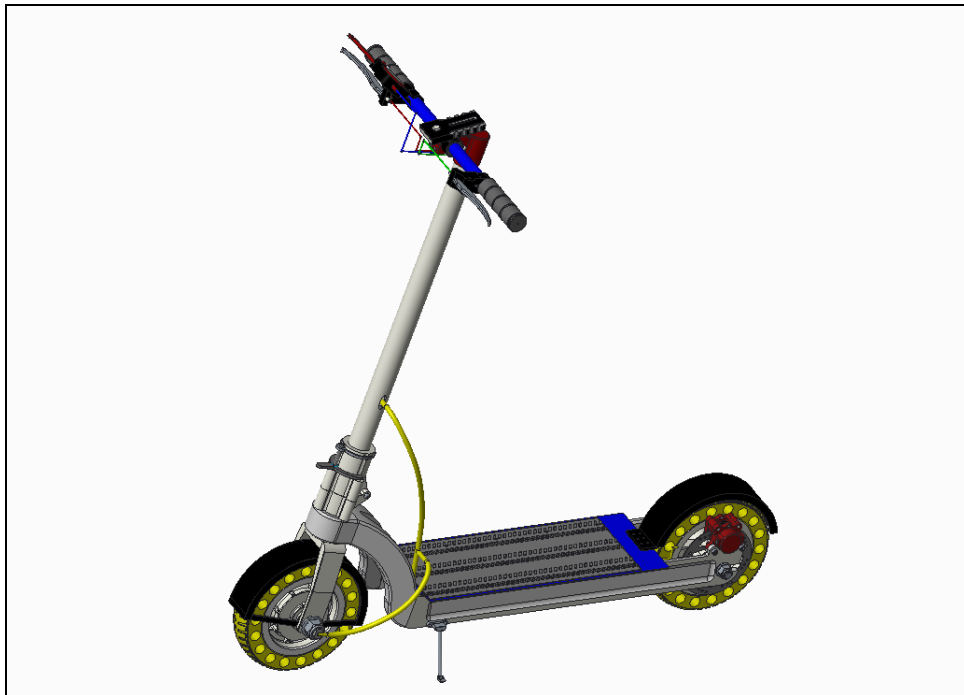




ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ
ΚΙΝΗΤΗΡΑ-ΤΡΟΧΟΥ ΤΥΠΟΥ “BLDC HUB MOTOR” ΓΙΑ ΔΙΤΡΟΧΟ
ΟΧΗΜΑ ΑΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ**



Στοιχεία σπουδαστή

Όνομα: Μιχαηλίδης Δαβίδ | Αριθμός μητρώου: 6468

Επιβλέπων καθηγητής

Δρ. Τζιράκης Ευάγγελος

Ηράκλειο 2021



Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Ευάγγελο Τζιράκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς και για την καθοδήγηση του και τη βοήθεια που μου προσέφερε για την περάτωση της.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω θερμά την μητέρα μου για την ηθική και υλική υποστήριξη όλων αυτό τον καιρό.

Μιχαηλίδης Δαβίδ
Ηράκλειο 2020



Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	2
1. Abstract	4
2. Περίληψη.....	5
3. Εισαγωγή.....	6
4. Έρευνα αγοράς. Ορισμός του προβλήματος. Πίνακας προδιαγραφών	9
4.1. Αρχή λειτουργίας	9
4.1.1. Κινητήρας τροχός.....	11
4.2. Ανατομία. Κατηγορίες	17
4.2.1. Ηλεκτρικά πατίνια με 2 τροχούς	19
4.2.2. Ηλεκτρικά πατίνια με 3 τροχούς	20
4.2.3. Ηλεκτρικά πατίνια με κάθισμα.....	21
4.3. Επιδόσεις.....	23
4.4. Τάξεις κόστους και διαφορές	25
4.5. Μηχανισμός αναδίπλωσης	30
4.6. Μπαταρία	32
4.7. Έλεγχος ταχύτητας.....	34
4.7.1. Μικροελεγκτής.....	34
4.7.2. Επιταχυντής «γκάζι»	35
4.8. Άνεση	36
4.8.1. Διαστάσεις της βάσης στήριξης	37
4.8.2. Ύψος πλατφόρμας.....	38
4.8.3. Ύψος τιμονιού.....	39
4.8.4. Διάμετρος τροχών	41
4.8.5. Ανάρτηση	43
4.8.6. Τύπος τροχών	44
4.8.7. Σύστημα πέδησης.....	47
4.9. Ασφάλεια και νομοθεσία.....	54
4.9.1. Νομοθεσίες ανά χώρα	54
4.9.2. Εξοπλισμός ασφαλείας και ατυχήματα	56
4.10. Ορισμός του προβλήματος. Πίνακας προδιαγραφών.....	58
5. Πρόβλημα-υποπροβλήματα	59
6. Διερεύνηση λύσεων – συνδυασμοί λύσεων υποπροβλημάτων	60
6.1. Λύσεις	60
6.1.1. Μορφολογία πλατφόρμας στήριξης	60
6.1.2. Θέση μπαταρίας	62
6.1.3. Υλικά σκελετού.....	63
6.1.4. Μορφολογία μηχανισμού αναδίπλωσης.....	68
6.2. Συνδυασμός λύσεων.....	73
6.3. Αξιολόγηση λύσεων	74
6.4. Σκαρίφημα λειτουργίας.....	77
7. Υπολογισμοί μελέτης.....	78
7.1. Προσδιορισμός κρίσιμων δεδομένων.....	78
7.1.1. Φορτία από το βάρος του αναβάτη	78



7.1.2.	Φορτία κατά την πέδηση.....	79
7.2.	Υπολογισμός κινητήρα τροχού.....	80
7.3.	Χαρακτηριστικά μπαταρίας.....	85
7.3.1.	Υπολογισμός χωρητικότητας μπαταρίας.....	90
7.3.2.	Διάταξη συνδεσμολογίας της μπαταρίας.....	91
7.4.	Υπολογισμός ατράκτου και άξονα και επιλογή εδράνων.....	92
7.4.1.	Άτρακτος κινητήρα τροχού.....	93
7.4.2.	Άξονας πίσω τροχού.....	97
7.5.	Υπολογισμός πολύσφηνων ατράκτου.....	100
7.6.	Επιλογή εδράνων στελέχους τιμονιού και τροχού.....	102
7.7.	Αντιδράσεις στήριξης στην άτρακτο και στον άξονα.....	106
7.8.	Χρόνος ζωής εδράνων.....	116
7.9.	Φορτία στο μηχανισμό αναδίπλωσης.....	119
7.10.	Φορτία στο μηχανισμό φρένου.....	122
8.	Διαμόρφωση εξαρτημάτων πατινιού.....	123
8.1.	Δομή διαμόρφωσης.....	123
8.2.	Κινητήρας BLDC.....	124
8.2.1.	Ανατομία ηλεκτρικών κινητήρων.....	124
8.2.2.	Διαστάσεις και μορφή του κινητήρα BLDC.....	130
8.3.	Διαμόρφωση πλατφόρμας.....	133
8.4.	Σωλήνας κεφαλής.....	134
8.5.	Συγκράτηση στελέχους τιμονιού και στελέχους τροχού.....	136
8.6.	Συγκράτηση μηχανισμού πέδησης.....	137
9.	PTC Creo Parametric 3.0 και η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων.....	139
9.1.	Διαδικασία εφαρμογής FEA στο Creo 3.0.....	141
10.	Τρισδιάστατα σχέδια.....	151
11.	Συναρμολόγηση.....	157
11.1.	Ομάδες και στοιχεία μηχανών.....	158
11.2.	Συναρμολόγηση κινητήρα-τροχού.....	160
11.3.	Συναρμολόγηση μηχανισμού αναδίπλωσης.....	162
11.4.	Συναρμολόγηση πλατφόρμας και πίσω τροχού.....	164
11.5.	Συναρμολόγηση τιμονιού και περιφερειακών τιμονιού.....	167
11.6.	Συναρμολόγηση υπόλοιπων εξαρτημάτων.....	168
12.	Αποτελέσματα από FEA για τα εξαρτήματα.....	176
12.1.	Πλατφόρμα και κατάστρωμα.....	177
12.2.	Ψαλίδι.....	179
12.3.	Στοιχείο συγκράτησης μηχανισμού πέδησης.....	185
12.4.	Μηχανισμός αναδίπλωσης και στέλεχος τιμονιού.....	187
13.	Συμπεράσματα.....	189
14.	Βιβλιογραφία.....	191
14.1.	Βιβλία.....	191
14.2.	Ιστότοποι.....	192
15.	Παραρτήματα.....	194



1. Abstract

This thesis constitutes the design of an electric scooter and the development of its three-dimensional model, with a new innovative folding mechanism and its operation with a BLDC motor, in order to make the electric scooter more practical and comfortable.

