη. Αντίστοιχα, στη φάση της τελικής στήριξης και της επαφής της πτέρνας στο έδαφος. Οι δυνάμεις που ασκούνται είναι ίσες με την αντίδραση του εδάφους (GRF), αλλά με διαφορετικές φορές (Εικόνα 47) η κάθε μία. Στην περίπτωση της ανάλυσης της αντοχής λαμβάνεται υπ' όψιν όλη η αντίδραση του εδάφους. Συνεπώς, $F_{T\Sigma}=1020\text{ N}$, και $F_{AE}=-1020\text{ N}$. Παρακάτω θα επεξηγηθεί η αντοχή του νάρθηκα στις δύο αυτές περιπτώσεις. Η μελέτης της αστοχίας έγινε με το εργαλείο αστοχίας των σύνθετων υλικών (Composite Failure Tool) που περιλαμβάνει το Ansys και με το ACP post μελετώντας περαιτέρω την κατασκευή με τα κριτήρια των συνθέτων υλικών.



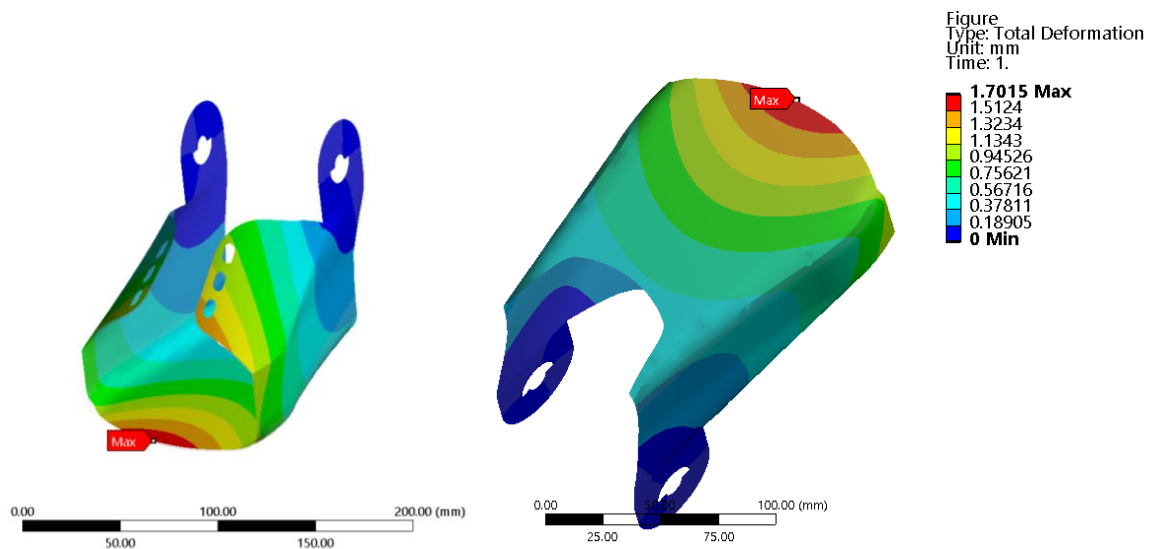
Εικόνα 47 Φορές GRF και M_α

Πριν όμως εμπιστευθεί κανείς τα αποτελέσματα που θα του εμφανίσει το πρόγραμμα θα πρέπει να ελέγξει και να περιορίσει τα υπολογιστικά σφάλματα. Είναι γνωστό ότι τα υπολογιστικά σφάλματα ευθύνονται στον τρόπο γένεσης του πλέγματος. Έτσι, ένας τρόπος ελέγχου είναι να κάνει μία μελέτη ανεξαρτησίας του πλέγματος, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.

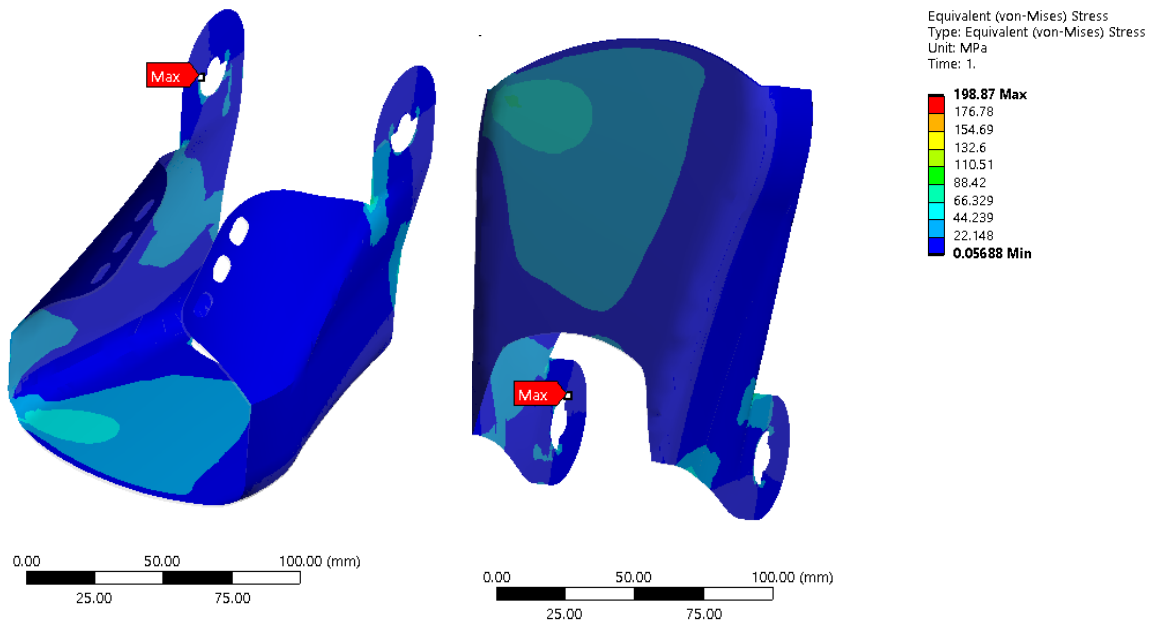


Εικόνα 48 Μελέτη ανεξαρτησίας του πλέγματος

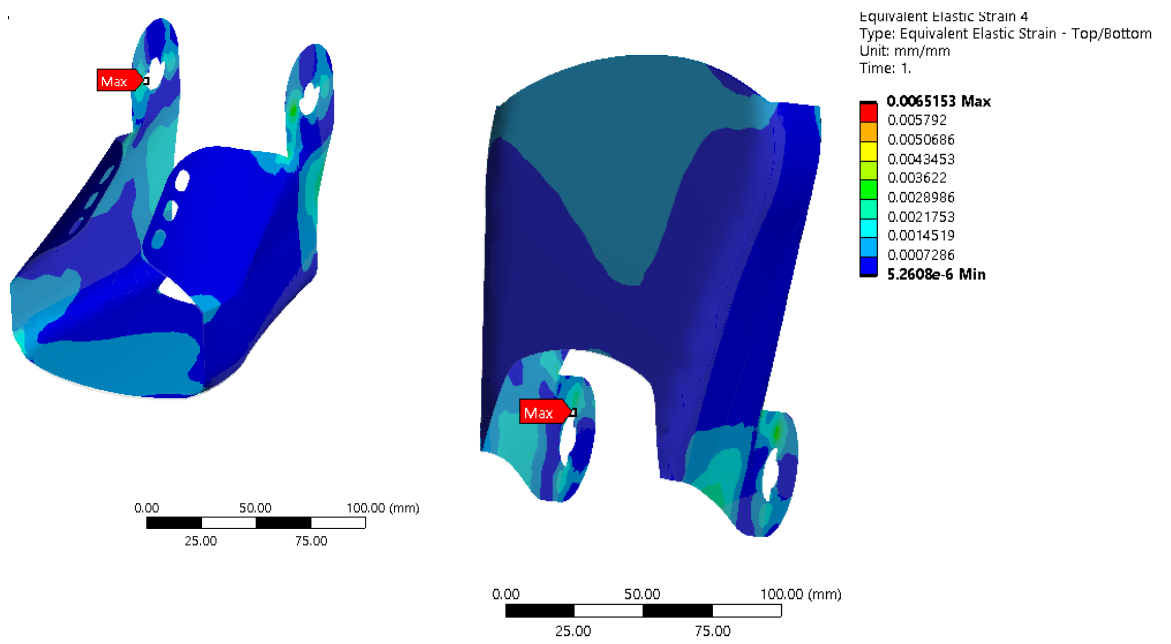
- Κατά την επαφή των δαχτύλων (toe off)



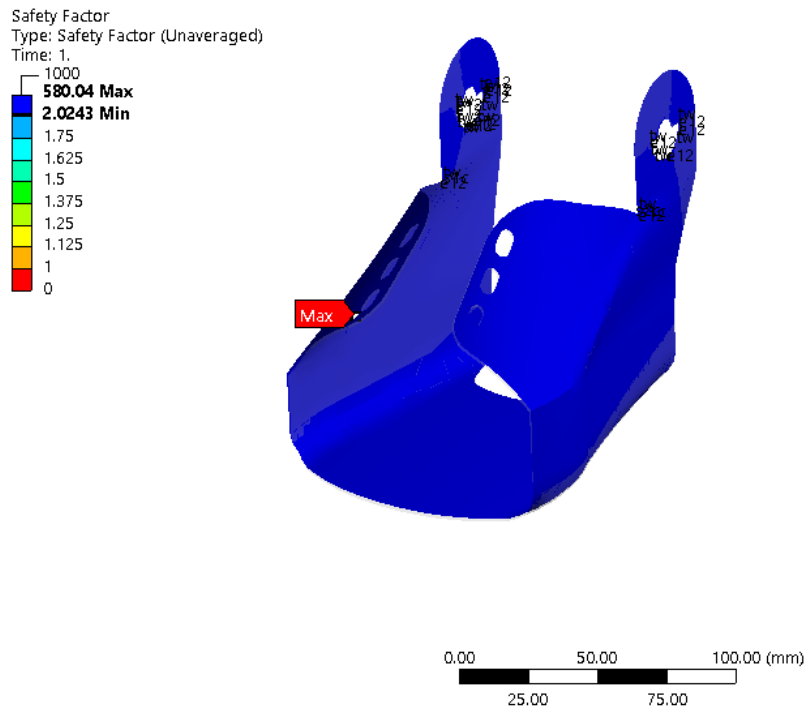
Εικόνα 49 Διάγραμμα ολικής παραμόρφωσης



Εικόνα 50 Διάγραμμα ισοδύναμης τάσης κατά Von-mises

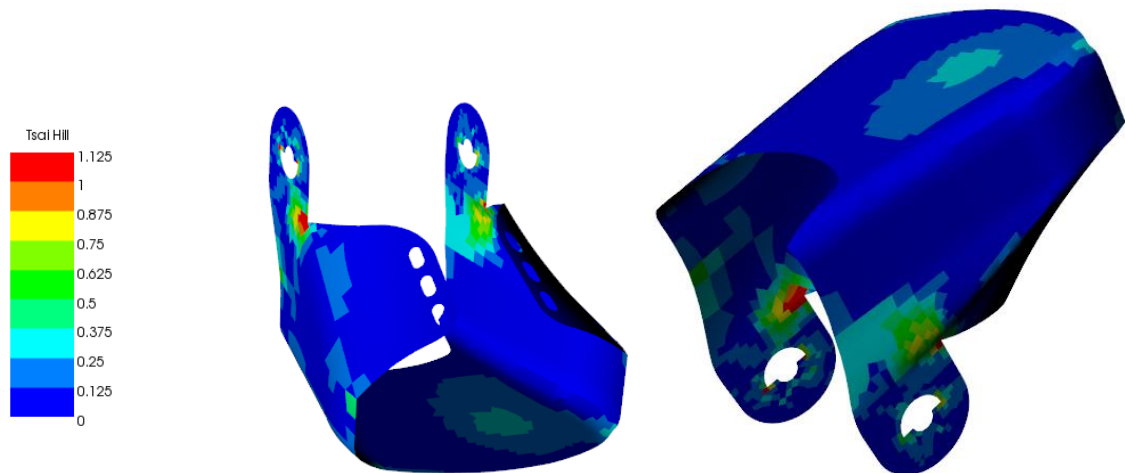


Εικόνα 51 Διάγραμμα ισοδύναμης ελαστικής παραμόρφωσης κατά Von-mises



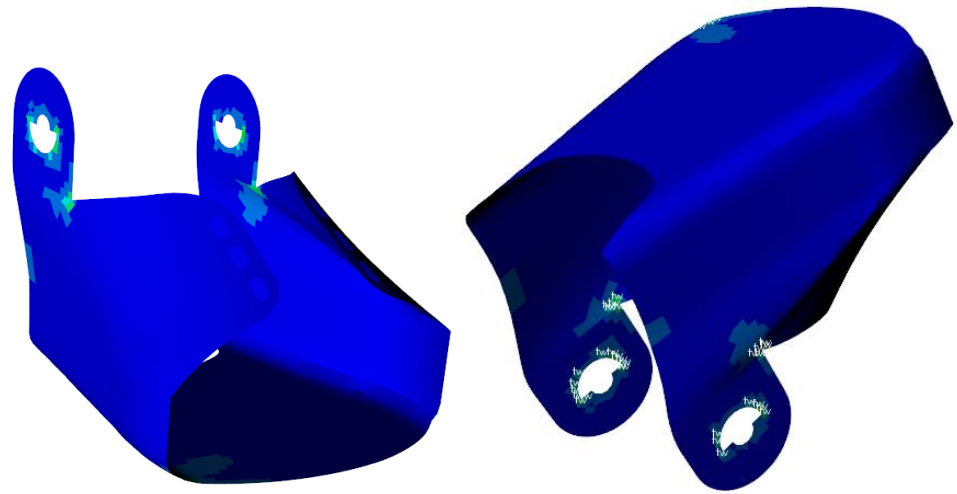
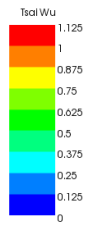
Εικόνα 52 Διάγραμμα συντελεστή ασφαλείας (safety factor)

ACP Model
 27/11/2022 03:30
 Failure - Irf
 Element-Wise
 Max: 3.1711
 Min: 0



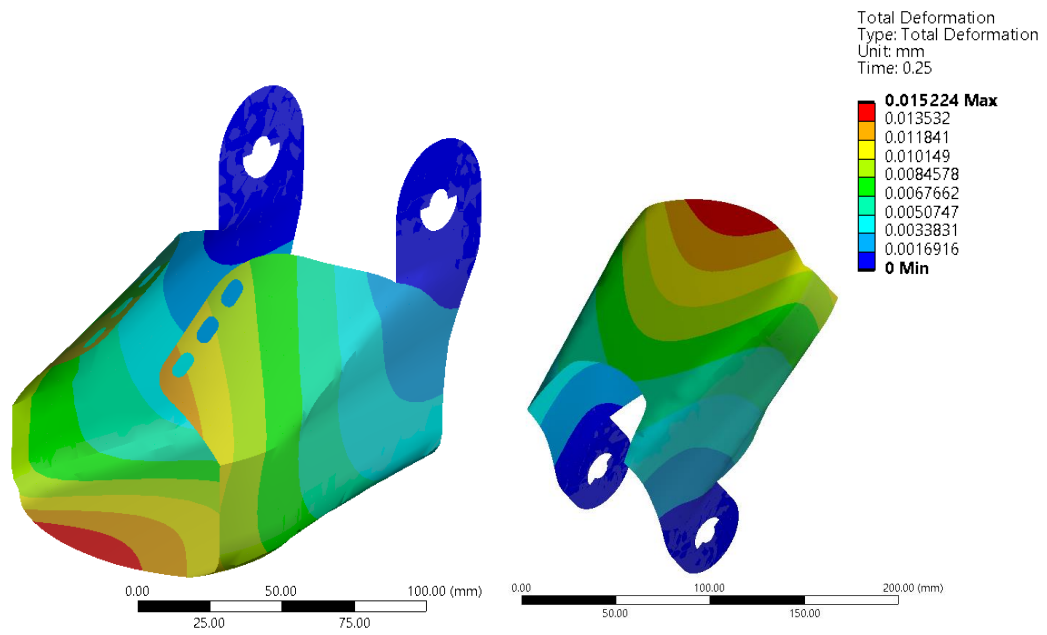
Εικόνα 53 Διάγραμμα ExoGaitOR βάση του κριτηρίου αστοχίας Tsai Hill

ACP Model
27/11/2022 03:43
Failure - 1f
Element-Wise
Max: 0.51621
Min: 0.0013001

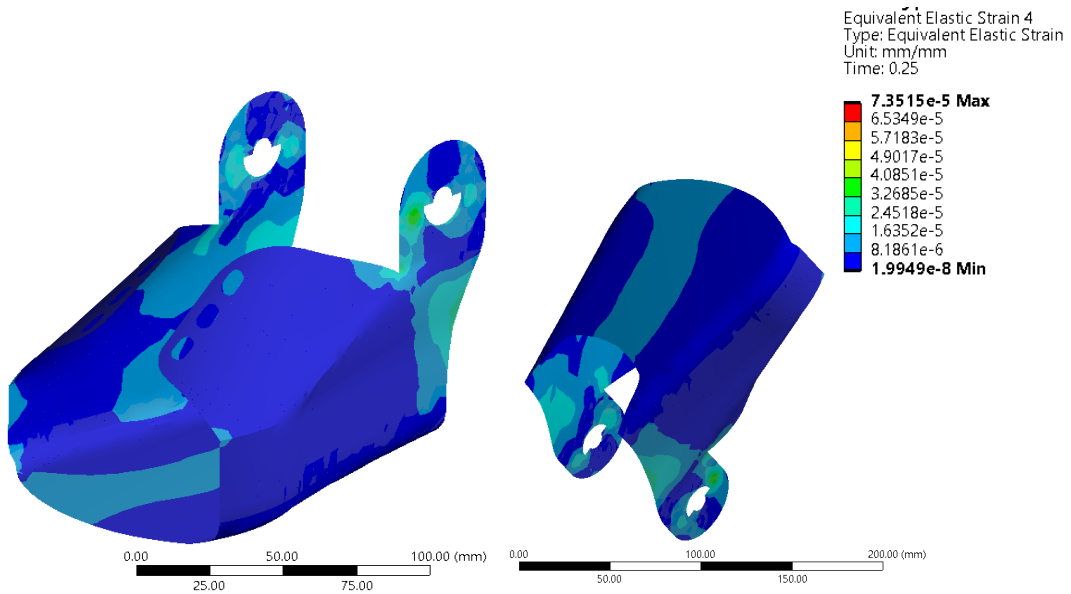


Εικόνα 54 Διάγραμμα ExoGaitOR βάση του κριτηρίου αστοχίας Tsai Wu

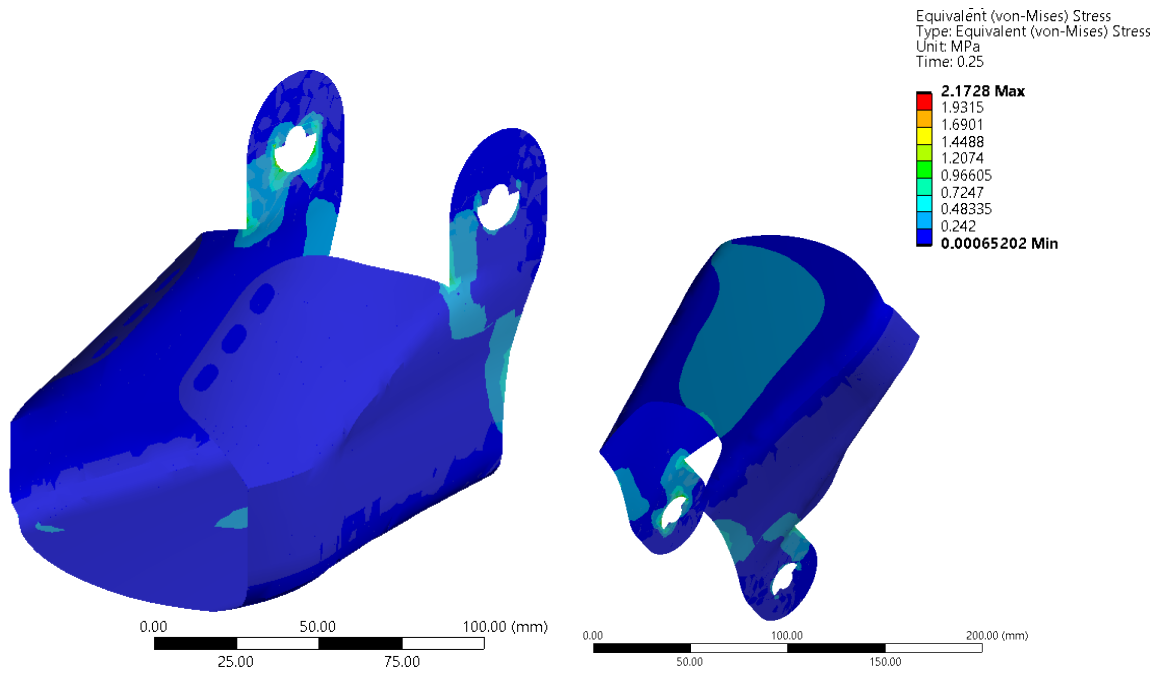
- Φάση αιώρησης (swing phase)