First, there is a historical review of their discovery and evolution over time. The principle of operation, anatomy, and the differences between the existing models are analyzed. A distinction is made by presenting the characteristics they have by category and cost class. Through internet research as well as practical testing, by driving such scooters, market research is carried out and the design goal is defined.

Following is the report of the problems and solutions, which are then evaluated to find the best solutions, and the operation sketch is presented. The calculations are performed in Excel using formulas from design and engineering books. The 3D model and components are designed in PTC Creo 3.0 Parametric software with an explanation of the process and then the results from the finite element analysis (FEA) are presented, which completes the present design study.

Finally, a summary is made of the conclusions drawn from the whole process of preparation of this thesis, both during the development process and during the writing process.

Keywords: micro mobility, BLDC, Personal Light Electric Vehicle, PTC Creo 3.0, e-scooter, electro mobility, e-scooter design, FEA, CAD/CAM/CAE



2. Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελεί τη σχεδιομελέτη ενός ηλεκτρικού πατινιού και την ανάπτυξη του τρισδιάστατου μοντέλου του, με νέο καινοτόμο μηχανισμό αναδίπλωσης και λειτουργία με κινητήρα BLDC, με στόχο να γίνει πιο πρακτικό και άνετο το ηλεκτρικό πατίνι.

Πρώτα γίνεται μια ιστορική αναδρομή για την ανακάλυψη και την εξέλιξη τους ανά το χρόνο. Αναλύεται η αρχή λειτουργίας, η ανατομία και οι διαφορές που έχουν τα μοντέλα που ήδη υπάρχουν. Γίνεται διαχωρισμός με παρουσίαση των χαρακτηριστικών που έχουν ανά κατηγορία και τάξη κόστους. Με έρευνα μέσω διαδικτύου αλλά και δοκιμών δια ζώσης, με οδήγηση τέτοιων πατινιών, πραγματοποιείται η έρευνα αγοράς και ορίζεται ο στόχος του σχεδιασμού.

Ακολουθεί η αναφορά των προβλημάτων και των λύσεων, που έπειτα αξιολογούνται για να βρεθούν οι καλύτερες λύσεις και παρουσιάζεται το σκαρίφημα λειτουργίας. Κάποιοι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε πρόγραμμα Excel με χρήση τύπων από βιβλία σχεδιασμού και μηχανολογίας. Το τρισδιάστατο μοντέλο και τα εξαρτήματα σχεδιάζονται στο λογισμικό PTC Creo 3.0 Parametric με επεξήγηση της διαδικασίας και έπειτα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA) με τα οποία και ολοκληρώνεται η παρούσα σχεδιομελέτη.

Τέλος, γίνεται μια σύνοψη των συμπερασμάτων που εξήχθησαν από όλη την διαδικασία εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής, τόσο κατά την διαδικασία ανάπτυξης όσο και κατά την διαδικασία συγγραφής.

Λέξεις κλειδιά: micro mobility, BLDC, Personal Light Electric Vehicle, PTC Creo 3.0, e-scooter, electro mobility, e-scooter design, FEA, CAD/CAM/CAE



3. Εισαγωγή

Το πατίνι είναι ένα δίτροχο όχημα χωρίς μηχανή και χωρίς πεντάλ στο οποίο ο οδηγός στέκεται όρθιος τοποθετώντας το ένα πόδι του στον πεπλατυσμένο άξονα που ενώνει τους δυο τροχούς ενώ με το άλλο πόδι δίνει ώθηση με συνεχείς παλινδρομικές κινήσεις εκκρεμούς ώστε να μετακινηθεί το όχημα.



Εικόνα 3.1: Παιδί που οδηγεί ένα συμβατικό πατίνι, εικόνα από Public Domain Images.

Τα απλά πατίνια ήταν εδώ και πολύ καιρό στην αγορά, πριν ακόμα από το 2000 που ανέβηκε η δημοτικότητά τους. Οι άνθρωποι τα οδηγούσαν ως παιδιά (που σημαίνει ότι είναι πολύ απλά στην οδήγηση) και συνέχισαν να τα οδηγούν μέχρι την ενηλικίωση. Όμως από τότε που άρχισαν να κυκλοφορούν στην αγορά φθηνά ηλεκτρικά πατίνια ή αλλιώς e-scooter όλα άλλαξαν. Πριν τα οδηγούσαν παιδιά και έφηβοι, ενώ τώρα τα επιλέγουν ως μεταφορικό μέσο και οι ενήλικες.



(α)



(β)

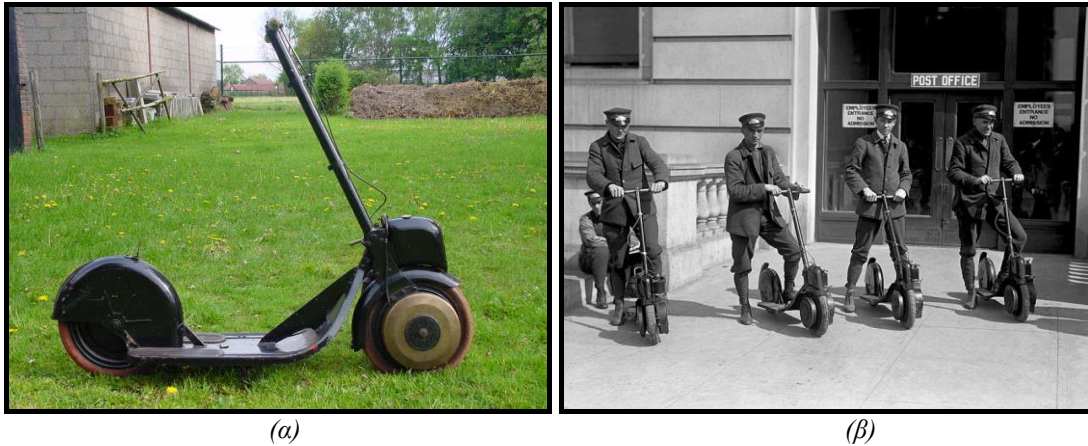
Εικόνα 3.2: (α) Παιδί οδηγεί συμβατικό πατίνι. (β) Ενήλικας οδηγεί ηλεκτρικό πατίνι.



Τα πρώτα ηλεκτρικά πατίνια είχαν αρχίσει να κατασκευάζονται από το 1914 τουλάχιστον. Η εξέλιξη τους συνεχίστηκε στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες μεταξύ των παγκοσμίων πολέμων. Ένα από τα πρώτα πατίνια με κινητήρα που βγήκαν στην αγορά ήταν το Autoped.

Το μουσείο Online Bike λέει ότι το Autoped, ήταν το πρώτο μαζικής παραγωγής μηχανοκίνητο πατίνι στις Η.Π.Α. Αν και κάποιες αναφορές ισχυρίστηκαν ότι θα μπορούσε να φτάσει ταχύτητες 55 χιλιόμετρα ανά ώρα, το μουσείο αναφέρει ότι η διαδρομή γινόταν "ασταθής" όταν έφτανε την ταχύτητα των 32 χιλιομέτρων ανά ώρα.

Αργότερα, μια ηλεκτροκίνητη εκδοχή του Autoped που λειτουργούσε με μπαταρία ήταν διαθέσιμη όταν η Everready Battery Company αγόρασε τα σχέδια του σκελετού. Στην αρχή ήταν όχημα για πλούσιους, έπειτα όμως κάποιες επιχειρήσεις έδωσαν επίσης στο Autoped μια δοκιμή. Το καλύτερο παράδειγμα είναι η ταχυδρομική υπηρεσία της Νέας Υόρκης, η οποία το χρησιμοποίησε για τις μικρές διαδρομές που χρειαζόνταν να διανύσουν οι ταχυδρόμοι ώστε να παραδώσουν τα γράμματα (εικόνα 3.3(β)).



Εικόνα 3.3: (α) Ηλεκτρικό πατίνι Autoped, της Autoped Company. (β) Τέσσερις έμπειροι ταχυδρόμοι της ταχυδρομικής υπηρεσίας των ΗΠΑ δοκιμάζουν τα νέα σκούτερ, μέσα της δεκαετίας του 1910, από αρχεία της Underwood, εικόνες Getty.

Τα ηλεκτρικά πατίνια αναμένεται να προκαλέσουν τεράστιες επιπτώσεις στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, γεγονός που είναι και ένας ακόμα λόγος για τον οποίο έχουν γίνει τόσο δημοφιλή. Σύμφωνα με την εφαρμογή Lime, κάθε 1.5 χιλιόμετρο που ταξιδεύει το σκούτερ ισοδυναμεί περίπου με 350 γραμμάρια άνθρακα. Εάν ένα σκούτερ μετακινείται για 15 χιλιόμετρα την ημέρα κατά μέσο όρο. Αυτό ισοδυναμεί με 3.500 γραμμάρια άνθρακα ανά σκούτερ τη μέρα.



Εικόνα 3.4: Αναβάτες ηλεκτρικού πατινιού που οδηγούν σε ειδικό δρόμο, εικόνα από Bloomberg, David Paul Morris, Getty.

Μια πόλη με 10.000 σκούτερ θα μπορούσε να μειώσει τότε τις εκπομπές ρύπων κατά 35.000.000 γραμμάρια ή 35 μετρικούς τόνους την ημέρα. Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος για πέντε εκατομμύρια σκούτερ σε όλο τον κόσμο θα εκπέμπει 370 μετρικούς τόνους, δηλαδή λιγότερο από το 2% του CO₂ που παράγεται από τον ίδιο αριθμό αυτοκινήτων.

Οι νόμοι για τα ηλεκτρικά σκούτερ διαφέρουν πολύ ανά χώρα, πολιτεία και πόλη. Σε ορισμένες δικαιοδοσίες, απαγορεύονται εντελώς τα μηχανοκίνητα ηλεκτρικά σκούτερ. Σε γενικές γραμμές, όπου είναι νόμιμες, οι περισσότερες δικαιοδοσίες αρχίζουν να τις ρυθμίζουν με τον ίδιο τρόπο όπως τα ποδήλατα. Γενικά οι αναβάτες πατινιού πρέπει να το οδηγούν στο δρόμο ή σε ποδηλατοδρόμους και απαγορεύεται να οδηγούν στο πεζοδρόμιο ή στους πεζόδρομους.

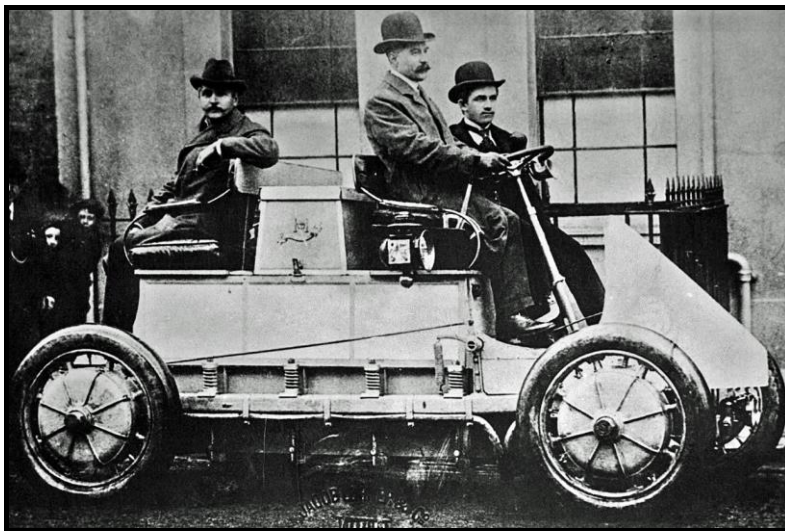


4. Έρευνα αγοράς. Ορισμός του προβλήματος. Πίνακας προδιαγραφών

4.1. Αρχή λειτουργίας

Τα ηλεκτρικά πατίνια λειτουργούν με επαγωγικούς κινητήρες, η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται επί της πλατφόρμας σε μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, η οποία κινεί έναν ή περισσότερους ηλεκτροκινητήρες. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες έχουν τη μεγαλύτερη ροπή κατά την εκκίνηση, καθιστώντας τους ιδανικούς για οχήματα καθώς χρειάζονται και την περισσότερη ροπή κατά την εκκίνηση. Η μεγαλύτερη ροπή τους εμφανίζεται καθώς ο ρότορας αρχίζει να περιστρέφεται, γι' αυτό οι ηλεκτρικοί κινητήρες δεν απαιτούν μετάδοση. Μπορεί να χρειαστεί μια διάταξη μετάδοσης κίνησης, αλλά σε αντίθεση με ένα κιβώτιο το οποίο κανονικά συνδυάζεται με έναν κινητήρα καύσης, δεν απαιτείται αλλαγή σε ηλεκτρικούς κινητήρες.

Το 1884 πρώτη φορά δημιουργείται η έννοια του κινητήρα τροχού, από τον Ουέλλινγκτον Άνταμς του Σεντ Λούις που σχεδίασε για πρώτη φορά έναν ηλεκτροκινητήρα, αν και συνδεόταν με πολλά γρανάζια για τη μετάδοση κίνησης, που εφαρμόζεται απευθείας στον τροχό του οχήματος. Έπειτα και μέχρι τα τέλη του 19 αιώνα άλλοι εφευρέτες ανέπτυξαν κι άλλο την ιδέα του κινητήρα εντός του τροχού. τον Ferdinand Porsche να αναπτύξει τα πρώτα αυτοκίνητα της Porsche ως ηλεκτρικά, με ηλεκτρικούς κινητήρες πλήμνης τροχού που λειτουργούσαν με μπαταρίες.



Εικόνα 4.1.1: Εικόνα από Wikipedia, Lohner-Porsche υβρικό αυτοκίνητο, 1900-1905.

Το Lohner Porsche, εφοδιασμένο με έναν τροχό κινητήρα σε κάθε έναν από τους εμπρός τροχούς, εμφανίστηκε στην Παγκόσμια Έκθεση στο Παρίσι το 1900 και δημιούργησε μια αίσθηση στον νέο κόσμο των αυτοκινήτων. Τελικά η αύξηση της ισχύος του βενζινοκινητήρα ξεπέρασε τη δύναμη των ηλεκτροκινητήρων πλήμνης τροχού και αυτό αντιστάθμισε τυχόν απώλειες μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων. Ως αποτέλεσμα, τα αυτοκίνητα άλλαξαν σε βενζινοκινητήρες με κιβώτια ταχυτήτων, αλλά δεν ήταν το ίδιο αποτελεσματικοί όσο οι κινητήρες με πλήμνη ηλεκτρικού τροχού



Περί το 1900 τα μηχανοκίνητα πατίνια λειτουργούσαν με μηχανές εσωτερικής καύσης και με επαγωγικούς κινητήρες που μετέδιδαν την στρεπτική ροπή μέσω ιμάντα ή αλυσίδας στον κινητήριο τροχό. Οι πρώτοι επαγωγικοί κινητήρες DC ήταν με ψήκτρες, εφευρέθηκαν τον 19ο αιώνα και είναι αρκετά συνηθισμένοι από τότε έως και σήμερα σε πολλές χρήσεις. Τέτοιοι ηλεκτρικοί κινητήρες χρησιμοποιούν μια μηχανική συσκευή που ονομάζεται μεταγωγέας και δύο επαφές που ονομάζονται ψήκτρες για να αντιστρέφουν περιοδικά το ηλεκτρικό ρεύμα και να διασφαλίζουν ότι ο άξονας συνεχίζει να περιστρέφεται προς την ίδια κατεύθυνση.