Εικόνα 55 Διάγραμμα ολικής παραμόρφωσης



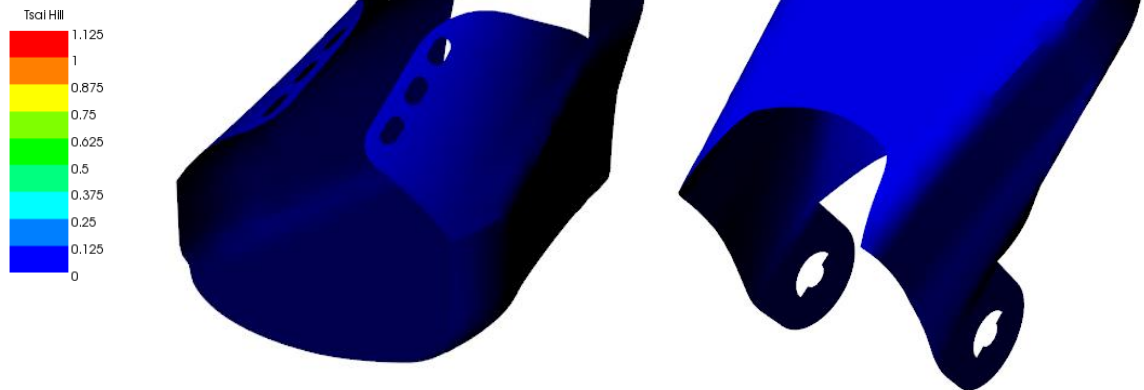
Εικόνα 56 Διάγραμμα ισοδύναμης ελαστικής καταπόνησης κατά Von Mises



Εικόνα 57 Διάγραμμα ισοδύναμη τάσης η κατά Von-mises

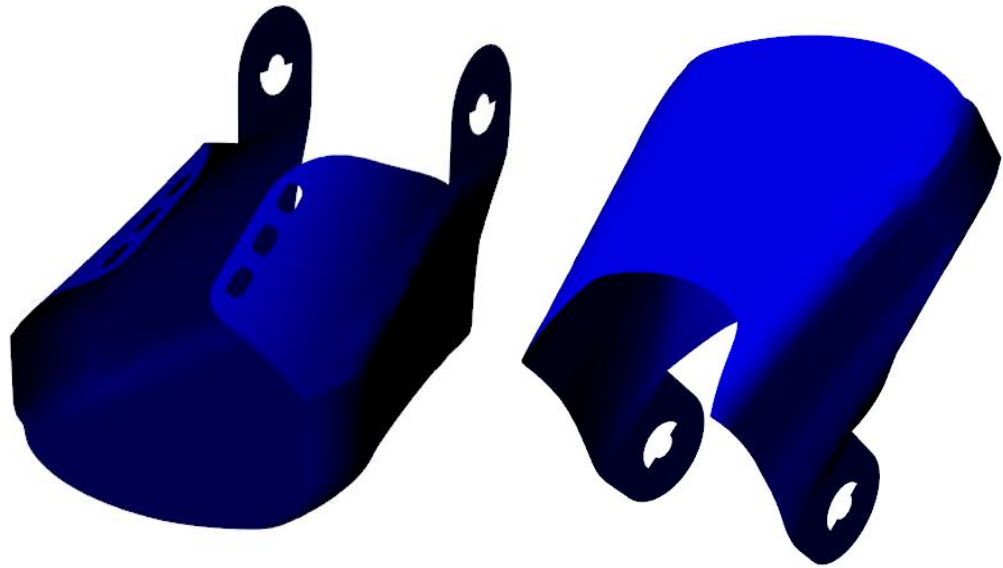
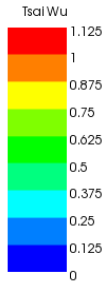
ACP Model
 04/12/2022 16:20

Failure - Irf
 Element-Wise
 Max: 0.033932
 Min: 0



Εικόνα 58 Διάγραμμα ExoGaitOR βάση του κριτηρίου αστοχίας Tsai Hill

ACP Model
04/12/2022 16:26
Failure - Irf
Element-Wise
Max: 0.0061421
Min: 1.2391e-05



Εικόνα 59 Διάγραμμα ExoGaitOR βάση του κριτηρίου αστοχίας Tsai Wu

Παραπάνω φαίνονται τα αποτελέσματα της στατικής ανάλυσης του ποδοκνημικού κηδεμόνα ExoGaitOR. Τα κριτήρια στα οποία βασίστηκε η μελέτη Αυτή είναι ισοδύναμης τάσης και παραμόρφωση κατά Von Mises και κριτήρια αστοχίας των συνθετικών υλικών.

Παρατηρείται πως δεν υπάρχουν μεγάλες τιμές ολικής παραμόρφωσης, αφού η μέγιστη τιμή ολικής παραμόρφωσης είναι 1.7 mm κάτι που είναι απόλυτα αποδεκτό. Έπειτα είναι λογικό να παρατηρηθούν αυξημένες τάσεις στα σημεία της έδρασης εκεί δηλαδή που βρίσκεται ο αστράγαλος και στα σημεία που εφαρμόζονται κατά περίπτωση οι δυνάμεις.

Συγκρίνοντας τις δύο περιπτώσεις βάδισης, όταν δηλαδή όταν ακουμπάν τα δάχτυλα στο έδαφος και κατά της φάση αιώρησης, παρατηρείται πως η δυσμενέστερη περίπτωση είναι κατά τη φάση της προ-αιώρησης. Αυτό συμβαίνει λόγω της μεγαλύτερης δύναμης που ασκείται κατά τη φάση αυτή, βάσει των παραπάνω διαγραμμάτων (Εικόνα 16). Επίσης, κατά τη φάση της αιώρησης η μόνη δύναμη που ασκείται στο νάρθηκα είναι το βάρος του πέλματος και το βάρος ενός παπουτσιού. Εμφανώς, πιο μικρή δύναμη από την αντίδραση του εδάφους.

Σύμφωνα με τα κριτήρια στοιχεία των σύνθετων υλικών παρατηρούνται σημεία τα οποία έχουν αυξημένες τάσεις και ίσως και μεγάλο λόγο σχεδιασμού. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας σφαλμάτων της γεωμετρίας και των απότομων καμπυλών που μπορεί να έχει σε αυτά τα σημεία. Επίσης, όταν υπάρχουν μεμονωμένα στοιχεία που εμφανίζουν απότομη αλλαγή μπορεί να οφείλεται και σε ανακρίβεια του υπολογιστικού πλέγματος.

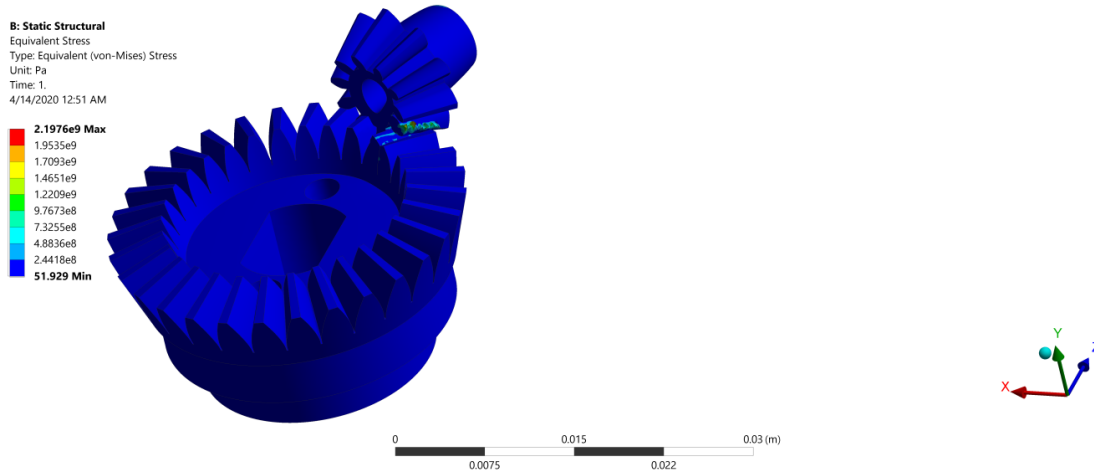
Τέλος σύμφωνα με τον συντελεστή ασφαλείας ο οποίος είναι σίγουρα μεγαλύτερος από ενάμιση διαπιστώνεται πως δεν τίθεται θέμα αστοχίας στον νάρθηκα.

4.3.2 Ανάλυση αντοχής μηχανισμού ExoGaitOR

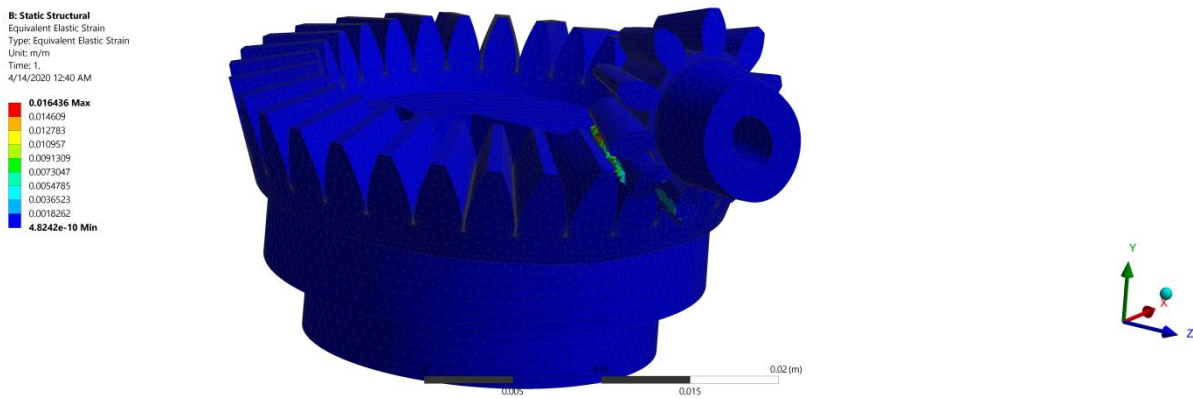
Ο μηχανισμός όπως αναφέρθηκε αποτελείται από κωνικά γρανάζια κατασκευασμένα από δομικό χάλυβα (Structural steel). Μετέπειτα, θα εξεταστεί το ενδεχόμενο κατασκευής τους από υλικά ικανά να μπορούν να παραχθούν από τριδιάστατο εκτυπωτή.

Όταν πρόκειται για ανάλυση αντοχής ενός μεταλλικού υλικού η διαδικασία είναι πιο απλή. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται μόνο το πεδίο του Static Structural (Εικόνα 46) και δεν χρησιμοποιούνται τα Acp-pre και Acp-Post.

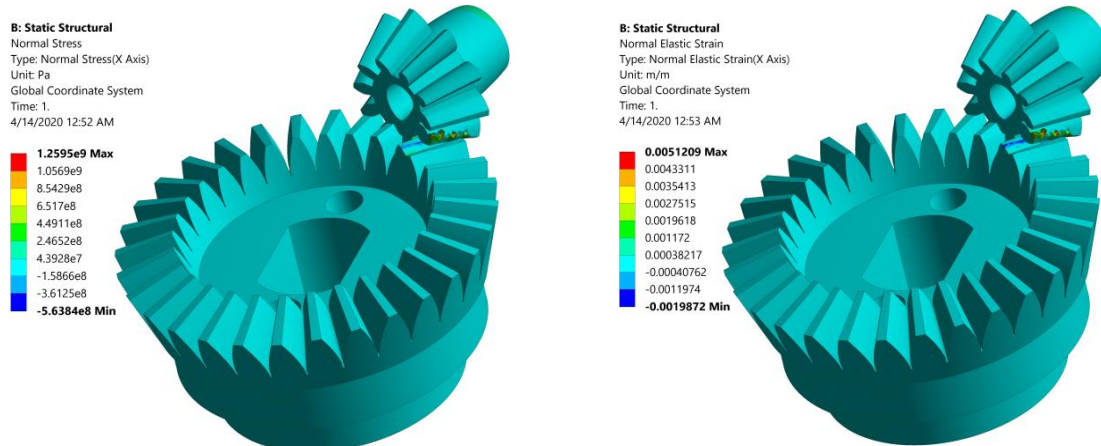
Για τις απαιτήσεις της στατικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν δύο εδράσεις και εφαρμόστηκε η ροπή που προσφέρεται από το σερβοκινητήρα, που είναι ίση με 1.5 Nm.



Εικόνα 60 Απεικόνιση ισοδύναμων τάσεων κατά Von Misses



Εικόνα 61 Ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση κατά Von Misses



Εικόνα 62 Απεικονίσεις ορθής τάσης και παραμόρφωσης

Συμφώνα με τις παραπάνω απεικονίσεις δεν τίθεται θέμα αστοχίας ούτε στα γρανάζια. Παρατηρούνται παραπάνω τάσεις και παραμορφώσεις στα σημεία στα οποία τα δόντια του πινιόν έρχονται σε επαφή με τα δόντια του άλλου γραναζιού. Οι παραμορφώσεις που διακρίνουμε είναι σχεδόν αμελητέες, αφού η μέγιστη που μπορεί να αναπτυχθεί είναι της τάξης του μισού χιλιοστού.

Επειδή πρόκειται για τριασδιάστατη γεωμετρία το υπολογιστικό φορτίο είναι πολύ μεγαλύτερο, έτσι δεν καταφέραμε να δημιουργήσουμε πολύ αξιόπιστο πλέγμα εξαιτίας του εξοπλισμού που διαθέταμε. Συνεπώς, κάποια σημεία πιθανότατα να παρουσιάζουν αστοχία αλλά να μην υπάρχει. Όμως, δεδομένου ότι η ροπή που έχει εφαρμοστεί είναι 1,5 Nm, μικρή δηλαδή σε μέγεθος, δεν τίθεται θέμα ασφάλειας του μηχανισμού.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Η λέξη αισθητήρας προέρχεται από τη λέξη “αίσθηση”, η οποία αναφέρεται στη διαδικασία κατά την οποία ένας οργανισμός συλλέγει ερεθίσματα από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Ανάλογα, με τον τρόπο κατά τον οποίο ένας οργανισμός λαμβάνει κάποιο ερέθισμα, υπάρχει η αντίστοιχη κατηγοριοποίηση σε πέντε βασικές ομάδες αισθήσεων την όραση, την όσφρηση, την αφή, τη γεύση και την ακοή. Ένας ζωντανός οργανισμός έχει ανάγκη τις αισθήσεις, για τον εντοπισμό των ερεθισμάτων. Με τη βοήθεια της αντίληψης, ακολουθεί η επεξεργασία και ύστερα η δημιουργία της πληροφορίας. Η διαδικασία αυτή έχει ως στόχο την επιβίωση, καθώς αναγνωρίζοντας τον κίνδυνο, ο οργανισμός βρίσκει τρόπους για να τον αποφύγει.

5.1.1 Οι αισθητήρες στην Εμβιομηχανική

Η εμβιομηχανική ασχολείται με τη μηχανική των ζωντανών οργανισμών. Στα πλαίσια της κινησιολογίας, μελετά τις δυνάμεις των μυών και τις εξωτερικές δυνάμεις που δρουν στο σώμα, καθώς εκείνες είναι η αιτία των κινήσεων. Σε περιπτώσεις που υπάρχουν προβλήματα στην κίνηση, δίνει λύσεις με την υποβοήθηση ή την αντικατάσταση των μελών με εξωτερικούς νάρθηκες ή μοσχεύματα που είναι συμβατά με τον οργανισμό. Για κατασκευές που περιλαμβάνουν εξοπλισμό ρομποτικής απαιτείται συντονισμός του μηχανισμού και της κίνησης. Ο μηχανισμός έχει ως σκοπό να βοηθήσει να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή κίνηση. Όμως για να γίνει αυτό σωστά πρέπει πρώτα να γίνει αντιληπτή η κίνηση που πρέπει ο ασθενής να εκτελέσει, την κατάλληλη στιγμή. Για τη σωστή παρατήρηση ο ασθενής εξετάζεται ως σύστημα ή υποσύστημα (επιλέγοντας τις βασικές ομάδες των μελών, που εκτελούν την κίνηση), για να εκτελεστεί αρμονικά και με ασφάλεια η κίνηση.

Για τη συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών απαιτείται η χρήση των αισθητήρων. Οι αισθητήρες καταγράφουν τις μεταβολές που πραγματοποιούνται και μεταφέρουν τα δεδομένα αυτών των αριθμητικών μεταβολών (που αποτελούν τις πληροφορίες-ερεθίσματα) προς επεξεργασία. Καθώς συλλέγονται, αναλύονται και συγκρίνονται από τον προγραμματισμένο κώδικα, ο οποίος στην συνέχεια δίνει εντολές σε κάποιο ρομποτικό μηχανισμό, ώστε να εκτελέσει τις κατάλληλες ενέργειες.

5.1.2 Είδη αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στην εμβιομηχανική

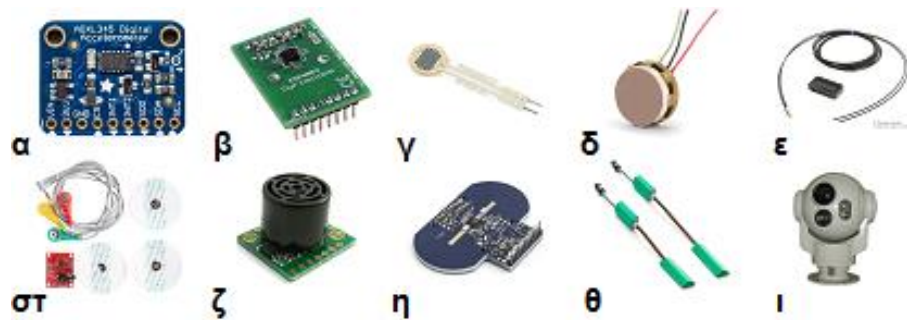
Στον τομέα της εμβιομηχανικής, υπάρχει ένας μεγάλος κατάλογος από αισθητήρες, οι οποίοι είτε μεμονωμένοι είτε ως σύστημα, κάνουν τον μηχανισμό πιο “έξυπνο” και άρα πιο εύκολο στη χρήση του, από τον ασθενή. Παρακάτω παρατίθεται μια λίστα, από τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για εμβιομηχανικές εφαρμογές (Πίνακας 12)

Πίνακας 12 Εξαρτήματα και μέθοδοι καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων [66]

Αισθητήρας	Σκοπός
Επιταχυνσιόμετρο	Είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που έχει την ικανότητα να μετρά δυνάμεις επιτάχυνσης, είτε αυτές είναι στατικές, είτε δυναμικές
Γυροσκόπιο	Είναι μια συσκευή η οποία μπορεί να διατηρεί σταθερό τον προσανατολισμό της μέσω της περιστροφής των μερών της και της αρχής της διατήρησης της στροφορμής
Αισθητήρας δύναμης	Χρησιμοποιείται για την καταγραφή μετρήσεων της δύναμης που ασκείται σε ένα σώμα σε συνάρτηση με το χρόνο
Αισθητήρας πίεσης	Συσκευή που ανιχνεύει την πίεση και συνήθως λειτουργεί ως μετατροπέας. Κατά τη λειτουργία του παράγει ένα σήμα ως συνάρτηση της επιβαλλόμενης πίεσης.
Αισθητήρας οπτικών ινών	Χρησιμοποιούν την κυματοδοτούμενη ακτινοβολία από μια οπτική ίνα, ώστε να προσδιορίσουν τη μεταβολή της τιμής μιας εξωτερικής παραμέτρου.
Ηλεκτρόδια EMG (ηλεκτρομυογραφικού σήματος)	Επιτρέπει τη μέτρηση της ηλεκτρικής δραστηριότητας των μυών του χρήστη
Αισθητήρες υπερήχων	Εκπέμπουν συνεχώς ηχητικούς παλμούς υψηλής συχνότητας προς την επιφάνεια του στόχου και ανακλώνται πίσω στον αισθητήρα. Τα ηλεκτρονικά του αισθητήρα μετρούν το χρόνο λήψης του σήματος και τον μετατρέπουν σε μονάδα μήκους
UWB (Ultra Wideband) ραντάρ	Έχει την ικανότητα να διαπερνά φυσικά αντικείμενα που στη συνέχεια αντανακλούν τα σήματα, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο πληροφορίες.
Γωνιόμετρο	Χρησιμοποιείται για να μετρήσει το εύρος της κίνησης των αρθρώσεων. Έχει δύο σκέλη που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, το ένα είναι το σταθερό και το άλλο το κινούμενο. Το κέντρο του αισθητήρα, τοποθετείται πάνω στην άρθρωση, που θα γίνει η λήψη δεδομένων.
Οπτικό σύστημα εντοπισμού	Χρησιμοποιείται για την παρατήρηση της κίνησης ενός ατόμου ή αντικειμένου και δίνει ακολυθίες δεδομένων τοποθεσίας, με χρονική σειρά.
Ανεπτυγμένοι αισθητήρες με τεχνικές χαρακτηρισμού	Μπορούν να χαρακτηρίσουν στοιχεία της βάδισης του εξεταζόμενου ατόμου.
Αισθητήρες μοντελισμού σφαλμάτων και ηλεκτρονικής βαθμονόμησης	Με τη χρήση τους παρέχεται η αξιοπιστία των παραγόμενων αποτελεσμάτων
Αλγόριθμοι αναγνώρισης ακολουθίας	Τα δεδομένα αυτόματα ταξινομούνται σε κατηγορίες ή διαχωρίζονται σε ομάδες, βάση κάποιων κριτηρίων, ακόμα και υπό την παρουσία θορύβου.

Βαθιά μάθηση	Είναι αλγόριθμοι που μπορούν να μαθαίνουν από τα δεδομένα (στην συγκεκριμένη περίπτωση, δεδομένα κινήσεων του εξεταζόμενου ατόμου) και κάνουν προβλέψεις σχετικά με αυτά.
--------------	---

Όλοι οι παραπάνω αισθητήρες, δεν χρησιμοποιούνται μόνο σε κατασκευαστικά μοντέλα, αλλά και σε μεθόδους ανάλυσης και συλλογής δεδομένων. Κάποιοι από αυτούς απεικονίζονται στην Εικόνα 63.



Εικόνα 63 α. επιταχυνσιόμετρο, β. Γυροσκόπιο, γ. Αισθητήρας δύναμης, δ. Αισθητήρας πίεσης, ε. Αισθητήρας οπτικών ινών, στ. Ηλεκτρόδια EMG, ζ. αισθητήρας υπερήχων, η. UWB ραντάρ, θ. Γωνιόμετρα και ι. Οπτικό σύστημα εντοπισμού.[67],[68],[69],[70],[71],[72],[73],[74],[75],[76]

5.1.3 Αισθητήρες κάμψης (flex sensor)

Οι “flex sensors” ή “αισθητήρες κάμψης” (Εικόνα 64), είναι αισθητήρες που μετρούν την κάμψη. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας, όταν πραγματοποιείται κάμψη του αισθητήρα η τιμή της αντίστασης αλλάζει. Επειδή η αντίσταση είναι ένα μέγεθος που έχει ανάλογη σχέση με το ποσό της κάμψης, μπορεί να γίνει χρήση του αισθητήρα και ως γωνιόμετρο. Σε όλες τις εφαρμογές, ο αισθητήρας πρέπει να βρίσκεται σε στενή επαφή με την επιφάνεια των κινούμενων μελών, ώστε να προκύψουν ορθά αποτελέσματα για τα μετρούμενα μεγέθη.



Εικόνα 64 Αισθητήρας κάμψης (flexsensor).[77]

5.1.3.1 Χρήση αισθητήρα

Για τη σωστή χρήση του αισθητήρα κάμψης σε κάποια εφαρμογή θα χρειαστεί ένας μικροελεγκτής (π.χ. Arduino). Ο μικροελεγκτής πραγματοποιεί τη μετατροπή της αναλογικής εισόδου σε ψηφιακή, με σκοπό να διαβάσει την τιμή της μεταβλητής αντίστασης του αισθητήρα. Επιπλέον, χρησιμοποιείται και μία αντίσταση (Resistor Kit), που επιτρέπει την ανάγνωση της μεταβλητής αντίστασης του αισθητήρα (ohm) σε μονάδες τάσης (volts). Για τη σύνδεση του αισθητήρα με την πλακέτα του μικροελεγκτή, απαιτούνται καλώδια. Αν είναι επιθυμητή μία πιο ασφαλής σύνδεση, έναντι της συγκόλλησης συνιστάται η χρήση ενός βύσματος (clinch connector).

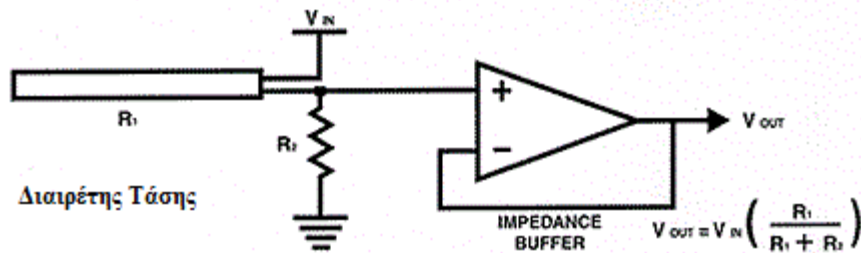
5.1.3.2 Λειτουργία αισθητήρων

Ο αισθητήρας είναι τυπωμένος με πολυμερικό μελάνι, το οποίο περιέχει ενσωματωμένα αγώγιμα σωματίδια. Παρουσιάζει μια σταθερή τιμή αντίστασης (original value), όταν είναι ευθύς. Ενώ, όταν πραγματοποιηθεί η κάμψη, η τυπωμένη πλευρά του αισθητήρα εκτείνεται και τα αγώγιμα σωματίδια απομακρύνονται, αυξάνοντας έτσι την τιμή της αντίστασης. Η γωνία κάμψης προκύπτει από τη μέτρηση της αντίστασης. Η χρήση τους απαιτεί προσοχή, διότι οι αισθητήρες κάμψης είναι μονής κατεύθυνσης. Η πλευρά που είναι τυπωμένη με το μελάνι, πρέπει πάντα να είναι η πλευρά που εκτείνεται, αλλιώς λαμβάνονται λανθασμένα αποτελέσματα και είναι πιθανό να καταστραφεί και ο αισθητήρας [78].

5.1.3.3 Χρήσιμες πληροφορίες συνδεσμολογίας

Αρχικά ένας αισθητήρας κάμψης, όπως ήδη έχει αναφερθεί, παρουσιάζει μεταβολές της τάσης στους ακροδέκτες του, ανάλογα με τη γωνία της κάμψης που πραγματοποιείται. Ο αισθητήρας αυτός έχει τη δυνατότητα να καταγράφει πολλές τιμές, οι οποίες κατατάσσονται στις αναλογικές, επομένως τα δεδομένα που είναι επιθυμητό να ληφθούν, χρειάζονται μία αναλογική θύρα (π.χ. A0). Παρουσιάζεται όμως πρόβλημα, αν οι ακροδέκτες του αισθητήρα συνδεθούν άμεσα στη είσοδο του μικροελεγκτή. Αν το κύκλωμα περιλαμβάνει μόνο τον αισθητήρα, δηλαδή μια μεταβλητή αντίσταση, τότε καθώς η τάση τροφοδοσίας παραμένει σταθερή (5V), η τάση στην έξοδο θα λαμβάνεται πάντα μηδενική από τον A/D μετατροπέα (Analog/Digital converter) της πλακέτας του Arduino. Ο A/D μετατροπέας (θύρα A0) διαιρεί την τιμή της αντίστασης σε μικρά διακριτά βήματα. Για παράδειγμα ένας μικροελεγκτής ArduinoUno για τάση εισόδου 5V δίνει την τιμή 1023, ενώ για τάση εισόδου 2.5V δίνει την τιμή 511. Μ' αυτόν τον τρόπο παρουσιάζεται η τάση που έχει ο αισθητήρας.

ΒΑΣΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ ΚΑΜΨΗΣ



Εικόνα 65 Βασικό κύκλωμα διαιρέτη τάσης.[79]

Για τη χρήση του αισθητήρα κάμψης πραγματοποιείται η συνδεσμολογία της Εικόνα 65, η οποία ονομάζεται «διαιρέτης τάσης». Σε ένα τέτοιο κύκλωμα η τάση της τροφοδοσίας διαιρείται μεταξύ του αισθητήρα και της σταθερής αντίστασης. Παρατηρείται πως όταν ο αισθητήρας είναι ευθύς (δεν κάμπτεται), η τιμή που δίνεται είναι διαφορετική του μηδενός και προκύπτει από την τιμή της τάσης στη σταθερή αντίσταση. Η σταθερή αντίσταση χρησιμοποιείται για σύγκριση και λήψη αποτελεσμάτων

5.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι ηλεκτρικές μηχανές είναι συσκευές που πραγματοποιούν μετατροπές μεταξύ δύο μορφών ενέργειας (της ηλεκτρικής και της μηχανικής), ή αλλάζουν την ένταση του ηλεκτρικού φορτίου. Ανάλογα με τη μετατροπή που πραγματοποιείται υπάρχουν δύο βασικά είδη μηχανών, οι γεννήτριες που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και οι κινητήρες που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Οι κινητήρες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, σε συνεχούς ρεύματος ή DC (Direct Current) και σε εναλλασσόμενου ρεύματος ή AC (Alternative Current).

5.2.1 Κατηγορίες κινητήρων

Στις εφαρμογές που απαιτείται ο έλεγχος του κινητήρα με μικροελεγκτή (π.χ. Arduino), χρησιμοποιούνται συνήθως τρεις κατηγορίες κινητήρων. Σε αυτές τις κατηγορίες περιλαμβάνονται οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι βηματικοί κινητήρες και οι σερβοκινητήρες.

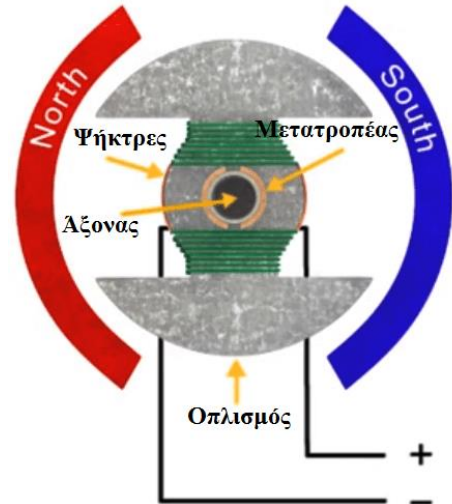
5.2.1.1 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος διακρίνονται σε αυτούς που περιλαμβάνουν ψήκτρες (brushed) και σε εκείνους χωρίς ψήκτρες (brushless). Γενικά, είναι ηλεκτρομαγνητικές συσκευές που χρησιμοποιούν την αλληλεπίδραση των μαγνητικών πεδίων και των αγωγών για να μετατρέψουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική, για την περιστροφή. Αν και υπάρχουν πολλοί τύποι DC κινητήρων στο εμπόριο, οι κινητήρες με ψήκτρες και χωρίς, είναι οι πιο κοινοί (Εικόνα 66).

Κινητήρες με ψήκτρες (Brushed):

Οι κινητήρες αυτοί (Εικόνα 66) δεν παρουσιάζουν πολυπλοκότητα ως προς την κατασκευή και τον έλεγχο. Το ρεύμα παρέχεται μέσω δύο στατικών μεταλλικών ψηκτρών, που είναι σε επαφή με τα διάφορα τμήματα του δακτυλίου. Καθώς ο μετατροπέας περιστρέφεται οι ψήκτρες έρχονται σε επαφή με το επόμενο τμήμα. Με αυτόν τον τρόπο δεν σταματά να περιστρέφεται ο κινητήρας. Η επαφή αυτή δημιουργεί τριβές οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν θερμότητα, ίσως ακόμα και σπινθηρισμούς.

Οι DC κινητήρες αποτελούνται από τυλίγματα, που είναι συνδεδεμένα στα τμήματα ενός δακτυλίου ή ενός μετατροπέα. Τα τυλίγματα βρίσκονται τοποθετημένα εσωτερικά σε ένα ζεύγος από μαγνήτες, τον **στάτη**, που περιβάλλει τα τυλίγματα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο. Η αρχή της λειτουργίας του κινητήρα αναφέρει πως όταν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο και διαρρέεται από ρεύμα, τότε ασκείται δύναμη στον ρευματοφόρο αγωγό. Έτσι, τα τυλίγματα δέχονται μία δύναμη που τείνει να τα περιστρέψει και ξεκινά η περιστροφή του κινητήρα. Αν προστεθούν πολλαπλά τυλίγματα συνδεδεμένα σε διαφορετικά τμήματα, τότε είναι δυνατόν να διατηρηθεί μια σταθερή περιστροφή. Τέλος, είναι δυνατή η αλλαγή της φοράς περιστροφής του κινητήρα, αντιστρέφοντας την πολικότητα των επαφών του.



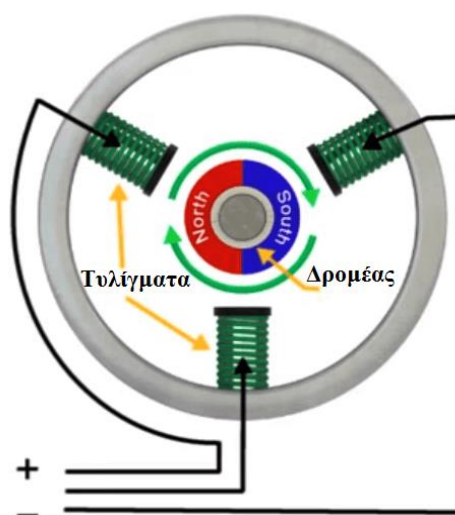
Εικόνα 66 Κινητήρας με ψήκτρες.[80]

Πίνακας 13 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα brushed motors

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Εύκολος έλεγχος. Για να τεθούν σε λειτουργία, χρειάζονται απλώς την εφαρμογή τάσης. Με την αύξηση ή τη μείωση της τάσης αλλάζει η ταχύτητα περιστροφής τους και με την αλλαγή της πολικότητας, αλλάζει η φορά περιστροφής.	Είναι θορυβώδεις. Εξαιτίας της τριβής που υπάρχει από τις ψήκτρες και από τους σπινθηρισμούς σε περιοχές που οι ψήκτρες διέρχονται από τα κενά του μετατροπέα.
Μεγάλη ροπή σε χαμηλές ταχύτητες.	Χρειάζονται συνεχή συντήρηση. Οι ψήκτρες φθείρονται εύκολα, εξαιτίας της συνεχής επαφής τους κατά την κίνηση.
Καλή απόδοση. Το ποσοστό κυμαίνεται μεταξύ του εύρους 75-80%.	
Οικονομικοί.	

- Κινητήρες χωρίς ψήκτρες (brushless): Είναι μηχανολογικά πιο απλοί από τους κινητήρες με ψήκτρες. Η περιστροφή του δρομέα επιτυγχάνεται εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των μαγνητικών πεδίων των σταθερών μαγνητών του στάτη και των πόλων του δρομέα, όπου υπάρχουν τα τυλίγματα, τα οποία διαρρέονται από ρεύμα. Συναντώνται δύο περιπτώσεις είτε ο δρομέας βρίσκεται εξωτερικά είτε εσωτερικά του κινητήρα (Εικόνα 67), χωρίς να υπάρχει αλλαγή στη λειτουργία του. Λόγω της απώλειας των ψηκτρών ελαχιστοποιούνται οι σπινθηρισμοί και ο θόρυβος. Τέτοιοι κινητήρες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως οι ανεμιστήρες υπολογιστών, τα drones, τα ηλεκτρικά οχήματα και στους σερβομηχανισμούς μεγάλης ακρίβειας.

Ο κινητήρας χωρίς ψήκτρες έχει μόνο ένα κινούμενο τμήμα, το δρομέα, ο οποίος ελαχιστοποιεί τις επιπλοκές από τις ψήκτρες που υπήρχαν εσωτερικά των brushed. Επίσης, σε αντίθεση με τους κινητήρες brushed, στο δρομέα περιέχεται ένας δακτύλιος μόνιμων μαγνητών ενώ τα τυλίγματα αυτή τη φορά είναι ακίνητα. Οι κινητήρες αυτοί μειονεκτούν στον έλεγχο της πολικότητας, της κατεύθυνσης του ρεύματος που διαρρέει τα τυλίγματα και στη διατήρηση του συγχρονισμού με την ταχύτητα του δρομέα. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών γίνεται με τη χρήση των αισθητήρων Hall, οι οποίοι μετρούν την αντιηλεκτρεγερτική δύναμη, και ελέγχουν τη θέση των μαγνητών. Εξαιτίας αυτού οι brushless κινητήρες είναι πιο ακριβοί και πολύπλοκοι, παρόλο που παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα από τους brushed.[81]



Εικόνα 67 Κινητήρας χωρίς ψήκτρες.[89]

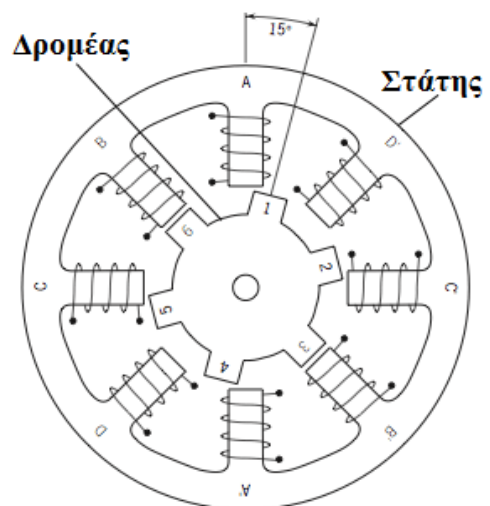
Πίνακας 14 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κινητήρων χωρίς ψήκτρες

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Μειωμένος θόρυβος κατά τη λειτουργία, λόγω της απουσίας των ψηκτρών.	Χρειάζονται ελεγκτή. Κάποιοι κινητήρες brushless είναι δύσκολοι στον έλεγχο και για αυτό χρειάζονται έναν ειδικό ρυθμιστή (Hall).
Αποδοτικότητα. Είναι περισσότερο αποδοτικοί από τους brushed, εφόσον έχουν την ικανότητα να λειτουργούν συνεχόμενα με μέγιστη ροπή.	
Χρειάζονται λιγότερη συντήρηση. Έχουν υψηλή ανθεκτικότητα, εφόσον οι ψήκτρες δεν υπάρχουν.	

5.2.2 Βηματικοί κινητήρες (stepper motors)

Οι βηματικοί κινητήρες μετακινούνται αργά, με ακριβή και διακριτά βήματα, στοιχεία που δηλώνουν τον έλεγχο της θέσης. Επιλέγονται σε πλήθος εφαρμογών, όπως σε επιτραπέζιους εκτυπωτές, κάμερες ασφαλείας και μηχανές επεξεργασίας CNC.

Συνήθως, διαθέτουν ένα σύστημα ελέγχου, που στέλνει ηλεκτρικούς παλμούς σε έναν οδηγό (driver). Ο οδηγός αφού αρχικά ερμηνεύσει τους παλμούς αυτούς, στέλνει στον κινητήρα μία αναλογική τάση. Έτσι ο κινητήρας κινείται σε ακριβείς και σταθερές γωνίες. Η λειτουργία του βηματικού κινητήρα είναι όμοια με εκείνη των κινητήρων χωρίς ψήκτρες συνεχούς ρεύματος, με μόνη διαφορά ότι κινείται με πολύ μικρότερα βήματα. Το μόνο κινούμενο μέρος του είναι ο δρομέας, που περιέχει τους μαγνήτες. Η πολικότητα του κάθε τυλίγματος, ελέγχεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Καθώς η πολικότητα αυτή αλλάζει, κάθε τυλίγμα δέχεται έναν παλμό ή μία έλξη, μετακινώντας έτσι τον κινητήρα. Ακόμα οι κινητήρες αυτοί, μπορούν να ελεγχθούν με τη χρήση των μικροελεγκτών. Εκτός αυτών, είναι συσκευές που για τη λειτουργία τους χρειάζονται μεγάλη ισχύ και καταναλώνουν μεγάλα ποσά ρεύματος. Οι βηματικοί δεν μπορούν να επιτύχουν με υψηλές ταχύτητες, διότι έχουν μικρό γωνιακό βήμα. Τα βήματα ενδεχομένως παραλείπονται όταν χρησιμοποιούνται μεγάλα φορτία.[81]

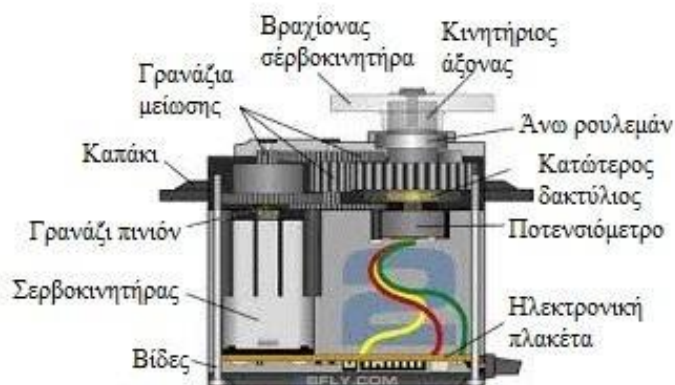


Εικόνα 68 Βηματικός κινητήρας[82]

Πίνακας 15 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα βηματικών κινητήρων

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Ακριβής τοποθέτηση. Έχουν υψηλό αριθμό πόλων και για αυτό μπορούν να κινούνται μεταξύ τους με ακρίβεια, χωρίς την βοήθεια κωδικοποιητή.	Πιθανή παράληψη βημάτων. Οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας γι' αυτούς τους κινητήρες, είναι χαμηλές, γι' αυτό είναι πιθανό σε μεγάλα φορτία να γίνει παράληψη βημάτων.
Ακριβής έλεγχος της ταχύτητας. Οι ακριβείς αυξήσεις στην κίνηση επιτρέπουν τον εξαιρετικό έλεγχο της ταχύτητας.	Χαμηλή απόδοση. Σε αντίθεση με τους DC κινητήρες, η κατανάλωση του ηλεκτρικού φορτίου είναι ανεξάρτητη από το φορτίο και διαρκώς καταναλώνουν μέγιστο φορτίο. Για το λόγο αυτό υπερθερμαίνονται.
Υψηλή ροπή σε χαμηλές ταχύτητες. Έχουν μέγιστη τιμή της ροπής σε χαμηλές ταχύτητες (μικρότερες των 2000rpm).	Περιορισμένη ροπή σε υψηλές ταχύτητες.
Διατήρηση της υψηλής ροπής για την σταθεροποίηση σε μία θέση.	Είναι θορυβώδεις.
Εύκολος έλεγχος.	