Μειονεκτήματα:

- Η τριβή των ψηκτρών που ολισθαίνουν κατά μήκος των περιστρεφόμενων τμημάτων του μεταγωγού προκαλεί απώλειες ισχύος που μπορεί να είναι σημαντικές σε έναν κινητήρα χαμηλής ισχύος.
- Το μαλακό υλικό της ψήκτρας φθείρεται λόγω τριβής, δημιουργώντας σκόνη και τελικά οι βούρτσες πρέπει να αντικατασταθούν.
- Η αντίσταση της επαφής της ψήκτρας προκαλεί πτώση τάσης στο κύκλωμα του κινητήρα.
- Η επαναλαμβανόμενη απότομη εναλλαγή του ρεύματος μέσω της επαγωγής των περιελίξεων προκαλεί σπινθήρες στις επαφές του μετατροπέα, που είναι κίνδυνος πυρκαγιάς σε εκρηκτικές ατμόσφαιρες, πηγή υποβιβασμένης υπεριώδους ακτινοβολίας, πηγή ηλεκτρονικού θορύβου, που μπορεί να προκαλέσουν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές σε κοντινά μικρό-ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων εκατό χρόνων οι κινητήρες υψηλής ισχύος DC με ψήκτρες που ήταν βασικό στήριγμα της βιομηχανίας, αντικαταστάθηκαν από σύγχρονους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC). Σήμερα, οι κινητήρες με ψήκτρες χρησιμοποιούνται μόνο σε εφαρμογές χαμηλής ισχύος ή όπου διατίθεται μόνο DC παροχή, αλλά τα παραπάνω μειονεκτήματα περιορίζουν τη χρήση τους ακόμη και σε αυτές τις εφαρμογές.



4.1.1. Κινητήρας τροχός

Οι κινητήρες BLDC είναι συνήθως κινητήρες ψήκτρεις, οι οποίοι αντικαθιστούν τον μεταγωγό και τις βούρτσες με μισή ντουζίνα ή περισσότερα ξεχωριστά πηνία και ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Το κύκλωμα ενεργοποιεί και απενεργοποιεί την ισχύ στα πηνία με τη σειρά του δημιουργώντας δυνάμεις σε κάθε ένα που κάνει τον κινητήρα να περιστρέφεται. Μερικά από τα προβλήματα του κινητήρα DC με ψήκτρεις εξαλείφονται με τους BLDC. Οι κινητήρες BLDC είναι συνήθως 85-90% αποδοτικοί ή περισσότερο. Έχει αναφερθεί απόδοση για κινητήρα BLDC έως και 96,5%, ενώ οι κινητήρες DC με ψήκτρεις είναι συνήθως κατά 75-80% αποδοτικοί.

Η χαρακτηριστική τραπεζοειδής κυματομορφή αντίστροφης ηλεκτροκινητικής δύναμης του κινητήρα BLDC προέρχεται εν μέρει από τις περιελίξεις του στάτορα που κατανέμονται ομοιόμορφα και εν μέρει από την τοποθέτηση των μόνιμων μαγνητών του ρότορα. Επίσης γνωστοί ως ηλεκτρονικά μετακινούμενοι κινητήρες DC ή εσωτερικοί DC, οι περιελίξεις στάτη των τραπεζοειδών κινητήρων BLDC μπορούν να είναι με μονοφασικούς, διφασικούς ή τριφασικούς και να χρησιμοποιούν αισθητήρες εφέ Hall τοποθετημένοι στις περιελίξεις τους για ανίχνευση θέσης ρότορα και κλειστό χαμηλό κόστος - Έλεγχος βρόχου του ηλεκτρονικού μετατροπέα.

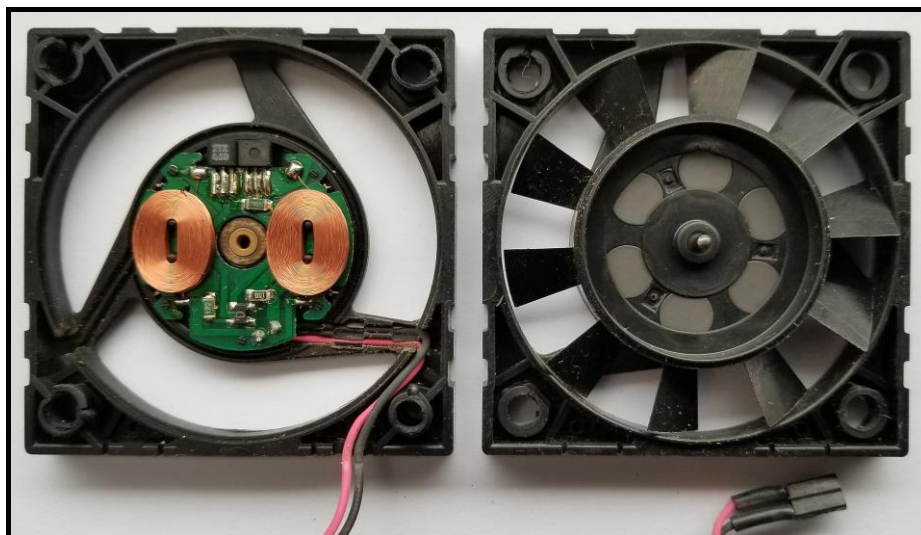
Οι κινητήρες BLDC χρησιμοποιούνται συνήθως όπου απαιτείται ακριβής έλεγχος ταχύτητας, όπως σε μονάδες δίσκου υπολογιστή ή σε συσκευές εγγραφής βίντεο, οι άξονες μέσα σε δίσκους CD, CD-ROM (κ.λπ.) και μηχανισμούς εντός προϊόντων γραφείου, όπως ανεμιστήρες, εκτυπωτές λέιζερ και φωτοτυπικά μηχανήματα.

Πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών κινητήρων

- Σε σύγκριση με τους ανεμιστήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που χρησιμοποιούν κινητήρες σκιασμένου πόλου, είναι πολύ αποδοτικοί, λειτουργούν πολύ πιο δροσεροί από τους αντίστοιχους κινητήρες AC. Αυτή η δροσερή λειτουργία οδηγεί σε πολύ βελτιωμένη διάρκεια ζωής των ρουλεμάν του ανεμιστήρα.
- Χωρίς μετασχηματιστή για φθορά, η διάρκεια ζωής ενός κινητήρα BLDC μπορεί να είναι σημαντικά μεγαλύτερη σε σύγκριση με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος που χρησιμοποιεί ψήκτρεις και έναν μετατροπέα. Η μετακίνηση τείνει επίσης να προκαλεί πολύ ηλεκτρικό θόρυβο και RF. Χωρίς μετατροπέα ή ψήκτρεις, ένας κινητήρας BLDC μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικά ευαίσθητες συσκευές, όπως εξοπλισμός ήχου ή υπολογιστές.
- Οι ίδιοι αισθητήρες Hall που παρέχουν την εναλλαγή μπορούν επίσης να παρέχουν ένα βολικό σήμα ταχυμέτρου για εφαρμογές ελέγχου κλειστού βρόχου (σέρβο-ελεγχόμενες). Σε ανεμιστήρες, το σήμα του στροφόμετρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός σήματος "ανεμιστήρα OK" καθώς και για την παροχή ανατροφοδότησης ταχύτητας λειτουργίας.
- Ο κινητήρας μπορεί εύκολα να συγχρονιστεί με ένα εσωτερικό ή εξωτερικό ρολόι, οδηγώντας σε ακριβή έλεγχο ταχύτητας.