5.2.3 Σερβοκινητήρες (servo motors)



Εικόνα 69 Επιμέρους τμήματα σερβοκινητήρων [83]

Οι σερβοκινητήρες έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν πολύ ακριβή έλεγχο της κίνησης. Με την ανατροφοδότηση τους, αντιλαμβάνονται τη διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής ταχύτητας ή θέσης. Έτσι ώστε ο ελεγκτής να μπορέσει να ρυθμίσει την έξοδο σε οποιαδήποτε απόκλιση από το στόχο. Ο σερβοκινητήρας αποτελείται από ένα DC κινητήρα. Χαρακτηριστικό αυτών είναι πως περιστρέφονται με υψηλές στροφές το λεπτό (RPM) και έχουν μικρή ροπή. Ωστόσο, στο εσωτερικό του κινητήρα υπάρχει μια διάταξη γραναζιών, που μειώνει την ταχύτητα και την ίδια στιγμή

αυξάνει τη ροπή. Το ποσό του έργου είναι το ίδιο, αλλά αξιοποιείται καλύτερα. Οι φθινοί σερβοκινητήρες περιέχουν γρανάζια κατασκευασμένα συνθετικά πολυμερή. Έτσι μειώνεται το κόστος και το βάρος του κινητήρα. Αντίθετα, τα γρανάζια που είναι κατασκευασμένα από μέταλλο συναντώνται στους κινητήρες υψηλών απαιτήσεων (μεγαλύτερης ροπής). Οι «συνεχούς περιστροφής» και «διακοπτόμενης δράσης», είναι οι δύο τύποι σερβοκινητήρων.

Ο σερβοκινητήρας περιέχει έναν αισθητήρα θέσης ή κωδικοποιητή στο τελευταίο γρανάζι. Και στηριζόμενος σε έναν έλεγχο κλειστού βρόγχου, ο μικροελεγκτής συγκρίνει την πραγματική θέση του κινητήρα με την επιθυμητή. Με αυτόν τον τρόπο παράγει ένα σήμα, για την περίπτωση κάποιου σφάλματος. Στη συνέχεια, το σήμα αυτό χρησιμοποιείται για να παραχθεί ένα σήμα κατάλληλου ελέγχου. Τα πιο εξελιγμένα μοντέλα, πραγματοποιούν και μέτρηση της ταχύτητας για να παρέχουν πιο ακριβή και ομαλότερη κίνηση.

Αρχικά οι σέρβο **διακοπτόμενης δράσης** χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής κλίμακας, που απαιτείται ακριβής θέση. Είναι ο πιο διαδεδομένος και οικονομικός τύπος. Το εύρος περιστροφής αυτών είναι εντός του ορίου των 180 μοιρών. Ακόμα, δεν υπάρχει έλεγχος στην ταχύτητα ή στη συνεχόμενη περιστροφή. Για να αποτραπεί η υπέρβαση των ορίων, εσωτερικά στον μηχανισμό μετάδοσης, υπάρχουν κάποια διαμορφωμένα κομμάτια, που περιορίζουν να γίνει περιστροφή εκτός του εύρους. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύεται ο αισθητήρας περιστροφής.

Οι σέρβο **συνεχούς περιστροφής**, μπορούν να έχουν συνεχόμενη περιστροφή, με κατεύθυνση τη φορά του ρολογιού ή αντίθετη της φοράς του ρολογιού και με διαφορετικές ταχύτητες. Αυτό εξαρτάται από το σήμα που του δίνεται κάθε φορά.[80]

Πίνακας 16 Μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα σερβοκινητήρων

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή ροπή σε υψηλές ταχύτητες.	Περιορισμένο εύρος κίνησης.
Ποικιλία. Πολλά διαφορετικά μοντέλα με διαφορετικές διαστάσεις και διαφορετικές τιμές ροπής.	Διακύμανση. Ο μηχανισμός αναπληρόφρησης στους σερβοκινητήρες, διαρκώς προσπαθεί να διορθώσει οποιαδήποτε απόκλιση από την επιθυμητή θέση. Αυτή η σταθερή ρύθμιση προκαλεί τράνταγμα καθώς προσπαθεί να κρατήσει σε σωστή θέση τον κινητήρα.
Οικονομικοί.	

5.2.4 Χαρακτηριστικά κινητήρων

Διάφοροι συμβολισμοί και διάφορα μεγέθη αναφέρονται στα χαρακτηριστικά και τη λειτουργία κάποιου κινητήρα. Ακολουθεί ο Πίνακας 17 με κάποια από αυτά, εκ των οποίων, οι κινητήρες κρίνονται για την καταλληλότητά τους.

Πίνακας 17 Χαρακτηριστικά σερβοκινητήρων

Σταθερά ταχύτητας του κινητήρα K_v [RPM/V]	Είναι ο λόγος των στροφών προς την τάση. Εκφράζει τη σχέση της παραγόμενης αντιηλεκτρεγερτικής δύναμης (back-emf) του κινητήρα με ταχύτητα του.
Σταθερά ροπής K_t [Nm/A]	Είναι μια χρήσιμη παράμετρος, για το μέγεθος και τον έλεγχο ενός κινητήρα. Εκφράζει το λόγο της παραγόμενης ροπής διαιρεμένης με το ρεύμα στα τυλίγματα.
Μέγιστη ροπή του κινητήρα T [N·m ή kg.cm]	Δείχνει το μέγεθος του φορτίου που μπορεί ο κινητήρας να διαχειριστεί. Συνήθως δίνεται σε «kg.cm», ο αριθμός που προηγείται των μονάδων, δηλώνει τα κιλά που μπορεί ο κινητήρας να σηκώσει, όταν προσφέρει δύναμη από απόσταση ίση με ένα εκατοστό.
Ταχύτητα περιστροφής n [RPM]	Ο αριθμός των πλήρων περιστροφών που θα πραγματοποιήσει ο κινητήρας, σε χρονική διάρκεια ίση με ένα λεπτό.
Τάση λειτουργίας V [V]	Η τάση της πηγής που τροφοδοτεί τον κινητήρα, για την ομαλή λειτουργία του.
Ισχύς του κινητήρα P [W]	Υπολογίζεται από το γινόμενο της ροπής (T) και της γωνιακής ταχύτητας (ω)
Ρεύμα I [A]	Παρέχεται από την πηγή τροφοδοσίας.
Εύρος θερμοκρασίας T_R [°C]	Το πεδίο θερμοκρασίας, μέσα στο οποίο ο κινητήρας λειτουργεί κανονικά.
Νεκρή ζώνη λειτουργίας DBW [us]	Δηλώνει την ποσότητα του σήματος που επιτρέπεται να αλλάξει, ώστε να μην επηρεαστεί η έξοδος του κινητήρα. Εκφράζει τα περιθώρια του σφάλματος που μπορούν να γίνουν αποδεκτά.

5.2.5 Σωστή λειτουργία κινητήρα

Οι τρεις ακροδέκτες που διαθέτει ένας κινητήρας είναι η τροφοδοσία, η γείωση και το καλώδιο του σήματος. Ένα παράδειγμα είναι ο κινητήρας MG995, ο οποίος παρουσιάζει κόκκινο καλώδιο για την πηγή τροφοδοσίας, καφέ καλώδιο για τη γείωση, η οποία προσφέρει ασφάλεια σε περιπτώσεις όπως η ηλεκτροπληξία και το βραχυκύκλωμα. Και τέλος, το πορτοκαλί καλώδιο για το σήμα, που είναι συνδεδεμένο με την έξοδο PWM (Pulse Width Modulation) του μικροελεγκτή. Η **διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM)** για τους κινητήρες DC πρόκειται για ένα διάγραμμα, το οποίο αποτελείται από δύο τμήματα. Αρχικά είναι το «τμήμα ON», για το οποίο παρουσιάζει μέγιστη τιμή (σε ms ή σε ποσοστό επί τις εκατό) και αναφέρεται ως «Duty cycle». Το επόμενο τμήμα είναι το «τμήμα OFF», που η τιμή είναι ίση με το μηδέν. Με την εφαρμογή του παλμού PWM στην τροφοδοσία ενός φορτίου, πραγματοποιείται έλεγχος του ποσοστού της ισχύος που εφαρμόζεται σε αυτό. Για έναν κινητήρα ο έλεγχος των στροφών πραγματοποιείται μέσω της διαμόρφωσης του εύρους των παλμών. Για την περίπτωση που οι κινητήρες λαμβάνουν είσοδο από έναν μικροελεγκτή Arduino, δεν απαιτείται διαμόρφωση του εύρους των παλμών, καθώς διατίθενται βιβλιοθήκες άμεσα διαθέσιμες. Η έξοδος του Arduino που συνδέεται με έναν κινητήρα πρέπει να αντιστοιχεί σε ψηφιακή θύρα, που αναγράφει την πληροφορία PWM.

5.2.6 Επιλογή κινητήρα

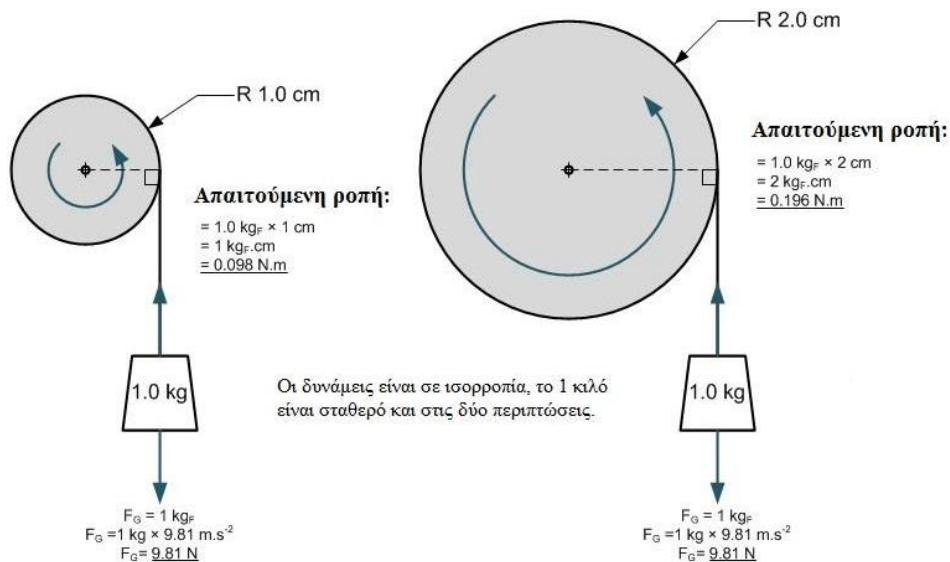
Για την εκλογή του κατάλληλου κινητήρα σε μια εφαρμογή, πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή στον υπολογισμό των φορτίων που θα ασκηθούν σε αυτόν. Εφόσον, η πληροφορία αυτή γίνει γνωστή, είναι σημαντική η γνώση των παρακάτω.

Στα χαρακτηριστικά λειτουργίας ενός κινητήρα περιλαμβάνεται και η ροπή. Υπάρχουν δυο μονάδες που μπορεί να παρουσιαστεί, είτε σε Newton επί μέτρο [N·m] είτε σε κιλά επί εκατοστό [kg·cm]. Για παράδειγμα αν η ροπή μας δίνεται σε «kg·cm», τότε από την τιμή αυτού του μεγέθους, γίνεται γνωστός ο αριθμός των κιλών που μπορεί να σηκώσει ο κινητήρας, για απόσταση ίση με ένα εκατοστό. Η απόσταση, για την οποία γίνεται αναφορά προηγουμένως, είναι η κάθετη απόσταση του άξονα περιστροφής του κινητήρα από το σημείο εφαρμογής του φορτίου. Η ροπή θεωρητικά υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$T = F \cdot x \quad (5.1)$$

- T: η ροπή σε [N·m]
- F: η δύναμη σε Newton [N]
- x: η κάθετη απόσταση του σημείου περιστροφής από το σημείο όπου ασκείται η δύναμη, σε μέτρα [m]

Ακολουθεί ένα παράδειγμα (Εικόνα 70) για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω.



Εικόνα 70 Απαιτούμενη ροπή.[83]

Η απαιτούμενη ροπή του κινητήρα, είναι εξαρτώμενη της απόστασης εφαρμογής του φορτίου. Στην Εικόνα 70 καθώς το βάρος απομακρύνεται (αύξηση της ακτίνας «R», από το 1 cm στα 2 cm), αυξάνεται η απαιτούμενη ροπή, για την ισορροπία του συστήματος. Στην πρώτη περίπτωση, ο κατάλληλος κινητήρας για την υποστήριξη του ενός κιλού, που βρίσκεται σε απόσταση ενός εκατοστού, έχει χαρακτηριστική ροπή ίση με 1 kg.cm. Ενώ στη δεύτερη περίπτωση, για την ανύψωση ενός κιλού, σε απόσταση ίση των δύο εκατοστών, θα χρειαστεί κινητήρας με υποστηρίξει χαρακτηριστική ροπή ίση με 2 kg.cm. Είναι εμφανές πως ο πρώτος κινητήρας δεν είναι κατάλληλος στη δεύτερη εφαρμογή, ενώ μπορεί να υποστηρίξει το βάρος του ενός κιλού, είναι αδύνατον όταν εκείνο βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη του ενός εκατοστού.

Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στον υπολογισμό των ασκούμενων φορτίων που καλείται να καλύψει ένας κινητήρας. Καθώς αποτελεί άμεσο κριτήριο της επιλογής; του τύπου του κινητήρα. Ωστόσο δεν αρκεί μόνο ο υπολογισμός του φορτίου, η απόσταση είναι ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας. Όσο αυξάνεται η απόσταση και το μέγεθος του φορτίου, αυξάνονται και οι απαιτήσεις του κινητήρα.

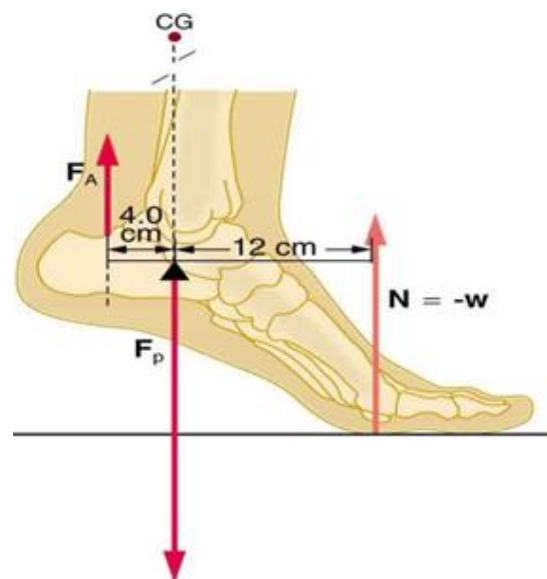
5.2.6.1 Επιλογή κινητήρα ExoGaitOR

Πίνακας 18 Υπολογισμός φορτίων

Είδος φορτίου	Βάρος [kg]	Σχόλια
Πέλμα	1.50	Είναι ίσο με το 1.5% του συνολικού σωματικού βάρους ($1.5\% \cdot 100\text{kg}$).
Νάρθηκας πέλματος	1.50	Κατασκευασμένος από σύνθετο υλικό.
Παπούτσι	0.300	
GRF για τη βάρδιση	60	Η μέγιστη GRF είναι ίση με το 120% του σωματικού βάρους ($120\% \text{ των } 100 \text{ kg}$). Έχει γίνει υπόθεση, πως ο ασθενής προσφέρει κάποιο ποσό δύναμης, εφόσον δεν έχει πλήρη παράλυση στο πέλμα του. Από γραφική (Εικόνα 25 στ) φαίνεται πως ο ασθενής μπορεί να καλύψει τα απαιτούμενα φορτία στο μισό [$(120\% \text{ των } 100 \text{ kg})/2$].

Στον Πίνακα 18 προσδιορίζονται τα επιμέρους φορτία και υπολογίζεται το συνολικό φορτίο που καλείται να υπερνικήσει ο κινητήρας. Η ζητούμενη απόσταση, μεταξύ του σημείου του κέντρου βάρους των ασκούμενων φορτίων, από το κεντρικό σημείο του αστραγάλου, που είναι το σημείο περιστροφής, φαίνεται στην Εικόνα 71. Η απόσταση αυτή είναι ξεχωριστή για κάθε άνθρωπο.

Η πρώτη περίπτωση εφαρμογής αφορά τους υπολογισμούς ενός κινητήρα ο οποίος καλείται να υποστηρίξει το συνολικό φορτίο των 63.3 kg , σε απόσταση 12 cm . Σύμφωνα με τους συλλογισμούς του παραδείγματος (Κεφάλαιο 5.2.6), προκύπτει η ροπή του ζητούμενου κινητήρα, η οποία είναι ίση με 756.6 kg.cm . Αυτός ο κινητήρας είναι πολύ υψηλών απαιτήσεων, με μεγάλες διαστάσεις και υψηλή τιμή. Για το λόγο αυτό θα γίνει τοποθέτηση δύο κινητήρων. Με τα νέα δεδομένα προκύπτουν δύο κινητήρες με ροπή 379.8 kg.cm . Όμως και πάλι η απαιτήσεως είναι υψηλές. Ο μηχανισμός του νάρθηκα «ExoGaitOR» περιλαμβάνει δεξιά και αριστερά του ποδιού συμπλοκές κωνικών ευθύγραμμων γραναζιών με σχέση μετάδοσης ίση με 3:1. Άρα το τελικό αποτέλεσμα για την επιλογή των κινητήρων



Εικόνα 71 Απόσταση μεταξύ αστραγάλου και κέντρου βάρους [84]

(διαίρωντας το 379.8 με το 3, το δεύτερο προκύπτει από την σχέση μετάδοσης) είναι 126.6 kg.cm.

Η δεύτερη περίπτωση, η οποία εξετάζεται σε αυτή την εργασία, αφορά έναν κινητήρα ο οποίος προσδίδει ροπή, για την πραγματοποίηση της ραχιαίας κάμψης. Συγκριτικά με τη πρώτη περίπτωση το φορτίο είναι μειωμένο. Αυτό συμβαίνει διότι η αντίδραση του εδάφους είναι αισθητά μειωμένη, προσδίδεται μόνο ένα μικρό ποσοστό αυτής, κατά την αρχική επαφή. Ενώ για τη φάση της αιώρησης η αντίδραση του εδάφους είναι μηδενική, εφόσον δεν υπάρχει επαφή μεταξύ του πέλματος και του εδάφους. Επομένως, ο κινητήρας καλείται να υποστηρίξει, σε αυτή τη περίπτωση, το φορτίο των 5kg, σε απόσταση ίση με 12cm. Σύμφωνα με τους συλλογισμούς του παραδείγματος (Κεφάλαιο 5.2.6), προκύπτει η ροπή του ζητούμενου κινητήρα, η οποία είναι ίση με 60 kg.cm. Στη συνέχεια, ακολουθώντας τους ίδιους συλλογισμούς με τη πρώτη περίπτωση, προκύπτει η ροπή του κινητήρα ίση με 10kg.cm. Στην Εικόνα 72 φαίνεται ο κινητήρας που επιλέχθηκε για να καλύψει τις απαιτήσεις μας, για μια σταθερή και ομαλή βιάδιση. Σημαντική πληροφορία για τον κινητήρα “KSTX15-755X”, που αφορά την λειτουργία του, είναι πως περιέχει εσωτερικά “driver”.