- Οι κινητήρες BLDC δεν έχουν καμία πιθανότητα σπινθήρα, σε αντίθεση με τους κινητήρες βουρτσισμένου κινητήρα, καθιστώντας τους πιο κατάλληλους για περιβάλλοντα με πτητικά χημικά και καύσιμα. Επίσης, η σπινθήρα παράγει όζον, το οποίο μπορεί να συσσωρευτεί σε κτίρια με χαμηλό αερισμό, διακινδυνεύοντας να βλάψει την υγεία των παρευρισκομένων.
- Οι κινητήρες BLDC χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρό εξοπλισμό όπως υπολογιστές και χρησιμοποιούνται γενικά σε ανεμιστήρες για να απαλλαγούν από την ανεπιθύμητη θερμότητα.
- Είναι επίσης ακουστικά πολύ αθόρυβοι κινητήρες, κάτι που αποτελεί πλεονέκτημα εάν χρησιμοποιείται σε εξοπλισμό που επηρεάζεται από δονήσεις.
- Οι σύγχρονοι κινητήρες BLDC κυμαίνονται σε ισχύ από κλάσμα watt έως πολλά κιλοβάτ. Μεγαλύτεροι κινητήρες BLDC έως και 100 kW περίπου χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα. Βρίσκουν επίσης σημαντική χρήση σε υψηλής απόδοσης ηλεκτρικά μοντέλα αεροσκαφών.



Εικόνα 4.1.1.2: *Ανεμιστήρας με DC κινητήρα χωρίς ψήκτρες. Τα δύο πηνία στην πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος αλληλεπιδρούν με έξι στρογγυλούς μόνιμους μαγνήτες στη διάταξη του ανεμιστήρα. Εικόνα από Wikipedia.*

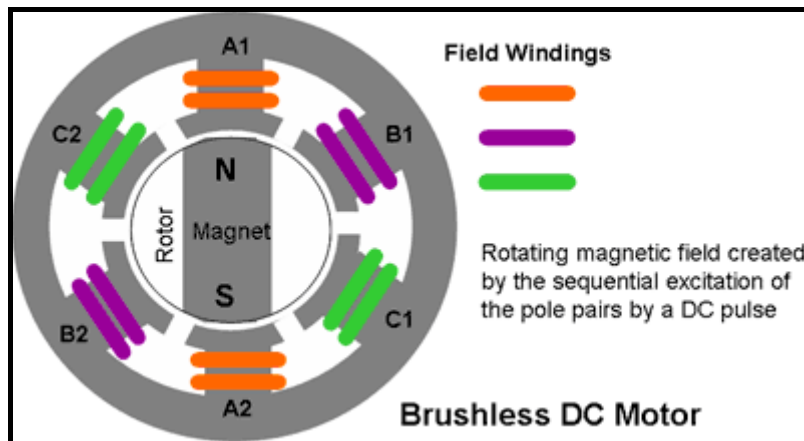
Σύγχρονη λειτουργία

Οι κινητήρες DC χωρίς ψήκτρες δεν είναι αυστηρά κινητήρες DC. Χρησιμοποιούν ένα παλμικό DC (ρεύμα) που τροφοδοτείται στις περιελίξεις πεδίου στάτορα για να δημιουργήσουν ένα περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο και λειτουργούν με σύγχρονη ταχύτητα. Αν και δεν χρησιμοποιούν μηχανικούς μεταγωγείς, χρειάζονται ωστόσο ηλεκτρονική εναλλαγή για να παρέχουν το περιστρεφόμενο πεδίο που προσθέτει κάπως στην πολυπλοκότητά τους.

Περιστρεφόμενο πεδίο και έλεγχος ταχύτητας

Στο παρακάτω διάγραμμα, το ζεύγος πόλων A τροφοδοτείται πρώτα με έναν παλμό DC που μαγνητίζει τον πόλο A1 ως νότιο πόλο και τον A2 ως βόρειο πόλο σύροντας τον μαγνήτη στην αρχική του θέση. Καθώς ο μαγνήτης περνά το πρώτο ζεύγος μαγνητισμένων πόλων, στην περίπτωση αυτή, οι πόλοι A1 και A2, το ζεύγος ρεύματος προς πόλο A απενεργοποιείται και το επόμενο ζεύγος πόλων B τροφοδοτείται με παρόμοιο παλμό DC που προκαλεί μαγνητισμό του πόλου B1 ως νότος πόλος και B2 να είναι ένας βόρειος πόλος.

Ο μαγνήτης στη συνέχεια περιστρέφεται δεξιόστροφα για να ευθυγραμμιστεί με το ζεύγος πόλων B. Πωλώντας τα ζεύγη πόλων στάτη στη σειρά ο μαγνήτης θα συνεχίσει να περιστρέφεται δεξιόστροφα για να διατηρηθεί ευθυγραμμισμένος με το ενεργοποιημένο ζεύγος πόλων. Στην πράξη, οι πόλοι τροφοδοτούνται με βαθμιδωτή πολυφασική κυματομορφή για να δημιουργήσουν το ομαλό περιστρεφόμενο πεδίο.



Εικόνα 4.1.1.3: Περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο που δημιουργήθηκε από τη διαδοχική διέγερση των ζευγών πόλων με παλμό DC, τα διαφορετικά ζεύγη περιελίξεων αναπαριστώνται χρωματικά. Εικόνα από *Electropaedia*¹.

Χρησιμοποιείται ένας μετατροπέας έξι βημάτων για τη δημιουργία της τριφασικής τροφοδοσίας και της ηλεκτρονικής εναλλαγής μεταξύ των τριών ζευγών πηνίων στάτορα που απαιτούνται για την παροχή του περιστρεφόμενου πεδίου. Μόνο δύο στα τρία ζεύγη πόλων ενεργοποιούνται ταυτόχρονα. Η ταχύτητα περιστροφής ελέγχεται από τη συχνότητα παλμού και τη ροπή από το ρεύμα παλμού. Στην πράξη, το σύστημα χρειάζεται αρκετά πολύπλοκα ηλεκτρονικά για να παρέχει την ηλεκτρονική μετακίνηση.

¹ Ιστότοπος: <https://www.mpoweruk.com/motorsbrushless.htm>



Ανίχνευση θέσης και έλεγχος ταχύτητας

Οι παλμοί ρεύματος μετατροπέα ενεργοποιούνται σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου από ένα σήμα που αντιπροσωπεύει τη στιγμιαία γωνιακή θέση του ρότορα. Η συχνότητα της τροφοδοσίας ελέγχεται έτσι από την ταχύτητα του κινητήρα.

Η θέση του ρότορα μπορεί να προσδιοριστεί από μια συσκευή Hall Effect ή πολλές συσκευές, ενσωματωμένη στον στάτορα, η οποία παρέχει ένα ηλεκτρικό σήμα που αντιπροσωπεύει την ισχύ του μαγνητικού πεδίου. Το πλάτος αυτού του σήματος αλλάζει καθώς οι πόλοι μαγνητικού ρότορα περνούν πάνω από τον αισθητήρα. Άλλες μέθοδοι ανίχνευσης είναι δυνατές, συμπεριλαμβανομένων κωδικοποιητών άξονα και επίσης ανίχνευση των σημείων διέλευσης μηδέν των ρευμάτων που δημιουργούνται στις περιελίξεις φάσης χωρίς ενεργοποίηση. Αυτή η τελευταία μέθοδος είναι γνωστή ως παρακολούθηση θέσης χωρίς αισθητήρα.

Να σημειωθεί ότι παρόλο που οι παλμοί μαγνητίζοντας το ρεύμα ώθησης έχουν τη μορφή βαθμιδωμένου τετραγωνικού κύματος, το αντίστροφο EMF έχει τη μορφή τραπεζοειδούς κύματος λόγω των περιόδων μετάβασης καθώς οι πόλοι μαγνήτη ρότορα πλησιάζουν και αποκλίνουν από τα πηνία στάτορα όταν ο μαγνήτης ρότορα μόνο μερικώς ευθυγραμμισμένο με τους μαγνήτες στάτορα. Η διαχείριση ισχύος γίνεται συνήθως μέσω ενός ελεγκτή διαμορφωμένου πλάτους παλμού (PWM) στην παροχή εισόδου που παρέχει μεταβλητή τάση DC στον μετατροπέα.