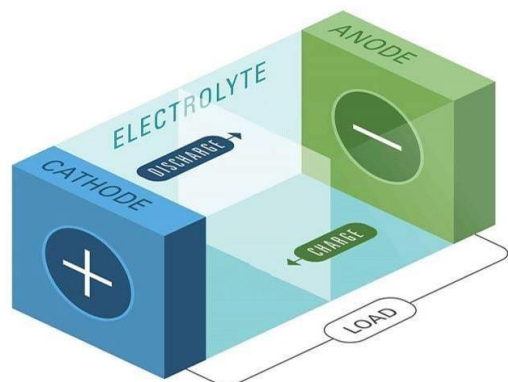
Ο κινητήρας ανήκει στην κατηγορία των σερβοκινητήρων, διότι η απαίτηση για ροπή είναι υψηλή και υπάρχει το πλεονέκτημα διάθεσης μοντέλων μικρών διαστάσεων, με υψηλές απαιτήσεις στο εμπόριο. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι ο ακριβής έλεγχος της κίνησης και το ότι πραγματοποιούν γρήγορες διακυμάνσεις στην ταχύτητα χωρίς να υπερθερμανθούν.



Εικόνα 72 Κινητήρας KSTX15-755X [85]

5.3 ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ

Η ηλεκτρική ενέργεια στις μπαταρίες παράγεται μετατρέποντας την χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια, με διάφορες ηλεκτροχημικές αντιδράσεις οξειδοαναγωγής. Οι μπαταρίες αποτελούνται από ένα δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό, όπως εβονίτη, πλαστικό, γυαλί, με ηλεκτρολύτη (οξύ ή αλκάλιο) στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια. Η σύνδεση τους σε κάποιο εξωτερικό κύκλωμα, προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος και πιθανή αποφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή. Η φόρτιση αντίστοιχα πραγματοποιείται όταν από τον ηλεκτρικό συσσωρευτή περάσει συνεχές ρεύμα από μια άλλη εξωτερική πηγή, ενώ ταυτόχρονα γίνονται αντίστροφες χημικές διεργασίες (Εικόνα 73).



Εικόνα 73 Λειτουργία φόρτισης ή αποφόρτισης μπαταρίας [86]

Για την αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου - της χωρητικότητας - σε κάθε ηλεκτροχημικό στοιχείο συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους περισσότερες πλάκες ηλεκτροδίων της ίδιας πολικότητας. Η μέτρηση της χωρητικότητας πραγματοποιείται με τη μονάδα του Coulomb (C) ή αλλιώς για πρακτικούς λόγους με Ah.

Χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, και υπάρχουν μόνιμοι συσσωρευτές (ηλεκτρικές εγκαταστάσεις) ή και φορητοί (κινητά, οχήματα). Ανάλογα με τη χρήση και την εφαρμογή, υπάρχουν μπαταρίες σε ποικίλα σχήματα, μεγέθη και διάφορους τύπους. Έτσι, για την επιλογή της κατάλληλης μπαταρίας για μια συγκεκριμένη εφαρμογή θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μία μελέτη

5.3.1 Κατηγορίες μπαταριών

Εξαιτίας της ποικιλίας των συσσωρευτών, είναι απαραίτητη η κατηγοριοποίηση τους βάση ορισμένων μεταβλητών που αφορούν κυρίως ονομαστικά και μέγιστα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατηγοριοποίησης. Ο κυριότερος όμως διαχωρισμός γίνεται με κριτήριο τη δυνατότητα επαναφόρτισης. Έτσι, διαχωρίζονται σε **Πρωτεύοντες** και **Δευτερεύοντες** συσσωρευτές. Αναλυτικά, οι πρωτεύοντες συσσωρευτές είναι αυτοί που αδυνατούν να επαναφορτιστούν και απορρίπτονται, ενώ οι δευτερεύοντες είναι αυτοί που επαναφορτίζονται και επαναχρησιμοποιούνται. Ο πλήρης όμως προσδιορισμός ενός συσσωρευτή απαιτεί και τον προσδιορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών.

Σημαντική όμως είναι και η διάρκεια ζωής τους. Έτσι διαχωρίζονται σε **Μεγάλης Διάρκειας ή Μεγάλης αντοχής** συσσωρευτές. Αυτό προϋποθέτει την τροποποίηση των χημικών αντιδράσεων με σκοπό να προκύψει συσσωρευτής με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής εις βάρος όμως της ενεργειακής του απόδοσης. Δεν θα μπορούσε όμως να μην κατηγοριοποιηθούν με βάση την αποδιδόμενη ενέργεια ή ισχύ, δηλαδή συσσωρευτές **Υψηλής Ενέργειας ή Υψηλής Ισχύος**.

Τέλος, μπορεί κανείς να περιγράψει έναν συσσωρευτή με βάση την εκφόρτιση του. Ο όρος **C-rate** -εκφράζει το ρεύμα εκφόρτισης, ώστε να κανονικοποιηθεί ως προς τη χωρητικότητα του συσσωρευτή, η οποία διαφέρει από συσσωρευτή σε συσσωρευτή. Πιο συγκεκριμένα, Ο όρος C-rate, αποτελεί μέτρο του ρυθμού εκφόρτισης σε σχέση με την μέγιστη χωρητικότητα του συσσωρευτή. Επίσης υπάρχει ο **E-rate** που περιγράφει την ισχύ εκφόρτισης [86].

Τεχνικά χαρακτηριστικά

- **Ονομαστική τάση (V):** Είναι η τάση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων, η οποία εξαρτάται από τη χημική σύσταση των ηλεκτροδίων, τη συγκέντρωση των ενεργών υλικών και τη θερμοκρασία.
- **Τάση αποκοπής:** Η ελάχιστη επιτρεπόμενη τάση, η τάση δηλαδή ενός άδειου συσσωρευτή.
- **Χωρητικότητα (Ah):** Είναι η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που μπορεί να αποδώσει ένας συσσωρευτής όταν εκφορτίζεται με κάποιο ρεύμα εκφόρτισης, μέχρις ότου φτάσει στην τάση αποκοπής. Κανονικά η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας είναι το Coulomb, αλλά επειδή είναι μικρή μονάδα μέτρησης χρησιμοποιούμε τα Αμπερώρια (1 Ah=3600 C). Κατά την αύξηση του C-rate η χωρητικότητα αυξάνεται. Εξαρτάται δηλαδή από την ποσότητα των ενεργών υλικών και επηρεάζεται από τις συνθήκες εκφόρτισης.

- **Κύκλος ζωής:** Είναι ο αριθμός των κύκλων εκφόρτισης-φόρτισης ενός συσσωρευτή μέχρις ότου σταματήσουν να πληρούνται κάποια συγκεκριμένα κριτήρια απόδοσης. Ο κύκλος ζωής προσδιορίζεται υπό ειδικές συνθήκες φόρτισης και εκφόρτισης και πάντα μέχρι ένα συγκεκριμένο βάθος/έκταση εκφόρτισης στους κύκλους εκφόρτισης-φόρτισης.
- **Ενεργειακή Πυκνότητα (Wh/L):** Είναι η ονομαστική ενέργεια ενός συσσωρευτή ανά μονάδα όγκου. Καθορίζει το απαιτούμενο μέγεθος ενός συσσωρευτή για την επίτευξη ενός δεδομένου ηλεκτρικού ρεύματος και είναι χαρακτηριστική της χημείας του συσσωρευτή καθώς και του αριθμού των στοιχείων που τον αποτελούν και του τρόπου σύνδεσης τους.
- **Πυκνότητα Ισχύος (W/L):** Ο όρος αυτός, εκφράζει την πυκνότητα του ενεργειακού περιεχόμενου του συσσωρευτή στη μονάδα του όγκου. Η χημική σύσταση του συσσωρευτή αλλά και ο αριθμός των στοιχείων που τον αποτελούν και ο τρόπος σύνδεσής τους είναι χαρακτηριστικά της πυκνότητας ισχύος. Το απαιτούμενο μέγεθος ενός συσσωρευτή καθορίζει την πυκνότητα ισχύος για την επίτευξη συγκεκριμένης απόδοσης.
- **Τάση φόρτισης:** Κάθε συσσωρευτής απαιτεί μία τάση για την πλήρη φόρτιση του, η τάση αυτή ονομάζεται τάση φόρτισης.
- **Απόδοση Συσσωρευτή:** Η απόδοση ενός συσσωρευτή εκφράζεται είτε σαν απόδοση ρεύματος είτε σαν ενεργειακή απόδοση. Στην πρώτη περίπτωση δίδεται από το λόγο του ηλεκτρικού φορτίου που παράγεται κατά την εκφόρτιση προς το φορτίο που αποθηκεύεται κατά τη φόρτιση, ενώ στη δεύτερη από το λόγο της ενέργειας που παρέχεται κατά την εκφόρτιση προς την ενέργεια που αποθηκεύεται κατά τη φόρτιση.
- **Εσωτερική Αντίσταση:** Πρόκειται για την ηλεκτρική αντίσταση στο εσωτερικό ενός συσσωρευτή. Η αντίσταση της φόρτισης διαφέρει από αυτή της εκφόρτισης και εξαρτάται από τη χημική σύσταση του συσσωρευτή. Επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, το μέγεθός του, το ρεύμα εκφόρτισης και τους κύκλους φόρτισης/εκφόρτισης που έχει υποστεί, δηλαδή από τη γενικότερη κατάστασή του. Η εσωτερική αντίσταση κάθε συσσωρευτή είναι απαραίτητο να είναι μικρή [87].

5.3.2 Είδη μπαταριών

Στην αγορά υπάρχουν διάφορα ήδη μπαταριών όσο αναφορά την χημική τους σύσταση. Στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 19, Πίνακας 20) διακρίνεται η χημική σύσταση μερικών πρωτεύοντων και δευτερευόντων συσσωρευτών

Πίνακας 19 Βασικά χαρακτηριστικά πρωτευόντων και εφαρμογές συσσωρευτών [88]

Σύστημα	Χαρακτηριστικά	Εφαρμογές
Leclanché Ψευδαργύρου άνθρακα + MnO ₂	Κοινοί, χαμηλού κόστους, διαθέσιμοι σε διάφορα μεγέθη	φακοί, ραδιόφωνα, παιχνίδια, εργαλεία
Μαγνησίου	Υψηλή χωρητικότητα, μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης	στρατιωτικοί πομποί-δέκτες, πομποί κινδύνου αεροσκαφών
Αλκαλικοί ψευδαργύρου διοξειδίου μαγγανίου	Οι πιο δημοφιλείς για γενική χρήση, καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες, μέτριο κόστος	οι πιο δημοφιλείς μεταξύ των πρωτευόντων συσσωρευτών με χρήση σε μια τεράστια ποικιλία φορητών συσκευών
Ψευδαργύρου οξειδίου αργύρου	Με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα (ανά μονάδα βάρους) μεταξύ των πρωτευόντων συσσωρευτών, επίπεδο προφίλ εκφόρτισης, καλή διατήρηση φόρτισης κατά την αποθήκευση, υψηλού κόστους	ακουστικά βαρηκοΐας, φωτογραφικές μηχανές, ρολόγια, πυραύλους, εφαρμογές εντός νερού και εφαρμογές στο διάστημα (τα μεγαλύτερα μεγέθη)
Ψευδαργύρου οξειδίου υδραργύρου	Με τη μεγαλύτερη χωρητικότητα (ανά μονάδα όγκου) μεταξύ των πρωτευόντων συσσωρευτών, επίπεδο προφίλ εκφόρτισης, καλή διατήρηση φόρτισης στην αποθήκευση	ακουστικά βαρηκοΐας, ιατρικές συσκευές (βηματοδότες), φωτογραφικές μηχανές, ανιχνευτές, αισθητήρες σε στρατιωτικό ανιχνευτικό εξοπλισμό
Καδμίου οξειδίου υδραργύρου	Καλή απόδοση σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες, καλή διατήρηση φόρτισης κατά την αποθήκευση, χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα	ειδικές εφαρμογές που απαιτούν λειτουργία σε ακραίες θερμοκρασίες και μεγάλη διάρκεια
Ψευδαργύρου-αέρα	Με τη μεγαλύτερη ενεργειακή πυκνότητα, χαμηλού κόστους, εξαρτώμενοι από τις περιβαλλοντικές συνθήκες	ειδικές εφαρμογές, ακουστικά βαρηκοΐας, βομβητές, ιατρικές συσκευές, φορητές συσκευές
Λιθίου - διαλυτής καθόδου (υγρού ή αερίου)	Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, καλή απόδοση σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών	μεγάλο φάσμα εφαρμογών που απαιτούν υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και καλή διατήρηση φόρτισης κατά την αποθήκευση
Λιθίου στερεής καθόδου	Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, καλή απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες,	ηλεκτρονικές ιατρικές συσκευές, κυκλώματα μνήμης, ασφάλειες

	μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης, ανταγωνιστική τιμή	
Λιθίου στερεού ηλεκτρολύτη	Χαμηλή ισχύς, πολύ μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης	

Πίνακας 20 Βασικά χαρακτηριστικά δευτερευόντων και εφαρμογές συσσωρευτών [88]

Σύστημα	Χαρακτηριστικά	Εφαρμογές
Μόλυβδου-οξέος: Αυτοκίνητα (SLI) Συστήματα έλξης (ισχύς κίνησης) Σταθεροί Φορητοί	Δημοφιλείς, χαμηλού κόστους, μέτριας ειδικής ενέργειας, υψηλού ρυθμού εκφόρτισης, με καλή λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες και χωρίς απαιτήσεις συντήρησης. Σχεδιασμένοι για έντονη εκφόρτιση 6-9 ωρών. Σχεδιασμένοι για λειτουργία σε κατάσταση αναμονής, με μεγάλη διάρκεια ζωής. Σφραγισμένοι, χαμηλού κόστους, χωρίς απαιτήσεις συντήρησης, μεγάλης χωρητικότητας, μέτριου κύκλος ζωής και με καλή διατήρηση φορτίου	Αυτοκίνηση, αεροσκάφη, θαλάσσια σκάφη. Βιομηχανικά οχήματα, χειρισμός υλικών, ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα. Παροχή ισχύος σε έκτακτη ανάγκη, τηλεφωνία, UPS, αποθήκευση ενέργειας. Φορητά εργαλεία, μικροσυσκευές και μικροεξοπλισμός, τηλεοράσεις και φορητός ηλεκτρονικός εξοπλισμός.
Νικελίου-σιδήρου	Ανθεκτικοί, στιβαρής κατασκευής, μεγάλης διάρκειας ζωής με χαμηλή ειδική ενέργεια	Αυτοκίνητα, τρένα, εφαρμογές έλξης και σταθερές εφαρμογές
Νικελίου-καδμίου: Βιομηχανικοί Φορητοί	Υψηλού ρυθμού εκφόρτισης, λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες, εξαιρετικός κύκλος ζωής, σταθερή τάση εκφόρτισης. Σφραγισμένοι, με καλούς ρυθμούς εκφόρτισης, λειτουργία σε χαμηλές θερμοκρασίες, εξαιρετικό κύκλο ζωής και χωρίς απαιτήσεις συντήρησης.	Αεροσκάφη, τηλεπικοινωνίες, βιομηχανικές εφαρμογές ισχύος και έκτακτης ανάγκης. Ηλεκτρονικός εξοπλισμός, φορητά εργαλεία, φωτογραφικές μηχανές, εφεδρικά συστήματα ισχύος σε αναμονή, συστήματα μνήμης
Νικελίου-ψευδαργύρου	Υψηλή ειδική ενέργεια, με καλό κύκλο ζωής και ρυθμό εκφόρτισης	Ποδήλατα, σκούτερ, μηχανές
Νικελίου-υδριδίων μετάλλων	Σφραγισμένοι, χωρίς απαιτήσεις συντήρησης, υψηλότερης χωρητικότητας από τις νικελίου καδμίου,	Συμβατικός ηλεκτρονικός εξοπλισμός και άλλες φορητές εφαρμογές,

	με καλή διατήρηση φόρτισης	ηλεκτρικά και υβριδικά οχήματα
Ψευδαργύρου-οξειδίου του αργύρου	Με την υψηλότερη ειδική ενέργεια, πολύ καλοί ρυθμοί εκφόρτισης, μικρός κύκλος ζωής, υψηλό κόστος	Μικρού βάρους φορητές ηλεκτρονικές και άλλες συσκευές
Καδμίου-οξειδίου του αργύρου	Υψηλή ειδική ενέργεια, καλή διατήρηση φόρτισης, μέσος κύκλος ζωής, υψηλό κόστος	Φορητές συσκευές που απαιτούν μικρού βάρους και υψηλής χωρητικότητας συσσωρευτές, διαστημικές εφαρμογές
Ψευδαργύρου – διοξειδίου του μαγγανίου	Χαμηλού κόστους, καλή διατήρηση χωρητικότητας, σφραγισμένοι, χωρίς απαιτήσεις συντήρησης, περιορισμένος κύκλος ζωής και ρυθμοί εκφόρτισης	Κυλινδρικά κελιά που χρησιμοποιούνται σαν επαναφορτιζόμενοι αντικαταστάτες πρωτεύοντων συστημάτων ψευδαργύρου άνθρακα, όξινων και αλκαλικών, σε ηλεκτρονικές εφαρμογές που λειτουργούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
Ιόντων λιθίου	Υψηλή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα, μεγάλος κύκλος ζωής	Ηλεκτρονικός εξοπλισμός, διαστημικές εφαρμογές, ηλεκτρικά αυτοκίνητα

5.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Η επιλογή μιας μπαταρίας, είναι μία απαραίτητη απόφαση για κάθε κατασκευαστή που χρειάζεται φορητή ενέργεια στη συσκευή του. Για τη διαδικασία αυτή απαιτείται η μελέτη των ενεργειακών αναγκών της συσκευής, αλλά και βασικών χαρακτηριστικών διαφόρων τύπων συσσωρευτών. Παρακάτω θα αναφερθεί ο τρόπος επιλογής μιας μπαταρίας.

Αναλυτικά, η πρώτη απόφαση του κατασκευαστή αφορά για το αν ο συσσωρευτής θα επαναφορτίζεται ή όχι, δηλαδή αν θα επιλεγθεί ένας πρωτεύον ή δευτερεύον συσσωρευτής. Αυτό βέβαια εξαρτάται και από την εφαρμογή (φορητός υπολογιστής ή ρολόι). Έπειτα με βάση τα χαρακτηριστικά, αλλά και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε ηλεκτροχημικού συστήματος και σε συνδυασμό με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, επιλέγεται το κατάλληλο ηλεκτροχημικό σύστημα.

Από τις σημαντικότερες όμως παραμέτρους των συσσωρευτών είναι η τάση λειτουργίας, η μέγιστη ή η ελάχιστη επιτρεπόμενη τάση, το προφίλ της καμπύλης εκφόρτισης, η ρύθμιση της τάσης. Χωρίς τη μελέτη των τάσεων του κυκλώματος του συστήματος, δεν μπορεί να γίνει η επιλογή. Η τάση όμως δεν αρκεί για το προσδιορισμό της μπαταρίας. Έτσι, υπάρχει ο όρος της χωρητικότητας που καθορίζει τη δυνατότητα παροχής ρεύματος και ισχύος.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλά και η θερμοκρασία λειτουργίας του συσσωρευτή είναι ορθό να προσμετρηθούν, για την αποφυγή τυχόν σφαλμάτων. Σε πολλούς τύπους μπαταριών απαιτείται ψύξη ή και σταθερή θερμοκρασία. Αντίστοιχα, σε άλλες μπαταρίες είναι απαγορευτική η έκθεση του σε πολύ θερμό ή ψυχρό περιβάλλον ακόμα και σε υγρό περιβάλλον.

Η διάρκεια ζωής μιας μπαταρίας κατά την αποθήκευση αλλά και η συντήρηση της, αν χρειάζεται, απασχολεί πολλούς κατασκευαστές. Ο χρόνος και οι συνθήκες αποθήκευσης του συσσωρευτή μελετάται ώστε να μην υπάρχουν απώλειες χωρητικότητας λόγω της αυτοεκφόρτισης. Είναι επιθυμητό οι ανάγκες συντήρησης να είναι μικρές και φυσικά χωρίς μεγάλο κόστος συντήρησης ή και αντικατάστασης. Αυτό φυσικά προϋποθέτει το χαμηλός κόστος του ίδιου του συσσωρευτή. Το κόστος του συσσωρευτή σε συνδυασμό με την απόδοση που μπορεί να έχει στο σύστημα, είναι βασικά κριτήρια επιλογής. Όμως ως κόστος δεν είναι μόνο το αρχικό κόστος (αγορά), είναι και το λειτουργικό (χρήση). Συνεπώς, η επιλογής ενός συσσωρευτή έχει να κάνει και με τη επαναλαμβανόμενη χρήση του προϊόντος.