Ταχύτητα

Η ταχύτητα του κινητήρα είναι άμεσα ανάλογη με τη συχνότητα παλμού του μετατροπέα. Εάν η συχνότητα τροφοδοσίας είναι σταθερή και ο κινητήρας λειτουργεί σε λειτουργία ανοικτού βρόχου τότε θα λειτουργεί με σταθερή σύγχρονη ταχύτητα. Η αλλαγή της συχνότητας τροφοδοσίας θα αλλάξει ανάλογα την ταχύτητα του κινητήρα.

Λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας

Ο κινητήρας DC χωρίς ψήκτρες μπορεί να κατασκευαστεί για να μιμείται τα χαρακτηριστικά του βουρτσισμένου ξαδέλφου του στο οποίο η ταχύτητα ελέγχεται αλλάζοντας την εφαρμοζόμενη τάση και όχι αλλάζοντας τη συχνότητα τροφοδοσίας. Η συχνότητα τροφοδοσίας εξακολουθεί να αλλάζει, αλλά αυτό οφείλεται στην αλλαγή της ταχύτητας του κινητήρα και δεν είναι η αιτία. Χρησιμοποιώντας αυτήν τη διαμόρφωση, η αύξηση της τάσης της παλμικής τροφοδοσίας DC από τον μετατροπέα θα αυξήσει το ρεύμα μέσω των περιελίξεων στάτορα, αυξάνοντας έτσι τη δύναμη στους πόλους του ρότορα, προκαλώντας την επιτάχυνση του κινητήρα όπως σε έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος.

Παρόλο που ο κινητήρας λειτουργεί με μεταβλητή ταχύτητα, εξακολουθεί να είναι μια σύγχρονη εφαρμογή καθώς ο βρόχος ανάδρασης ενεργοποιεί τους παλμούς του μετατροπέα σε συγχρονισμό με την περιστροφή του κινητήρα, αναγκάζοντας έτσι τη συχνότητα τροφοδοσίας να ακολουθεί την ταχύτητα του κινητήρα. Αυτό σημαίνει επίσης ότι ο κινητήρας θα ξεκινήσει μόνος του.

Πλεονεκτήματα χρήσης τους σε ηλεκτρικά πατίνια

- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μικρότερη απαίτηση συντήρησης σε σχέση με το κινητήρα που έχει ψήκτρες, διότι δεν έχει ιμάντες, αλυσίδες, γρανάζια και άλλα περιφερειακά εξαρτήματα. Τέτοια εξαρτήματα φθείρονται με τη πάροδο του χρόνου και απαιτούν συντήρηση και αντικατάσταση μετά από 1000 έως 3000 ώρες εργασίας, επίσης επηρεάζονται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες μειώνοντας την απόδοση ή και σε πιο ακραίες περιπτώσεις αποτυγχάνουν (σπάνε, σκίζονται, παραμορφώνονται υπερβολικά).
- Πιο ελαφριά κατασκευή, είναι εύκολα κατανοητό αυτό, εφόσον ο κινητήρας τροχός έχει λιγότερα μέρη και εξαρτήματα.
- Είναι καλοί για χαμηλές ταχύτητες, σε μεγάλες ταχύτητες αυξάνεται το ποσοστό των δεινορευμάτων (ρεύματα Φουκώ). Τα ρεύματα Φουκώ (Eddy currents) είναι ανεπιθύμητα διότι, μειώνουν την ισχύ απόδοσης, πιο συγκεκριμένα μετατρέπουν την ισχύ μετάδοσης κίνησης σε θερμότητα και παράλληλα δημιουργείται άτακτη μαγνητική ροή.



(α)

(β)

Εικόνα 4.1.1.4:

(α) Επαγωγικός κινητήρας-τροχός, ο κινητήρας είναι εντός του τροχού. (β) Επαγωγικός κινητήρας με ψήκτρες, είναι ξεχωριστά ο τροχός και ο κινητήρας, φαίνεται ο ιμάντας και τα γρανάζια.



Η αρχή λειτουργίας είναι απλή και γίνεται εύκολα κατανοητή, δε χρειάζεται παραπάνω αναφορά πάνω σε αυτό το θέμα. Για την καλύτερη κατανόηση και μελέτη του θέματος έπρεπε να γίνει έρευνα αγοράς. Με έρευνα μέσω διαδικτύου κυρίως, βρέθηκαν όπως ήταν αναμενόμενο αρκετά μοντέλα και παραλλαγές για το ηλεκτρικό πατίνι. Αρχικά έγινε μία γενική αναζήτηση χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις για τη λειτουργία, την αυτονομία, την ταχύτητα κ.α.



4.2. Ανατομία. Κατηγορίες

Παρόλο που υπάρχει μεγάλη ποικιλία στο σκελετό των ηλεκτρικών πατινιών, λόγω του ότι η εκάστοτε κατασκευαστική εταιρία σχεδιάζει με τη δική της μελέτη αλλά και αισθητική το πατίνι, η ανατομία τους είναι ίδια ή με ελάχιστες σχεδιαστικές διαφορές. Αναφέροντας τη λέξη ανατομία και εννοώντας βέβαια το σκελετό και τη δομή του, που παρουσιάζει διαφορές στο σχήμα και τον τρόπο λειτουργίας, π.χ. μηχανισμός αναδίπλωσης, αλλά η αρχή λειτουργίας της όλης κατασκευής δε διαφέρει ανά μοντέλο ίδιας κατηγορίας. Αργότερα αναφέρονται οι κατηγορίες που υπάρχουν.

Το πατίνι αποτελείται από:

- Σκελετό,
- Τροχούς,
- Κινητήρα,
- Μπαταρία.

Αυτά είναι τα βασικά μέρη ενός ηλεκτρικού πατινιού. Αυτά που δεν φαίνονται με το μάτι είναι η μπαταρία και ο κινητήρας. Διότι η μπαταρία είναι συνήθως εντός τη πλατφόρμας η μέσα στο στέλεχος, μία εξαίρεση είναι το ηλεκτρικό πατίνι SEGWAY-NINEBOT ES4, που έχει τη μπαταρία εφαρμοσμένη επάνω στο στέλεχος κι όχι εντός του. Ενώ ο κινητήρας είναι κινητήρας-τροχός που αναλύθηκε στη προηγούμενη υποενότητα.

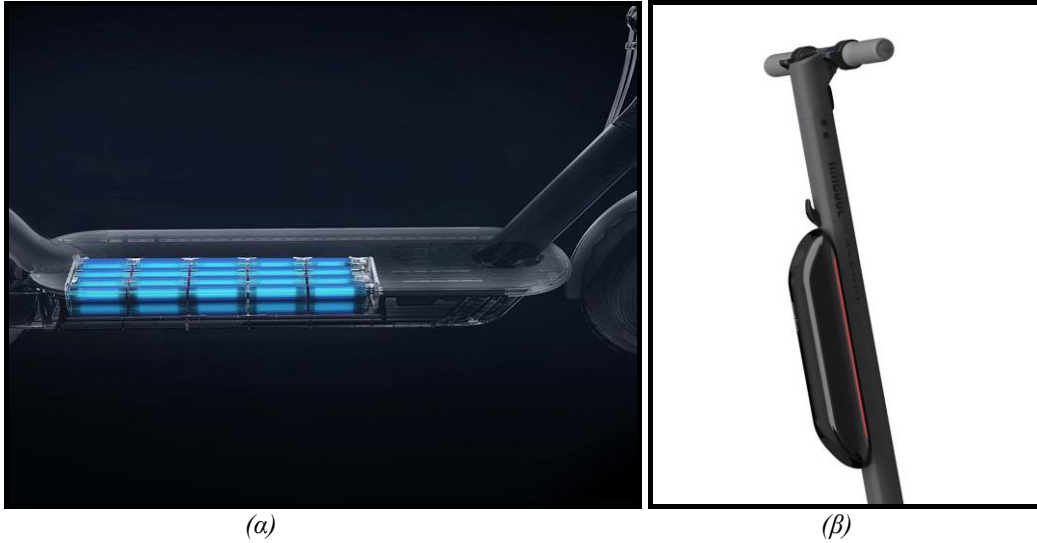
Το τιμόνι έχει κι αυτό επιμέρους στοιχεία κυρίως μηχανισμούς και αυτοματισμούς για τον έλεγχο της οδήγησης.