Τέλος, το μέγεθος, το σχήμα και το βάρος παίζουν σημαντικό γνώμονα επιλογής. Για παράδειγμα, δεν θα μπορούσε κανείς να βάλει ίδιο όγκο μπαταρίας σε ένα αυτοκίνητο και σε ένα κινητό, διότι υπάρχει και περιορισμός μεγέθους αλλά και βάρους.

Συμπερασματικά, είναι αναγκαία η μελέτη όλων των παραπάνω χαρακτηριστικών για την αποτελεσματικότερη απόδοση του συσσωρευτή με βάση πάντοτε τις ενεργειακές ανάγκες και τις συνθήκες λειτουργίας του συστήματος.

5.4.1 Επιλογή μπαταρίας ExoGaitOR

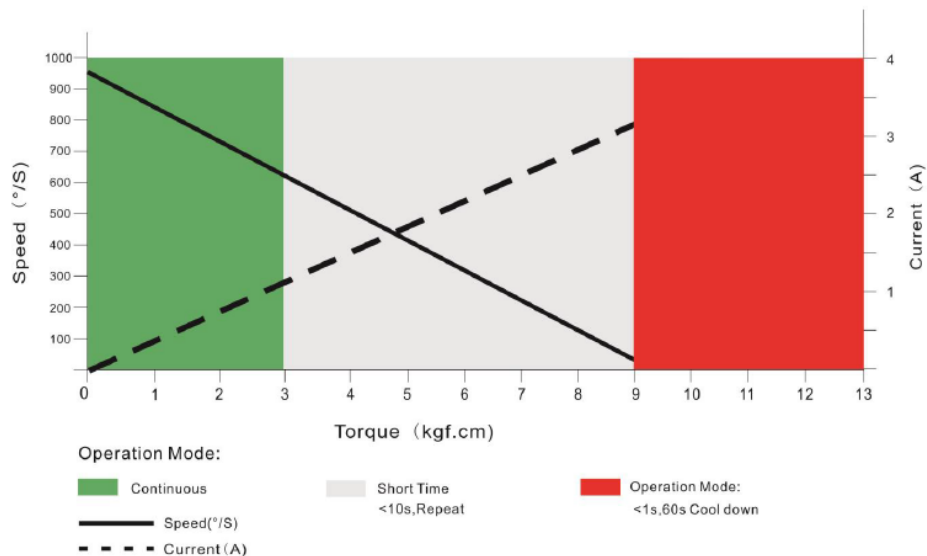
Μετά από ενδελεχή μελέτη των διαφόρων συσσωρευτών και γνωρίζοντας πως απαιτείται επαναφόρτιση του, αποφασίστηκε πως θα χρησιμοποιηθεί ένας δευτερεύον συσσωρευτής λιθίου, τύπου LiPo (Lithium Polymer Battery). Οι μπαταρίες αυτές είναι επαναφορτιζόμενες, τεχνολογίας ιόντων λιθίου και χρησιμοποιούν στερεό ηλεκτρολύτη αντί για υγρό-οργανικό ηλεκτρολύτη. Αποτελούν δηλαδή εξέλιξη και βελτίωση των συσσωρευτών λιθίου με οργανικό διαλύτη. Η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ αυτών των δύο συσσωρευτών είναι ο ηλεκτρολύτης. Η κάθοδος του ηλεκτρολύτη μπορεί να αποτελείται είτε από λίθιο είτε από κράμα λιθίου άνθρακα. Επίσης, η κάθοδος είναι πιθανό να συνίσταται ή από κράμα οξειδίου του λιθίου και κοβάλτιο ή από κράμα λιθίου και μαγανίου.

Συγκρίνοντας, λοιπόν τους διάφορους συσσωρευτές διαπιστώθηκε πως αυτοί με στερεό ηλεκτρολύτη πλεονεκτούν στο βάρος τόσο σε σχέση με τους ιόντων λιθίου όσο και με τους άλλους τύπους. Αυτό συμβαίνει και επειδή το περίβλημά τους είναι πλαστικό και όχι μεταλλικό όπως των ιόντων λιθίου. Άρα, διακρίνουμε έναν συσσωρευτή εξελιγμένο με μικρότερο βάρος ίδιο όγκο αλλά αυξημένη χωρητικότητα κατά περίπου 10%-20%. Στη συνέχεια αξιολογώντας τους συσσωρευτές Ni-Cd και Ni-MH με αυτόν του λιθίου με στερεό ηλεκτρολύτη παρατηρείται τρεις έως τέσσερις φορές μικρότερο βάρος. Επίσης, σημαντικό σε αυτούς του συσσωρευτές είναι πως έχουν ελάχιστη αυτοεκφόρτιση, δηλαδή δεν χάνουν την φόρτιση τους σε βάθος χρόνου. Επιπρόσθετα μπορούν να διαμορφωθούν σε οποιοδήποτε σχήμα και να συνδεθούν παράλληλα ώστε να αποδώσουν μεγαλύτερα ρεύματα εκφόρτισης. Είναι ευρέως διαδεδομένοι τόσο στη ρομποτική όσο και στις οικιακές φορητές συσκευές [89].

Στην περίπτωση του νάρθηκα ExoGaitOR, μελετήθηκε αρχικά η σύνδεση των επιμέρους μερών (κινητήρες, μικροελεγκτής και αισθητήρες). Επομένως, γνωρίζοντας

το συνολικό ρεύμα και τη συνολική τάση υπολογίστηκαν τα κατάλληλα κελιά και η απαιτούμενη χωρητικότητα της μπαταρίας. Εδώ θα πρέπει να εξηγηθεί, πως πολλαπλασιάζοντας το συνολικό ρεύμα με τις ώρες αυτονομίας - εκφόρτισης υπολογίζεται η χωρητικότητα της μπαταρίας.

Επίσης, στο περίβλημα των μπαταριών αναγράφεται ένας αριθμός και ο λατινικός χαρακτήρας "S", που προέρχεται από την αγγλική λέξη Series. Για παράδειγμα, αν αναγράφει "2S" σημαίνει πως η μπαταρία περιλαμβάνει δύο κελιά σε σειρές. Κάθε κελί έχει ονομαστική τάση 3.7 V. Επεξηγηματικά, μία μπαταρία με 2S, έχει 7.4 V ονομαστική τάση, ενώ μία 3S έχει 11.1 V [90].



Εικόνα 74 Διάγραμμα ροπής και έντασης ρεύματος για τον KSTX15-755X.

Τελικά, για τον κνημοποδικό κηδεμόνα ExoGaitOR η τάση που απαιτείται είναι 7,4 V, άρα η μπαταρία πρέπει να είναι 2S. Έπειτα, γνωρίζοντας το απαιτούμενο ονομαστικό ρεύμα από την Εικόνα 74, που αποδεικνύει την επιθυμητή ένταση ρεύματος για την απαιτούμενη ροπή από τον προτεινόμενο κινητήρα (4 A) και αποφασίζοντας ότι η χρήση του κηδεμόνα θα γίνεται για 1 ώρα, διαπιστώθηκε πως η μπαταρία θα πρέπει να είναι 4000 mAh και πάνω. Εδώ, να σημειωθεί πως η τροφοδότηση του μικροελεγκτή και του αισθητήρα θα γίνεται από ξεχωριστή μπαταρία, εξαιτίας της υψηλής τάσης που απαιτούν οι σερβοκινητήρες και της χαμηλής τάσης που απαιτεί ο μικροελεγκτής και ο αισθητήρας. Όσο αναφορά το ρυθμό αποφόρτισης προτιμάται να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Έτσι, για τη λειτουργία του συγκεκριμένου κνημοποδικού κηδεμόνα προτείνεται η παρακάτω μπαταρία (Εικόνα 75)



Εικόνα 75 Μπαταρία ExoGaitOR

5.5 ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

5.5.1 Μικροελεγκτές

Μικροελεγκτής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που μπορεί να προγραμματιστεί και διαθέτει επεξεργαστή, μνήμη, διάφορα περιφερειακά κυκλώματα καθώς επίσης και θύρες εισόδου/εξόδου για επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές. Παρατηρείται ευρεία χρήση στις εφαρμογές ελέγχου χαμηλούς και μεσαίου κόστους. Οι εφαρμογές αυτές μπορεί να είναι αυτοματισμοί, ηλεκτρονικά προϊόντα όπως οι φωτογραφικές μηχανές, ηλεκτρικές συσκευές και εφαρμογές της ρομποτικής.

Εξαιτίας της ανταγωνιστικής αγοράς υπάρχουν διάφοροι τύποι μικροελεγκτών στη βιομηχανία. Διαφέρουν κυρίως στην ποσότητα των πληροφοριών που έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύσουν και στον αριθμό και τον τύπο των ακροδεκτών που μπορούν να δεχτούν. Διαφορές όμως παρατηρούνται και στην ταχύτητα αποθήκευσης αλλά και στον τρόπο αποθήκευση (8 bit, 16 bit, 32 bit, 64 bit).

Οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή που αποθηκεύει, μετράει, εμφανίζει πληροφορίες ή υπολογίζει, αποτελείται από ένα τσιπ μικροελεγκτή εσωτερικά της. Η βασική δομή των μικροελεγκτών περιλαμβάνει τα παρακάτω μικροσυστήματα [91]

Πίνακας 21 Βασικά δομικά στοιχεία μικροελεγκτών [92]

Δομικό στοιχείο	Λειτουργία
Κεντρική Μονάδα επεξεργασίας (CPU)	Η CPU είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη λήψη των δεδομένων, την αποκωδικοποίηση και στο τέλος την ολοκλήρωση της εντολής που έχει δοθεί σε αυτή.
Μνήμη	Στην μνήμη αποθηκεύονται όλα τα προγράμματα και τα δεδομένα. Οι μικροελεγκτές είναι κατασκευασμένοι με συγκεκριμένη ποσότητα μνήμης ROM ή μνήμης RAM ή μνήμης Flash για την αποθήκευση των πηγαίων κωδικών του προγράμματος.
Θύρες εισόδου/εξόδου I/O	Οι θύρες αυτές χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση και την οδήγηση των διαφόρων εφαρμογών.

Σειριακές θύρες	Αυτές οι θύρες δίνουν σειριακές διεπαφές ανάμεσα στο μικροελεγκτή και σε διάφορα άλλα περιφερειακά, όπως η παράλληλη θύρα
Χρονομετρητής	Ο χρονομετρητής ή μετρητής ελέγχει όλες τις λειτουργίες μέτρησης και χρονισμού εντός του μικροελεγκτή. Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των εξωτερικών παλμών. Οι κύριες λειτουργίες που εκτελούνται από τον χρονομετρητή είναι οι παλμοί, οι λειτουργίες του ρολογιού, η μέτρηση της συχνότητας κλπ.
Μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό σήμα ADC	Χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακά (ψηφιακές εφαρμογές)
Μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό σήμα DAC	Χρησιμοποιούνται για να μετατρέψουν τα ψηφιακά σήματα σε αναλογικά (κινητήρες συνεχούς ρεύματος).
Έλεγχος ερμηνευτή	Αυτός ο ελεγκτής χρησιμοποιείται για να καθυστερήσει τον έλεγχο ενός προγράμματος. Ο ερμηνευτής μπορεί να είναι εσωτερικός ή εξωτερικός.
Special Functioning Block	Μερικοί ειδικοί μικροελεγκτές που κατασκευάζονται για ειδικές συσκευές όπως διαστημικά συστήματα, ρομπότ κλπ., αποτελούνται από αυτό το ειδικό μπλόκ λειτουργίας. Σε αυτό το μπλοκ υπάρχουν κάποιες επιπλέον θύρες για να πραγματοποιήσει κάποιες ειδικές λειτουργίες.

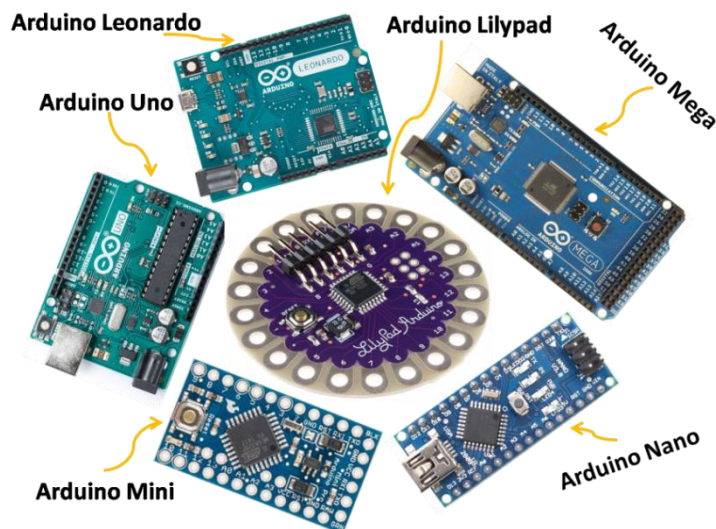
5.5.2 ARDUINO

Η ιστορία του Arduino ξεκινά από το 2005 στην Ιβρέα της Ιταλίας, προκειμένου να κατασκευαστεί μια συσκευή για τον έλεγχο διαδραστικών προγραμμάτων από μαθητές. Συνεπώς, πρόκειται μια οικονομική και εύκολη στη χρήση συσκευή.

Το Arduino είναι ένας μικροελεγκτής μονής πλακέτας, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοιχτού κώδικα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους. Η πλακέτα αυτή προγραμματίζεται σε γλώσσα Wiring. Πρόκειται για την γλώσσα προγραμματισμού C++ σε συνδυασμό με ένα σύνολο από βιβλιοθήκες. Είναι ανοιχτού υλικού και λογισμικού και βασίζεται σε μία αναπτυξιακή πλακέτα

Το Arduino σε σχέση με τις υπόλοιπες αναπτυξιακές πλατφόρμες πλεονεκτεί σε αρκετούς τομείς. Αρχικά, είναι μια πλατφόρμα εύκολη στη χρήση και στη μάθηση αρχαρίων. Έπειτα, συγκρίνοντας την με άλλες πλακέτες μικροελεγκτών, η πλακέτα του Arduino έχει χαμηλότερο κόστος. Κυριότερο πλεονέκτημα του είναι πως το λογισμικό του παρέχεται δωρεάν, είναι ανοιχτού λογισμικού

Μια πλακέτα Arduino απαρτίζεται από ένα μικροελεγκτή ATmega της AtmelAVR και από συμπληρωματικά εξαρτήματα. Μετά την κατασκευή του συμπεριφέρεται ως μικρός υπολογιστής, αφού περιλαμβάνει διάφορες θύρες εισόδου και εξόδου και δέχεται δεδομένα που τα επεξεργάζεται και τον προγραμματίζουν με τις κατάλληλες εντολές. Οι θύρες μπορεί να είναι αναλογικές ή ψηφιακές. Ουσιαστικά, είναι ακροδέκτες στους οποίους μπορεί κανείς να συνδέσει τα διάφορα εξωτερικά συστήματα. Ο κώδικας του προγράμματος αποθηκεύεται στη μνήμη Flash και σε συνδυασμό με τη μνήμη RAM εκτελείται ο κώδικας. Όλες οι πλακέτες περιλαμβάνουν ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης 5V και έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16MHz (ή κεραμικό αντηχητή σε κάποιες παραλλαγές). Η πλακέτα του Arduino τροφοδοτείται από τάση συνεχούς



Εικόνα 76 Διάφοροι τύποι πλακετών Arduino [95].

ρεύματος 7-12 V, ιδανική όμως τάση λειτουργίας είναι αυτή των 9 V. Διαφορετικά χρησιμοποιείται ένα κύκλωμα προστασίας που σταθεροποιεί την τάση στα 5 V. Μέσω της θύρας USB είναι εφικτή η επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή και η τροφοδοσία του Arduino. Ο μικροελεγκτής είναι από κατασκευής προγραμματισμένος με ένα κώδικα (Κώδικας ExoGaitOR) που προηγείται πριν το λειτουργικό σύστημα τρέξει, έτσι ώστε να μην χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής [93],[94].

Υπάρχουν διάφοροι τύποι Arduino, οι οποίοι διαφέρουν κυρίως στο μέγεθος, στον αριθμό ψηφιακών και αναλογικών θυρών εισόδου και εξόδου και ως προς την χωρητικότητα τους. Μερικοί από αυτούς φαίνονται στην Εικόνα 76.

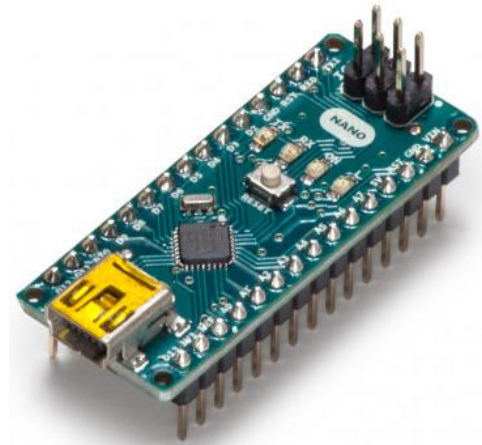
5.5.3 Επιλογή μικροελεγκτή για τον νάρθηκα ExoGaitOR

Για την επιλογή του Arduino χρειάστηκε η μελέτη των χαρακτηριστικών των διαφόρων τύπων Arduino και η πλήρη μελέτη και κατανόηση της συνδεσμολογίας της συγκεκριμένης εφαρμογής. Αναλυτικά, τα χαρακτηριστικά που οδήγησαν στην επιλογή του Arduino Nano (Εικόνα 77) είναι η μνήμη αποθήκευσης, ο αριθμός των αναλογικών και των ψηφιακών θυρών που περιλαμβάνει ο συγκεκριμένος τύπος Arduino, και η συχνότητα λειτουργίας του (Πίνακας 22). Έτσι, ο συνδυασμός του μεγέθους του κώδικα, του αριθμού των περιφερειακών συστημάτων που θα συνδεθούν με το Arduino και της ταχύτητας επεξεργασίας των δεδομένων επιλέγεται ο τύπος του

Arduino. Σημαντικά όμως χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή Arduino είναι το χαμηλό κόστος του και το μικρό μέγεθος του.

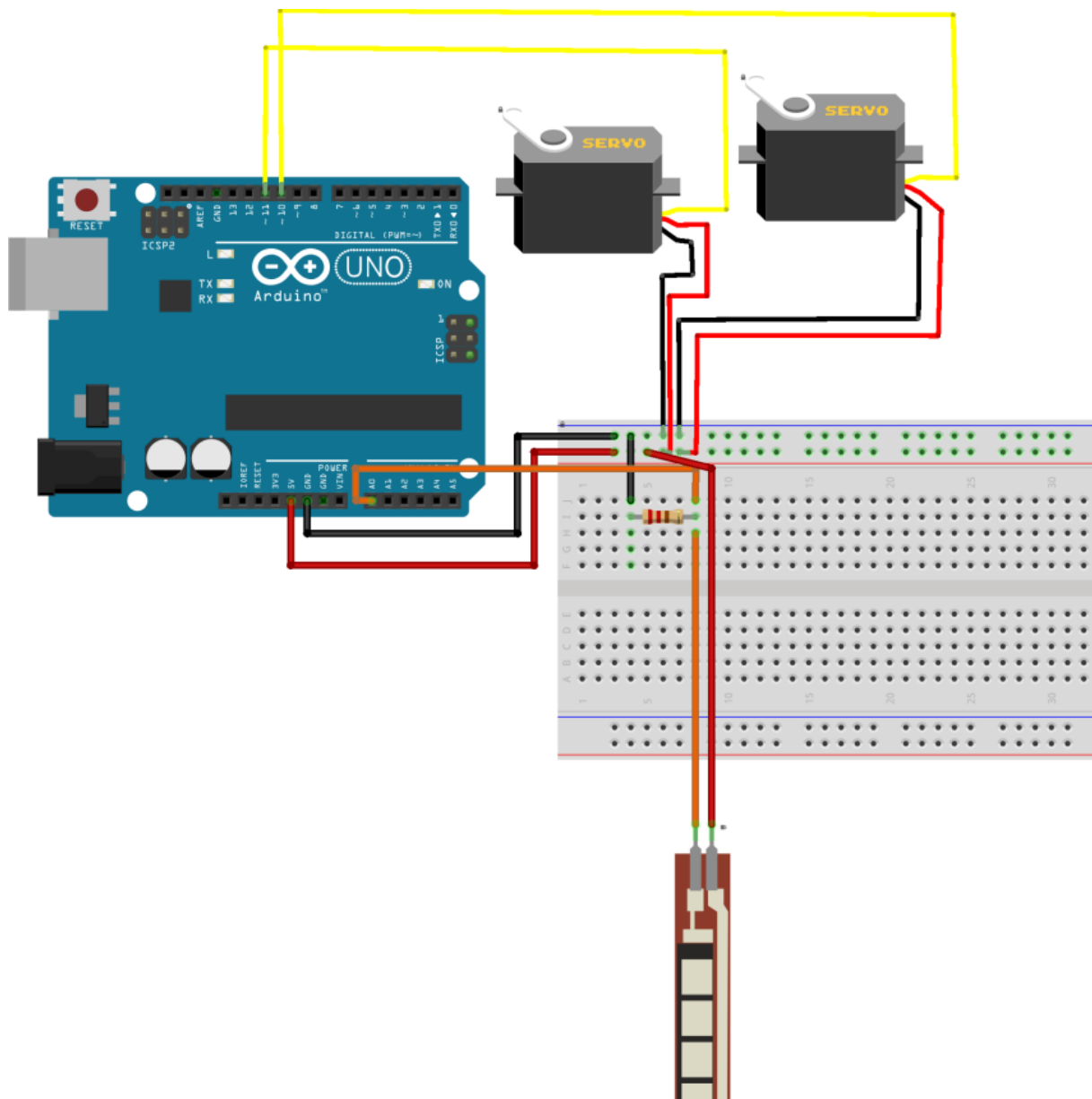
Πίνακας 22 Χαρακτηριστικά Arduino Nano [95]

Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση λειτουργίας	5V
Τάση εισόδου	7-12V
Τάση εισόδου (όρια)	6-20V
Ψηφιακά I/O Pins	14
Αναλογικές εισόδους	8
PWM εισόδους	6
DC ρεύμα ανά I/O Pin	20 mA
DC Ρεύμα για 3.3 VPin	50 mA
Μνήμη Flash	32 KB
Μνήμη SRAM	2 KB
Μνήμη EEPROM	1 KB
Ταχύτητα (Clock Speed)	16 MHz



Εικόνα 77 Μικροελεγκτής Arduino nano[95]

5.5.4 Συνδεσμολογία νάρθηκα ExoGaitOR



6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ExoGaitOR

Η κατασκευή της όρθωσης «ExoGaitOR», πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο του τμήματος των Μηχανολόγων Μηχανικών, με τη βοήθεια των καθηγητών Τσίρκα Σωτήριο και του κ. Γραμματικόπουλο Σπυρίδων. Πρόκειται για μία προσομοίωση του κνημοποδικού κηδεμόνα που μελετήθηκε στα παραπάνω κεφάλαια.

6.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΜΕ ΓΥΨΟΓΑΖΑ

Το τελικό μοντέλο της όρθωσης ExoGaitOR είναι κατασκευασμένο από σύνθετο υλικό (ύφασμα ανθρακονήματος με εποξικό σύστημα). Είναι επιθυμητό το τελικό κομμάτι να αγκαλιάζει το πόδι του ασθενή και να ακολουθεί την γεωμετρία του πέλματος και της κνήμης του, εφόσον πρόκειται για μια κνημοποδική όρθωση. Στα σύγχρονα εργαστήρια εμβιομηχανικής, υπάρχουν προηγμένες μέθοδοι για την απεικόνιση και προσομείωση των μελών του σώματος. Όμως εξαιτίας της έλλειψης διαθεσιμότητας του αντίστοιχου εξοπλισμού, πραγματοποιήθηκε δημιουργία καλουπιού με την βοήθεια ενός προσθετικού μέλους. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

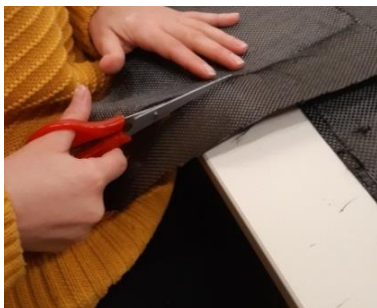


1. Συλλογή των υλικών (μοντέλο καλουπιού, διαφανής μεμβράνη, γυψόγαζα, νερό, κοπίδι)
2. Εφαρμογή της διάφανης μεμβράνης στην επιφάνεια που επιθυμούμε να πάρουμε το καλούπι μας (Εικόνα 79α).
3. Κόψιμο της γάζας σε επιθυμητές διαστάσεις, για την διευκόλυνση της εφαρμογής.
4. Εμβαπτισμός του κομματιού γυψόγαζας, σε νερό.
5. Εφαρμογή βρεγμένης γυψόγαζας, στο μοντέλο του ποδιού και ομοιόμορφη κατανομή του γύψου με απαλές κινήσεις των χεριών (Εικόνα 80 Εφαρμογή σύνθετων υλικών (Εικόνα 80β).
6. Αφήνουμε το καλούπι να στεγνώσει (ο χρόνος είναι ανάλογος των στρώσεων, όσο περισσότερες στρώσεις, τόσο περισσότερο χρόνο χρειάζεται για την απομάκρυνση της υγρασίας) (Εικόνα 79γ).
7. Με το κοπίδι χωρίζουμε το καλούπι σε κατάλληλα τμήματα, για την ασφαλή αφαίρεση τους από το μοντέλο (Εικόνα 79δ).
8. Ξανά με την γνωστή διαδικασία (βήματα 3,4,5,6) ενώνουμε τα κομμάτια του καλουπιού μας.

6.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η όρθωση ExoGaitOR, αποτελείται από σύνθετο υλικό. Αποτελείται από ύφασμα ανθρακονήματος και εποξικό σύστημα (ρητίνης και σκληρυντή). Η διαδικασία της κατασκευής της όρθωσης αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

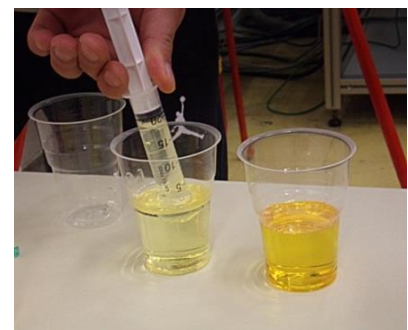
1. Διαίρεση του υφάσματος ανθρακονήματος σε κομμάτια, για την κατάλληλη εφαρμογή τους πάνω στο καλούπι. (Εικόνα 80α)
2. Μέτρηση των αναλογιών ποσότητας εποξικής ρητίνης και σκληρυντή. (Εικόνα 80β, Εικόνα 80γ)
3. Πρόσμιξη του εποξικού συστήματος.
4. Εμποτισμός υφάσματος με τη ρητίνη. (Εικόνα 80δ)
5. Εφαρμογή του βρεγμένου υφάσματος στο καλούπι. (Εικόνα 80στ)
6. Το μοντέλο θα παραμείνει, μέχρις ότου απομακρυνθεί η υγρασία και στεγνώσει. (Εικόνα 80ε)
7. Αφαίρεση του σύνθετου υλικού από το καλούπι (πέλματος και κνήμης).
8. Σχεδιασμός των βοηθητικών γραμμών, για τη διαδικασία της κοπής.
9. Κοπή σύνθετων υλικών με την βοήθεια ενός ηλεκτρικού τροχού



α) Διαίρεση υφάσματος



β) Εποξικό σύστημα



γ) Δοσολογίες ρητίνης και σκληρυντή



δ) Εμποτισμός υφάσματος



ε) Τα σύνθετα παραμένουν μέχρι να στεγνώσουν



στ) Εφαρμογή βρεγμένου υφάσματος



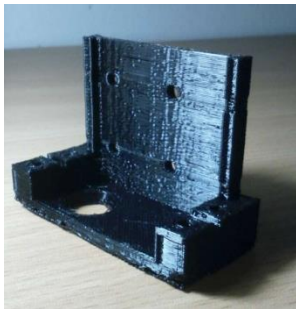
ζ) Κοπή με ηλεκτρικό τροχό

Εικόνα 80 Εφαρμογή σύνθετων υλικών

6.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ 3D ΕΚΤΥΠΩΜΕΝΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ

Κάποια από τα μέρη του μοντέλου παρουσίασης, της όρθωσης ExoGaitOR, είναι κατασκευασμένα από 3D printer. Τα μέρη αυτά είναι:

- Τα κωνικά γρανάζια (Εικόνα 81β)
- Οι άξονες σύνδεσης (Εικόνα 81γ)
- Οι βάσεις στήριξης, των κινητήρων (Εικόνα 81α)
- Θήκη Arduino (Εικόνα 81δ)



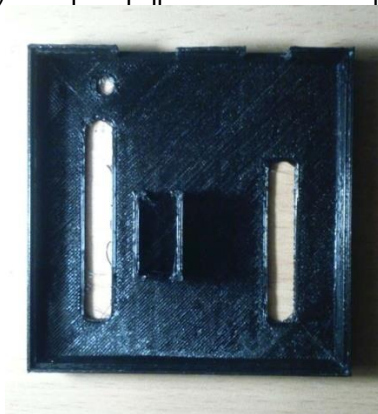
α) Βάση κινητήρα



β) Κωνικά γρανάζια



γ) Κομμάτια σύνδεσης



δ) Θήκη Arduino

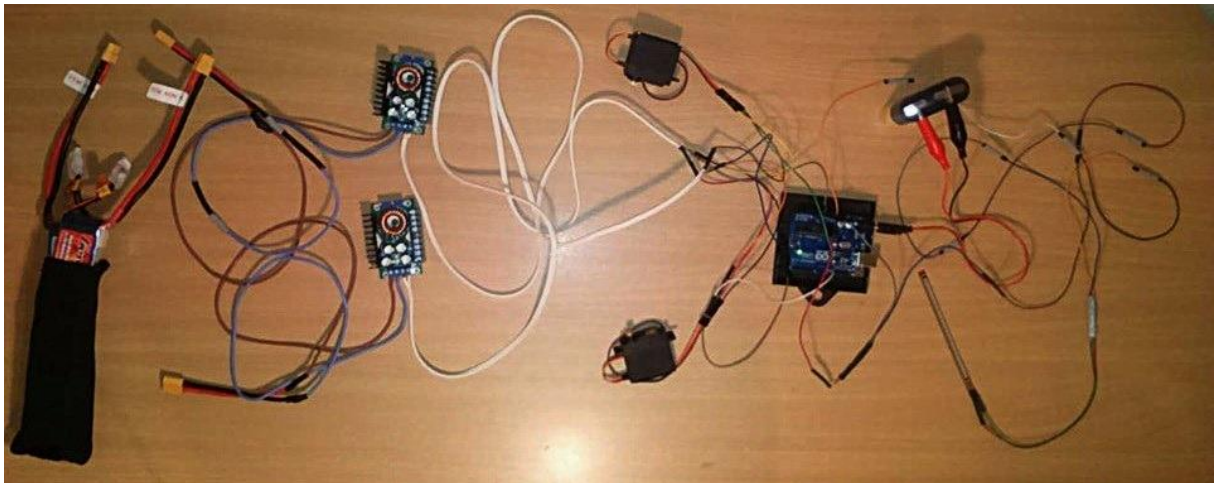


Εικόνα 81 Εκτυπωμένα εξαρτήματα

6.4 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός της προσομοίωσης ExoGaitOR (Εικόνα 82) αποτελείται από:

- Μπαταρίες (Gens ace 2200mAh 11.1V 45C 3S1P Lipo **Battery** Pack with XT60 plug)
- Solderless MB-102 **Breadboard** 830 Tie Points For Arduino
- Καλώδια
- Κινητήρες (MG995 **Servo**-Metal Gear High Speed Torque Motor for Arduino)
- 300W DC-DC Max 9A **Step Down** Buck Converter 5-40V To 1.2-35V Adjustable Power Supply Module LED Driver
- Μικροελεγκτής (**Arduino** UNO R3 Atmega328P Board with USB Cable)
- Φορτιστής (IMAX B6 DC **Charger** 5A 50W)



Εικόνα 82 Σύνδεση ηλεκτρονικού εξοπλισμού

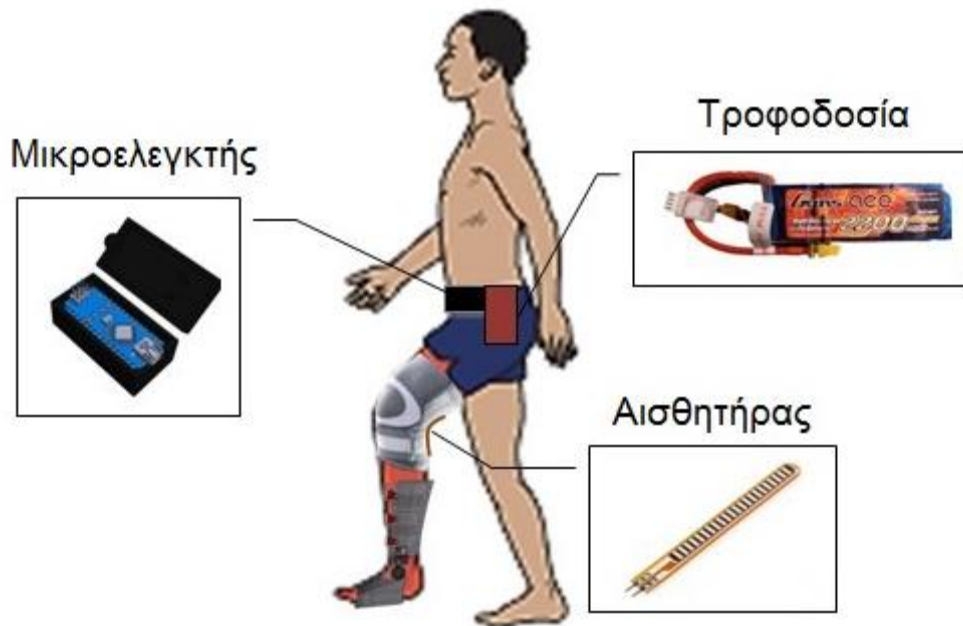
6.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ «ExoGaitOR»



Εικόνα 83 Κατασκευαστικό μοντέλο ExoGaitOR.

Στην παραπάνω εικόνα, εμφανίζεται η σύνδεση των επιμέρους κομματιών. Τα δύο μέλη της όρθωσης (ο νάρθηκας της κνήμης και ο νάρθηκας του πέλματος) συγκρατούνται με την τοποθέτηση του μηχανισμού στην περιοχή των οπών, στο ύψος του αστραγάλου. Ο μηχανισμός περιλαμβάνει τα δύο συνεργαζόμενα ευθύγραμμα κωνικά γρανάζια, που συγκρατούνται μεταξύ τους με δύο ειδικά διαμορφωμένα κομμάτια στήριξης και συνδεσμολογία κοχλιών-παξιμαδιών. Ο άξονας που συνδέει τα

δύο γρανάζια, παρουσιάζει μια εγκοπή στο πίσω μέρος με σκοπό να παρασύρει και να περιστρέφει το νάρθηκα του πέλματος, για την πραγματοποίηση της ανύψωσης του πέλματος. Το μπροστινό κομμάτι με τη διαμόρφωση των τριών οπών, το οποίο στηρίζεται πάνω στο γρανάζι, προσδίδει σταθερότητα στον μηχανισμό. Συγκεκριμένα, στη μέση του ασθενή στηρίζονται ο μικροελεγκτής και τα στοιχεία τροφοδοσίας, τοποθετημένα εσωτερικά σε διαμορφωμένες θήκες. Ενώ ο αισθητήρας κάμψης είναι τοποθετημένος στο πίσω μέρος του γόνατος, σε μία ελαστική επιγονατίδα, σταθεροποιημένος με ραφή που περιορίζει πλευρικά την μετακίνηση του από την επιθυμητή θέση εφαρμογής του. Στη συνέχεια απεικονίζονται τα μέρη τοποθέτησης και του υπόλοιπου εξοπλισμού.



Εικόνα 84 Τοποθέτηση επιμέρους τμημάτων συσκευής ExoGaitOR

6.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ExoGaitOR

Για την ολοκλήρωση μιας κατασκευής εκτός από την εύρεση των τεχνικών χαρακτηριστικών της απαιτείται η ανάλυση και η αξιολόγηση του κόστους των εκάστοτε μερών της. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η κατασκευή ενός κνημοποδικού κηδεμόνα. Στον Πίνακα 23 φαίνεται μια πρώτη εκτίμηση του κόστους των τμημάτων της κατασκευής.

Πίνακας 23 Κόστη εξαρτημάτων

	Τεμάχιο	Τιμή μονάδας (€)	Τιμές (€) Εξαρτημάτων ExoGaitOR
Αισθητήρας κάμψης	1	20	20.00
Σερβοκινητήρες	2	85	170.00
Ρουλεμάν	2	22	44.00
Καλώδια	1.5 m	16,30	24.40
Ελαστικός Νάρθηκας	1	4	4.00
Μικροελεγκτής	2	10	20.00
Μπαταρία σερβοκινητήρων	1	25	25.00
Μπαταρία μικροελεγκτή	1	5	5.00
Γρανάζια	4	10	40.00
Εκτυπωμένα εξαρτήματα	6	5	30.00
Σύνθετο υλικό	2 m ²	36	72.00
Λοιπά έξοδα	-	20	20.00
Εργατώρε	5	20	100
Σύνολο			594.40

Αν θεωρηθεί ότι για να κατασκευαστεί κάτι τέτοιο χρειάζεται περίπου 5 ώρες και η εργατώρα κοστολογείται 20 ευρώ τότε για την κατασκευή του χρειάζονται 100 ευρώ για την πληρωμή του εργοζόμενου. Άρα συνολικά απαιτούνται 594.40 ευρώ.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ατόμων με δυσκολία στη ραχιαία κάμψη. Η αντιμετώπιση που προτείνεται είναι η εφαρμογή μιας ενεργητικής όρθωσης ικανής να βελτιώσει τον τρόπο βάδισης των ασθενών. Η όρθωση αυτή εφαρμόζεται από το σημείο την κνήμης έως και το σημείο του πέλματος, γι αυτό το λόγο αναφέρεται και ως κνημοποδικός κηδεμόνας.

Βασικό μέλημα της κατασκευής αυτής ήταν να γίνει όσο το δυνατόν πιο ελαφριά. Γι αυτό το λόγο επιλέξαμε σύνθετα υλικά υψηλής αντοχής και χαμηλού βάρους. Έτσι, μελετήθηκε η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων στρώσεων συνθέτου υλικού. Αρχικά, έγινε δοκιμή χρήσης τριών στρώσεων και έπειτα προστέθηκε μια επιπλέον στρώση στα σημεία με της περισσότερες φορτίσεις. Να σημειωθεί επίσης πως για την ανάλυση αντοχής του κηδεμόνα τα φορτία που λήφθηκαν είναι αυτά της ροπής που απαιτεί ο ασθενής να καλύψει και η αντίδραση του εδάφους. Αντίθετα, για την επιλογή του κινητήρα το φορτίο που λήφθηκε είναι μόνον αυτό του βάρους του πέλματος, καθώς ο μηχανισμός υποβοηθά στην ανασήκωση του πέλματος κατά τη φάση της αιώρησης. Με τη χρήση μεγαλύτερων κινητήρων μπορεί να υποβοηθήσει καθ' όλη τη διάρκεια της βάδισης.

Η εντολή κίνησης του μηχανισμού δίδεται από έναν αισθητήρα κάμψης. Ο αισθητήρας αυτός τοποθετείται στο γόνατο και με τη μελέτη του κύκλου βάδισης διαπιστώθηκε πως υπάρχει σύνδεση των γωνιών του γόνατος με αυτών του πέλματος. Επίσης, κατά τη χρήση του αισθητήρα κάμψης παρατηρήθηκε πως οι μεμβράνες του φθείρονται εύκολα. Έτσι, μελετάται η χρήση κάποιου άλλου αισθητήρα μεγαλύτερης αντοχής και καλύτερης ακρίβειας.

Για την επιλογή του κινητήρα εξετάστηκε και η χρήση κινητήρων χωρίς ψήκτρες εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους. Όμως επειδή λειτουργούν με μεγάλες ταχύτητες περιστροφής απαιτήθηκε η μελέτη ενός μειωτήρα, κάτι πολύ χρονοβόρο και δυσεπίλυτο. Έπειτα μελετήσαμε τη λειτουργία των σερβοκινητήρων συμπεράναμε πως πλεονεκτούν στην εφαρμογή του ExoGaitOR.

Επιπρόσθετα, για τη μείωση του όγκου και του βάρους της συσκευής μελετήθηκαν διάφοροι μηχανισμοί. Τελικά, συμπεράναμε πως ο κατάλληλος ήταν αυτός με τη χρήση κωνικών γραναζιών εξαιτίας της υψηλής σχέσης μετάδοσης που μπορούν να προσφέρουν σε συνδυασμό με τη μικρή διάμετρο. Έτσι, με τη χρήση υψηλής σχέσης μετάδοσης μειώνεται και ο όγκος του σερβοκινητήρα.