Μηχανισμοί:

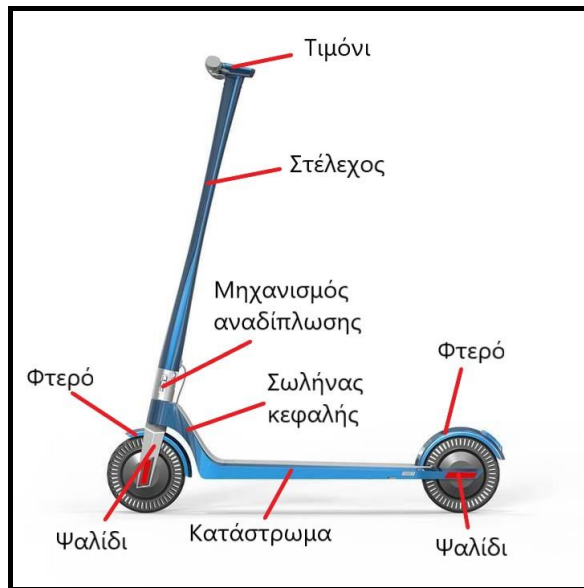
- Γκάζι,
- Φρένο.

Αυτοματισμοί:

- Πλήκτρα ελέγχου,
- Οθόνη ελέγχου.
- Ένδειξη ταχύτητας.
- Φωτισμός.



Εικόνα 4.2.1: (α) Μπαταρία εντός της πλατφόρμας, μοντέλο XIAOMI MIJIA M365 PRO. (β) Μπαταρία που εφαρμόζεται επάνω στο στέλεχος, μοντέλο SEGWAY-NINEBOT ES4.



Εικόνα 4.2.2.: Ανατομία ηλεκτρικού πατινιού .



4.2.1. Ηλεκτρικά πατίνια με 2 τροχούς

Τα ηλεκτρικά πατίνια μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες με βάση το πόσους τροχούς φέρουν. Τα πιο συνηθισμένα ηλεκτρικά πατίνια που κυκλοφορούν έχουν 2 τροχούς, αυτό που διαφέρει στα δίτροχα ηλεκτρικά πατίνια όσον αφορά τους τροχούς είναι η γεωμετρία των τροχών (πάχος, διάμετρος κ.α.), και το ποιος τροχός είναι ο κινητήριος, δηλαδή ποιος είναι ο τροχός που δίνει την ώθηση. Υπάρχουν οι επιλογές να είναι ο κινητήρας-τροχός μπροστά ή πίσω, επίσης υπάρχουν πατίνια με κινητήρα και στους δύο τροχούς.



Εικόνα 4.2.1.1: Ηλεκτρικό πατίνι WideWheel, της εταιρίας Mercane.

Το ηλεκτρικό πατίνι με δύο τροχούς είναι πιο απλό κατασκευαστικά, είναι το πιο δημοφιλές στους νέους αλλά και στους πιο έμπειρους οδηγούς ηλεκτρικών πατινιών, είναι συνήθως αρκετά ελαφρύ και τα περισσότερα μοντέλα που υπάρχουν είναι αναδιπλούμενα (πτυσσόμενα).

4.2.2. Ηλεκτρικά πατίνια με 3 τροχούς

Πατίνια με 3 τροχούς, πιο ασυνήθιστα και με περισσότερες επιλογές ως προς το σύστημα λειτουργίας από τα δίτροχα. Όταν το πατίνι διαθέτει 3 τροχούς μπορεί να έχει τους 2 τροχούς μπροστά ή πίσω, να έχει ένα κινητήρα-τροχό στο μονό τροχό, να έχει 2 κινητήρες-τροχούς ή και όλοι οι τροχοί να έχουν κινητήρα. Τα πατίνια με 3 τροχούς προσφέρουν ισορροπία στον αναβάτη και συνήθως έχουν μεγαλύτερη βάση για να πατάνε τα πόδια του, δηλαδή προσφέρουν μεγαλύτερη άνεση.

Τα πατίνια με τρεις τροχούς μπορούν να έχουν μεγαλύτερη ισχύ εφόσον είναι δυνατόν να έχουν περισσότερους κινητήρες-τροχούς. Σε αυτά τα πατίνια ο αναβάτης μπορεί να έχει πιο ομαλή διαδρομή που κυρίως γίνεται αντιληπτό κατά τη διάρκεια των απότομων στροφών, λόγω του ότι οι τρεις τροχοί του δίνουν ισορροπία, επίσης επειδή μοιράζεται το βάρος σε τρεις και όχι δύο τροχούς, άρα αντέχουν μεγαλύτερο βάρος αναβάτη κάνοντας το κατάλληλο για πιο μεγάλες ηλικίες και για υπέρβαρους ανθρώπους.



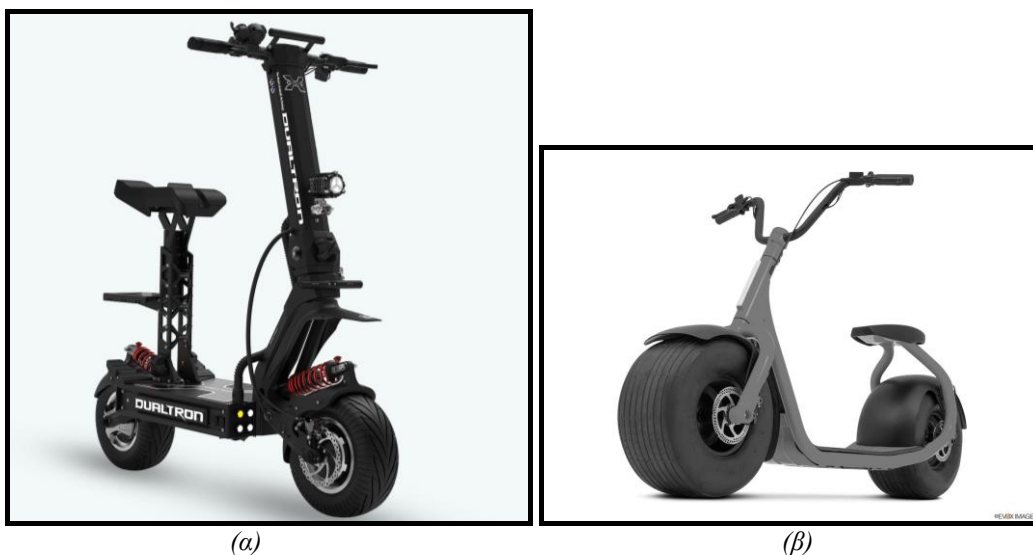
Εικόνα 4.2.2.1: (α) Ηλεκτρικό πατίνι της εταιρίας LANGFEITE, 3 κινητήρες-τροχοί. (β) Ηλεκτρικό πατίνι της εταιρίας CYCLEBOARD, ο πίσω τροχός είναι κινητήρας-τροχός.

Ένα σημαντικό μειονεκτήματα τους είναι το βάρος, συνήθως αυτοί που χρησιμοποιούν πατίνια τα αγοράζουν επειδή μπορούν να τα μεταφέρουν και τα θέλουν ελαφριά. Ο επιπλέον τροχός με τα επιπλέον εξαρτήματά του προσθέτει επιπλέον βάρος στην όλη κατασκευή. Επίσης για να παρέχετε στους δύο ή τρεις κινητήρες αρκετή ισχύ χρειάζεται και μεγαλύτερη χωρητικότητα μπαταρίας, μεγαλύτερη χωρητικότητα συνεπάγεται μεγαλύτερος όγκος μπαταρίας άρα και περισσότερο βάρος.