Αξιοσημείωτο είναι επίσης, ότι ο ExoGaitOR μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να καλύψει τις ανάγκες του κάθε ασθενή, καθώς προσαρμόζεται και ρυθμίζεται σύμφωνα με τον κύκλο και την ταχύτητα βάδισης του ασθενή. Το χαμηλό βάρος, η εύκολη τοποθέτηση αλλά και η αντοχή και η ευελιξία που προσφέρει είναι μερικά από τα πλεονεκτήματά του.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗ

Σε αυτή την εργασία περιέχονται πληροφορίες από την έρευνα και τη δουλειά που έχει πραγματοποιηθεί για τον κνημοποδικό νάρθηκα ExoGaitOR. Με την ολοκλήρωση του αρχικού κύκλου εργασιών, στο τέλος ερευνώνται πιθανές βελτιώσεις και περαιτέρω έρευνες.

Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται μελέτη της επίδρασης του νάρθηκα σε ασθενή, ώστε να παρατηρηθεί η λειτουργία του και αν είναι φιλικό ως προς τον χρήστη. Ενώ, σημαντικό στοιχείο είναι η προσθήκη κατάλληλου υλικού επένδυσης, για τις εσωτερικές επιφάνειες του νάρθηκα, ώστε να μην υπάρξουν τραυματισμοί της ευαίσθητης επιφάνειας του δέρματος. Όσον αφορά την ασφάλεια του μηχανισμού, η δημιουργία καλύμματος είναι απαραίτητη, για την αποφυγή περιτυλίξεως ινών, κατά την περιστροφή του μηχανισμού. Ακόμα, η εξέταση της περίπτωσης, ο κηδεμόνας να χρησιμοποιείται για την πλήρη υποβοήθηση του κύκλου βάρδισης.

Και ένας νέος κύκλος εργασιών απαρτίζεται, αρχικά από το σχεδιασμό και την εφαρμογή κωνικών γραναζιών με ελικοειδή οδόντωση. Επίσης η προσθήκη αισθητήρων, για πιο ακριβή αποτελέσματα και αποφυγή σφαλμάτων. Παράλληλα τροποποίηση του κώδικα, βάση των νέων δεδομένων.

Τέλος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ακουστικός προειδοποιητής, που θα δίνει στον ασθενή την πληροφορία της εκτελούμενης κίνησης του κάτω άκρου του. Καθώς πολλοί από τους ασθενείς, χάνουν σταδιακά την αίσθηση των κάτω άκρων. Ο ήχος θα αντικαταστήσει το ερέθισμα που παλιότερα έδιναν τα νεύρα του πέλματος, ώστε ο ασθενής να έχει την αντίληψη της εκτελούμενης κίνησης του κάτω άκρου του.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] EN ISO 8549-1:1989: Prosthetics and orthotics — Vocabulary
- [2] The Fascinating History of Foot Orthotics. Διαθέσιμο σε: <https://biotechpossibilities.com/fascinating-history-foot-orthotics/>
- [3] History of the orthotic devices. Διαθέσιμο σε : <https://www.reh4mat.com/en/orc/history-of-the-orthotic-devices/>
- [4] Exoskeleton – a dream that becomes a reality in the modern world. Διαθέσιμο σε <https://hitecher.com/articles/exoskeleton-a-dream-that-becomes-a-reality-in-the-modern-world>
- [5] Orthotics. Διαθέσιμο σε: <https://en.wikipedia.org/wiki/Orthotics>
- [6] Mayank Anthwal, Biomechanical principles of orthotics, Dec 21, 2015, 11-34
- [7] Jaya Yadav, Orthosis. Διαθέσιμο σε: <https://www.slideshare.net/JayaYadav/orthosis>
- [8] The design and control of active ankle-foot orthosis, Kenneth Alexander Shorter, 2011,
- [9] Στεργιούλας Α, Αγγελίδης Χ, Κινησιολογία, Τομέας υγείας και πρόνοιας, Αθήνα 2001
- [10] Σ.Σεραφειμίδης, Ειδικό όργανο μέτρησης και καταγραφής ισορροπίας και βάρδισης ανθρώπων, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Συστημάτων, ΑΕΙ Πειραιά Τ.Τ.
- [11] Ε.Κέλλης, Αρχές Κινητικής Ανάλυσης, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα και βοηθήματα Διαθέσιμο σε : www.kallipos.gr
- [12] Αλεξόπουλος Λεωνίδας, Εμβιομηχανική <https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/MECH114/Σημειώσεις/4o.pdf>
- [13] Kinetics, Wien Gang Labor kinetics, Gait Lab Διαθέσιμο σε: <http://www.clinicalgaitanalysis.com>
- [14] Movements of the body, Διαθέσιμο σε: <http://aspecrowder.blogspot.com/2014/09/movements-of-body.html>
- [15] Modele cinematique corpshumain, Διαθέσιμο σε: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Modele_cinematique_corps_humain.svg
- [16] Αποστόλης Νικολόπουλος, Παραμετροποίηση ενιαίου ολοκληρωμένου συστήματος ανάλυσης βάρδισης, 2014
- [17] Robert W. Soutas-Little, Motion analysis and Biomechanics, , Michigan State University in East Lansing, Michigan.
- [18] Nancy Hamilton, Ph.D., Wendi Weimar, Ph.D., Kathryn Luttgens, Ph.D. Kinesiology: Scientific Basis of Human Motion, 12e
- [19] Umberger, B. R., & Martin, P. E. Mechanical power and efficiency of level walking with different stride rates. Journal of Experimental Biology, 210(18), 3255–3265.
- [20] Θ. Τσαταλάς, Δ. Τσαόπουλος, Β. Σιδέρης, Α Τσίοκανος , Γ.Γιάκας, Κλινική ανάλυση βάρδισης. Διαθέσιμο σε: www.kallipos.gr
- [21] Σοφία Α. Ξεργιά, Βάρδιση, Τμήμα Φυσιοθεραπείας Διαθέσιμο σε: http://tsaklis.com/yahoo_site_admin/assets/docs/Βάρδιση.14924846.pdf
- [22] Κύριες & Επιμέρους Φάσεις του Κύκλου της Βάρδισης Διαθέσιμο σε: <https://sites.google.com/site/badisegait/physiologike-badise/kyries-phaseis-tou-kyklou-tes-badises>
- [23] The eight phases of human gait cycle, Διαθέσιμο σε: <https://www.streifeneder.com>
- [24] Muro de ls Herran A, Garcia Zapirain B, Mendez Zorrilla A, Gait analysis methods: An overview of wearable and non-wearable systems, Highlighting clinical applications, Sensors 2014, 14, 3362-3394

- [25] Vicon Motion Systems Διαθέσιμο σε: <http://apamed.com.br/vicon.php>
- [26] Tomasz Hachaj, Marcin Piekarczyk, Marek R. Ogiela, Human Actions Analysis: Templates Generation, Matching and Visualization Applied to Motion Capture of Highly-Skilled Karate Athletes, Διαθέσιμο σε: <https://www.mdpi.com/1424-8220/17/11/2590/html>
- [27] Christopher Glaeser, A Buyer's Guide to IMU Sport Sensor Devices for Professionals Διαθέσιμο σε: <https://simplifaster.com/articles/buyers-guide-imu-sensor-devices/>
- [28] Engineering solutions to foot drop Διαθέσιμο σε: <https://wiki.ucl.ac.uk/display/BECS/Engineering+solutions+to+foot+drop>
- [29] Henry Gray [1918] Anatomy of the Human Body.
- [30] Μυς του κάτω άκρου - πρόσθια επιφάνεια. Διαθέσιμο σε: <https://www.care.gr/post/57/mys-tou-kato-akrou-prosthia-epifaneia>
- [31] Harish Kumar Banga, Dr R.M. Belokar, Dr Rajesh Kumar. Comparison of Foot Drop patients with Normal Person by Gait Analysis, IJETMAS, January 2017,
- [32] Foot drop Διαθέσιμο σε: https://en.wikipedia.org/wiki/Foot_drop
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4899/1/02_chapter_07.pdf
- [33] I. Wiszomirska, M. Błażkiewicz, K. Kaczmarczyk, G. Brzuszkiewicz-Kuźmicka, and A. Wit, Effect of Drop Foot on Spatiotemporal, Kinematic, and Kinetic Parameters during Gait, Applied Bionics and Biomechanics, Hidawi, 11 April 2017
- [34] Technical Data, KGSSTOCKGEARS
- [35] Spur Gear Διαθέσιμο σε: <https://www.indiamart.com/proddetail/spur-gear-15890246548.html>
- [36] Racks, Διαθέσιμο σε: <https://nordic.kramp.com/store/dk/en/product/251334>
- [37] Internal gear Διαθέσιμο σε: <https://qtcgears.com/products/internalgears.php>
- [38] Halibrand V8 6 Spline 1 3/8" Helical Quick Change Gears, Set 14 <https://www.walmart.com/ip/6-Spline-1-3-8-Helical-Gears/703307598>
- [39] Cutting formula module 4 gear and helical rack for cnc Διαθέσιμο σε: https://www.alibaba.com/product-detail/Cutting-formula-module-4-gear-and_60797277562.html
- [40] Διαθέσιμο σε: <http://www.pearltrees.com/adammarshall282/gearbox/id9915545/item96326147>
- [41] Bevel Gear Set Διαθέσιμο σε: <http://www.vsnengg.com/bevel-gear-set-5204731.html>
- [42] ENGRENAGEM CÔNICA / DE DENTES RETOS / DE EIXO / DE EIXO Διαθέσιμο σε: <https://www.directindustry.com/pt/prod/wmh-herion-antriebstechnik-gmbh/product-25949-454278.html>
- [43] Angular Straight Bevel Gear, Διαθέσιμο σε: <https://www.indiamart.com/proddetail/angular-straight-bevel-gear-13493770712.html>
- [44] Boston Gear Spiral Bevel Gear Sets for Military Helicopter Gun Systems, Διαθέσιμο σε: <https://www.altramotion.com/newsroom/2018/10/ap-spiral-bevel-gear-sets-for-military-helicopter-gun-systems>
- [45] Silver Stainless Steel Face Gears, 1 To 10 Module, Διαθέσιμο σε: <https://www.indiamart.com/proddetail/face-gears-8082228433.html>
- [46] Hypoid Gear for Super Sports, Διαθέσιμο σε: https://www.showa1.com/en/technology/automobile/hypoid_gear.html
- [47] Gears Part 2: 5 Common Gear Types Διαθέσιμο σε: <https://blog.misumiusa.com/blog-post-738/>
- [48] WORM WHEELS <https://www.indiantradebird.com/anil-cnc-&-gears/worm-wheels/ITB-D66467F6>
- [49] JT Sprockets Gear Box Διαθέσιμο σε: https://www.itxegoods.com/index.php?main_page=product_info&products_id=332620

- [50] Signode 020510 TH-114 Tensioner Ratchet Gear Διαθέσιμο σε <https://www.amazon.in/Signode-020510-TH-114-TensionerRatchet/dp/B01A9VMUWK>
- [51] 5M Timing Pulley Belt Set Kit Reducer Ratio 3:1 For CNC Engraving hinc Tool Διαθέσιμο σε : <https://www.walmart.ca/en/ip/5M-Timing-Pulley-Belt-Set-Kit-Reducer-Ratio-3-1-For-CNC-Engraving-hinc-Tool/PRD64C7NCFSLN42>
- [52] Γιώργος Μπαλιώτης, Μετάδοση κίνησης με γρανάζια και αλυστροχούς,. Διαθέσιμο σε: <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=359>
- [53] ANSI/AGMA 2005-D03. Design Manual for Bevel Gears, Approved November 2001, 36 pages
- [54] Γιαννόπουλος Ανδρέας, Στοιχεία μηχανών, ΕΚΔΟΤΙΚΟΣ ΟΜΙΛΟΣ ΙΩΝ
- [55] Β. Μελισσαροπούλου ,Μελέτη μηχανικής συμπεριφοράς εδράνων κύλισης με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδος
- [56] J. P. Karenda, Διερεύνηση αξιοπιστίας του μετασχηματισμού HilbertHuang ως εργαλείο ανίχνευσης βλαβών σε μηχανολογικές διατάξεις. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών , ΑΠΘ
- [57] Διαθέσιμο σε: <https://www.brandeps.com/logo/S/SolidWorks-01>
- [58] Σύνθετα υλικά. Διαθέσιμο σε: courseware.mech.ntua.gr
- [59] Ζουφιάκος Κωνσταντίνος, Επίδραση γραφενικών νανοπροσθηκών σε σύνθετο μονοστρωματικό υλικό εποξικής ρητίνης/υαλουφάσματος, Αθήνα, Οκτώβριος 2016
- [60] Gurit, Guide to composite, Διαθέσιμο σε: www.gurit.com
- [61] W. D. Callister, Jr / DavidG. Rethwisch, Επιστήμη και τεχνολογία των υλικών, 5^η έκδοση,
- [62] R.F. Floral, S.T. Peters, "Composite Structures and Technologies"
- [63] R. M. Jones. Mechanics of composite materials, 2th Edition, Brunner-Routledge, NewYork&London.105-106
- [64] How are materials classified?, Διαθέσιμο σε: <https://www.ae.msstate.edu/vlsm/materials/otherfaq/otherfaq.htm>
- [65] ΣΥΝΘΕΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗ (ansyshelp.ansys.com)
- [66] Prof. Dr. Christian Peham, Special Issue "Sensors for Biomechanics Application", University of Veterinary Medicine, Department for Companion Animals and Horses, Vienna,Austria,2020
- [67] ADXL345 Accelerometer Sensor, Interface Type: Usb, Διαθέσιμο σε: <https://www.indiamart.com/proddetail/adxl345-accelerometer-sensor-20580907362.html>
- [68] TECEX Tutorial on Arduino Integration with Accelerometer and Some Advance Knowledge About How Gyroscope Works, Διαθέσιμο σε: <https://tecexco.wordpress.com/2016/04/26/tecex-tutorial-on-arduino-integration-with-accelerometer-and-some-advance-knowledge-about-how-gyroscope-works/>
- [69] Single Point 5mm Force Sensor (Solder Tab), Διαθέσιμο σε: <https://www.thingbits.net/products/single-point-5mm-force-sensor-solder-tab>
- [70] JC-CKA01 Ceramic Capacitance Pressure Sensor, Διαθέσιμο σε: <http://www.jcsensor.net/ceramic-capacitance-pressure-sensor-jc-cka01/>
- [71] E32-DC200-Fiber Optic Sensor Cable, Diffuse, General Purpose, E32 Series, 300 mm, Διαθέσιμο σε: <https://www.newark.com/omron-industrial-automation/e32-dc200/photoelectric-sensor/dp/52F4379>
- [72] EMG Muscle Signal Sensor Kit With Professional EMG Cable, Διαθέσιμο σε: <http://www.engineerstoy.com/emg-muscle-signal-sensor-kit-with-professional-emg-cable.html>
- [73] Pololu MAXBOTIX LV-MAXSONAR-EZ0 SONAR MB1000 / Sensor: distance; ultrason, Διαθέσιμο σε: <https://www.aircomnet.lv/index.php?productID=2317710>

- [74] WB-radar technology senses presence, respiration – in the next room, Διαθέσιμο σε: <https://www.eedneurope.com/news/ubw-radar-technology-senses-presence-respiration-%E2%80%93-next-room>
- [75]Goniometers, Διαθέσιμο σε: <http://www.biometricsltd.com/goniometer.htm#popupSpec1>
- [76] Hg-Ot-889b1 Electro-Optical Tracking and Monitoring Evidence-Obtain System Διαθέσιμο σε: <https://hgxiangyun.en.made-in-china.com/product/BjxJFgEylXcZ/China-Hg-Ot-889b1-Electro-Optical-Tracking-and-Monitoring-Evidence-Obtain-System.html>
- [77] Flex Sensor 4.5", Διαθέσιμο σε : <https://www.pantechsolutions.net/flex-sensor>
- [78] Flex sensor hookup guide. Διαθέσιμο σε: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/flex-sensor-hookup-guide/all>
- [79] P. Shrivastava, A. Singh, K. P. Singh, A. Srivastava, Mobile Controlled Agricultural Device for Enhanced Execution of Farming Techniques, Procedia Computer Science 49 (2015) 306 – 312
- [80] Stepper motor and the elements of motion control explained, Oct. 2016 Διαθέσιμο σε: <https://ridingmode.com/stepper-motor/>
- [81] Choosing the right motor for your project- DC vs stepper vs servo motors, April 2019. Διαθέσιμο σε: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/04/01/choosing-the-right-motor-for-your-project-dc-vs-stepper-vs-servo-motors/>
- [82] Stepper Motor Advantages, 2012, Διαθέσιμο σε: <https://www.eeweb.com/quizzes/stepper-motor-advantages>
- [83] Spring 2016 Velociraptor: Servos, Feb.24, 2016 Διαθέσιμο σε: <https://www.arxterra.com/spring-2016-velociraptor-servos/>
- [84] Διαθέσιμο σε: <https://collegephysicsanswers.com/openstax-solutions/75-kg-man-stands-his-toes-exerting-upward-force-through-achilles-tendon-figure>
- [85] Διαθέσιμο σε: <https://www.kst-servos.com/produkte/>
- [86] Διαθέσιμο σε : <https://projects-raspberry.com/researchers-develop-new-battery-chemistry-with-10x-more-energy-density-over-lithium/>
- [87] Π.Πικάση, Ηλεκτρικοί συσσωρευτές . “ Αρχές λειτουργίας και βασικά χαρακτηριστικά τους”. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΑΤΕΙ Πειραιά
- [88] David Linden, Thomas B.Reddy, “Hand book of batteries” ,Published by The Mc Graw-Hill Companies, Inc , 2002, 1999, 1994, 1972
- [89] Οι μπαταρίες Λιθίου - μέρος 2ο Διαθέσιμο σε: <http://www.airmodelling.gr/το-τεχνικο-αρθρο-του-μηνα>
- [90] A Guide to Understanding LiPo Batteries, Διαθέσιμο σε: <https://rogershobbycenter.com/lipoguide>
- [91] Διαθέσιμο σε: <https://el.wikipedia.org/wiki/Μικροελεγκτής>
- [92] Διαθέσιμο σε :https://www.electronicshub.org/microcontrollers/#Microcontroller_Basics
- [93] Ε. Κουτράκης, Ι. Μαραγκάκης, Κίνηση Δίτροχου Οχήματος με τη βοήθεια Arduino και Android. Πτυχιακή εργασία. ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.
- [94] Διαθέσιμο σε <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [95] Διαθέσιμο σε: <https://www.arduino.cc>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικας ExoGaitOR

```
/*
 *
=====
=====
 *Developed by Despoina Kanigaridou and Vlasia Basioti.
 *
=====
=====
 */

#include <Servo.h>

//Initialize the two servo motors
Servo servo1;
Servo servo2;

//The analog pin for the flex sensor
const int flexPin =A0;

//The relative angular position of the motors
int servoPosition;
int previousKneeDeg;
int previousFlexValue;
int walkingState;
void setup() {

Serial.begin(9600);

//Attack the servo motors
servo1.attach(11);
servo2.attach(10);

//Initialize the walking state
walkingState=1;

//Initialize the motors positions
servoPosition=0;
servo1.write(servoPosition+90);
servo2.write(servoPosition+90);

previousFlexValue = analogRead(flexPin);
}
```

```

void loop() {
  //The sensor raw measurements
  int flexValue;

  //The knee angle in degrees
  int kneeDegrees;

  //Get the value of the sensor
  flexValue = analogRead(flexPin);

  //Compare the sensor's new measurement to the previous one
  // to avoid sensor's fault
  if(abs(flexValue-previousFlexValue)<15)
  {
    if(flexValue>615)
    {
      kneeDegrees=0;
      Serial.println("knee:0");
    }
    else if(flexValue>595)
    {
      kneeDegrees=20;
      Serial.println("knee:20");
    }
    else if(flexValue>520)
    {
      kneeDegrees=40;
      Serial.println("knee:40");
    }
    else
    {
      kneeDegrees=65;
      Serial.println("knee:65");
    }
  }
  Serial.println(flexValue);

  previousFlexValue=flexValue;

  if(kneeDegrees==40 && walkingState==1)
  {
    servoPosition=-20;
    servo1.write(90+servoPosition);
    servo2.write(90-servoPosition);
    Serial.println("motor:-20");
    walkingState++;
  }
  else if(kneeDegrees==65 && walkingState==2)
  {
    servoPosition=30;

```

```
servo1.write(90+servoPosition);
servo2.write(90-servoPosition);
Serial.println("motor:30");
walkingState++;
}
else if(kneeDegrees==20 && walkingState==3)
{
servoPosition=0;
servo1.write(90+servoPosition);
servo2.write(90-servoPosition);
Serial.println("motor:0");
walkingState=1;
}
previousKneeDeg=kneeDegrees;

delay(50);
}
```