4.2.3. Ηλεκτρικά πατίνια με κάθισμα

Τα πατίνια με κάθισμα χαρακτηρίζονται και ως σκούτερ. Το σκούτερ είναι ένας τύπος μοτοσυκλέτας με πλατφόρμα για τα πόδια του αναβάτη όπως και στο πατίνι. Οι τροχοί των μοτοσυκλετών είναι τυπικά μεγαλύτεροι (πάνω από 40cm διάμετρο) από ότι στα ηλεκτρικά πατίνια-σκούτερ. Μια άλλη σημαντική διαφορά είναι ότι ο κινητήρας μιας μοτοσυκλέτας είναι τοποθετημένος στο πλαίσιο, ενώ σε ένα σκούτερ είναι συνήθως τμήμα των πίσω τροχών.

Τα ηλεκτρικά πατίνια με κάθισμα υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία, προσφέρουν άνεση στην οδήγηση διότι ο αναβάτης είναι καθιστός κατά τη διαδρομή, επίσης είναι πιο πλατιά η βάση που βάζει ο αναβάτης τα πόδια του και μπορεί να κοιτάει ευθεία όλο του το σώμα καθώς κάθεται ενώ στα πατίνια χωρίς κάθισμα ο αναβάτης στέκεται κατά μήκος της βάσης και το σώμα του είναι γυρισμένο στο πλάι, γι αυτό αν και τα ηλεκτρικά πατίνια με κάθισμα είναι πιο βαριά και ογκώδη, λόγω της άνεσης που προσφέρουν είναι αρκετά δημοφιλή. Επίσης έχουν και μεγαλύτερη αυτονομία.



Εικόνα 4.2.3.1: (α) Ηλεκτρικό πατίνι της εταιρίας DUALTRON. (β) Ηλεκτρικό πατίνι της εταιρίας SKOOZA.

Υπάρχουν και τα σκούτερ με περισσότερους από τρεις τροχούς, αλλά είναι για πιο ειδικές περιπτώσεις ατόμων, όπως για άτομα με ειδικές ανάγκες ή μεγαλύτερα σε ηλικία που έχουν δυσκολία να μετακινούνται πεζοί. Βρέθηκαν και μοντέλα που είχαν τέσσερις τροχούς και ήταν για μεταφορά φορτίων, ή και ακόμα μεταφορά τραυματισμένων στρατιωτών σε εμπόλεμη ζώνη.



(α)



(β)

Εικόνα 4.2.3.2:

(α) Ηλεκτρικό πατίνι με τέσσερις τροχούς, κατάλληλο για άτομα μεγάλης ηλικίας και άτομα με ειδικές ανάγκες. (β) Ηλεκτρικό πατίνι με τέσσερις τροχούς για μεταφορά φορτίων, εικόνα από «*Breaking Defense*», ηλεκτρονικό περιοδικό της «*Breaking Media*», Νέα Υόρκη.



4.3. Επιδόσεις

Εφόσον έχει γίνει κατανοητή η δομή και ο τρόπος που λειτουργούν τα σύγχρονα πατίνια που πωλούνται και κυκλοφορούν στην αγορά αλλά και τα σχέδια που υπάρχουν ως προς το σκελετό, τους τροχούς και των άλλων περιφερειακών συστημάτων, έγινε μια πιο ειδική αναζήτηση με την ματιά του απλού κοινού που ενδιαφέρεται να αγοράσει ένα ηλεκτρικό πατίνι χωρίς να δίνει προσοχή στο σχεδιασμό αλλά στο τι του προσφέρει όπως, την αυτονομία, την ταχύτητα.

Τα πρώτα που κοιτάει κάποιος όταν ενδιαφέρεται να αγοράσει ένα ηλεκτρικό πατίνι είναι η αυτονομία και η τελική ταχύτητα που μπορεί να έχει. Όλα αυτά φυσικά εξαρτώνται από την ισχύ, την χωρητικότητα της μπαταρίας και τα χαρακτηριστικά του κινητήρα που έχει το πατίνι. Σχεδόν όλα τα ηλεκτρικά σκούτερ έχουν βαθμολογία ισχύος κινητήρα που δίνεται σε μονάδες Watt. Ένα Watt είναι ένα μέτρο ισχύος ισοδύναμο με Joules ανά δευτερόλεπτο ή ενέργεια ανά δευτερόλεπτο.

Τα Watt του κινητήρα ή η ισχύς υποδηλώνει το πόση ισχύ μπορεί να καταναλώσει ο κινητήρας. Να παρατηρηθεί ότι χρησιμοποιείται η λέξη κατανάλωση και όχι παραγωγή. Ένας κινητήρας με υψηλή ισχύ θα μπορεί να καταναλώνει πολλή ενέργεια σε σύντομο χρονικό διάστημα. Όσο περισσότερη ενέργεια καταναλώνει ένας κινητήρας, τόσο περισσότερη μηχανική ισχύ θα παράγει. Η υψηλότερη βαθμολογία Watt του κινητήρα, γενικά, σημαίνει ότι ο κινητήρας θα επιταχυνθεί πιο γρήγορα, θα φέρει περισσότερο βάρος αναβάτη και θα ανέβει ανηφόρες με μεγαλύτερη κλίση.

Κατά τη συζήτηση της ισχύος του κινητήρα, υπάρχει μια διαφορά μεταξύ της ονομαζόμενης μέγιστης ισχύος έναντι της παρατεταμένης ισχύος. Η μέγιστη ισχύς αναφέρεται στη μέγιστη ισχύ που μπορεί να καταναλώσει ο κινητήρας για μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης, δεν είναι το πιο χρήσιμο μέτρο για τη σύγκριση των ηλεκτρικών σκούτερ, γιατί ο τρόπος μέτρησής του δεν φαίνεται να είναι καθολικός. Επιπλέον, η μέγιστη ισχύς είναι συνήθως 2 έως 5X μεγαλύτερη από τη συνεχή ισχύ. Μερικοί κατασκευαστές αναφέρουν την μέγιστη ισχύ του ηλεκτρικού σκούτερ τους ως έναν τρόπο για να ενισχύσουν τα στατιστικά τους.

Η διατηρητέα ή συνεχής ισχύς είναι η μέγιστη ποσότητα ισχύος που μπορεί να καταναλώσει επ'αόριστον ο κινητήρας. Η συνεχής ισχύς αναφέρεται σε αυτό όταν παραθέτονται προδιαγραφές για ισχύ κινητήρα ή ιπποδύναμη. Αυτό είναι το πιο χρήσιμο μέτρο για τη σύγκριση της απόδοσης του κινητήρα μεταξύ των ηλεκτρικών σκούτερ.

Τα περισσότερα πατίνια πόλης έχουν αυτονομία από 15 έως και 45 χιλιόμετρα με μία φόρτιση, με ταχύτητες να φτάνουν τα 25 έως και 45 χιλιόμετρα την ώρα, αυτά τα πατίνια είναι και τα πιο δημοφιλή. Επειδή σχεδόν όλα τα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχουν μεγάλη επιτάχυνση οι οδηγοί δε δίνουν μεγάλη βάση σε αυτό το μέγεθος για πατίνια μεσαίου κόστους. Αυτό που τους ενδιαφέρει περισσότερο είναι η αυτονομία. Κάποιοι κατασκευαστές έχουν σχεδιάσει έτσι τα πατίνια ώστε να είναι δυνατόν να βγαίνει η μπαταρία εύκολα και να αντικαθίσταται από άλλη δεύτερη ίδια φορτισμένη μπαταρία και η διαδικασία να επαναλαμβάνεται με τις 2 μπαταρίες.



Επίσης κάποια από τα πατίνια που πωλούνται είναι αρκετά ισχυρά ώστε να ανεβαίνουν δρόμους με κλίση από 10 έως 25 μοιρών. Υπάρχουν κι αυτά με μεγαλύτερη αυτονομία και ισχύ αλλά έχουν αρκετά υψηλότερο κόστος και βάρος, διότι μεγαλύτερη αυτονομία συνεπάγεται μεγαλύτερη και πιο βαριά μπαταρία, πχ το ηλεκτρικό πατίνι της εταιρίας DUALTRON της εικόνας 4.2.3.1(α).



4.4. Τάξεις κόστους και διαφορές

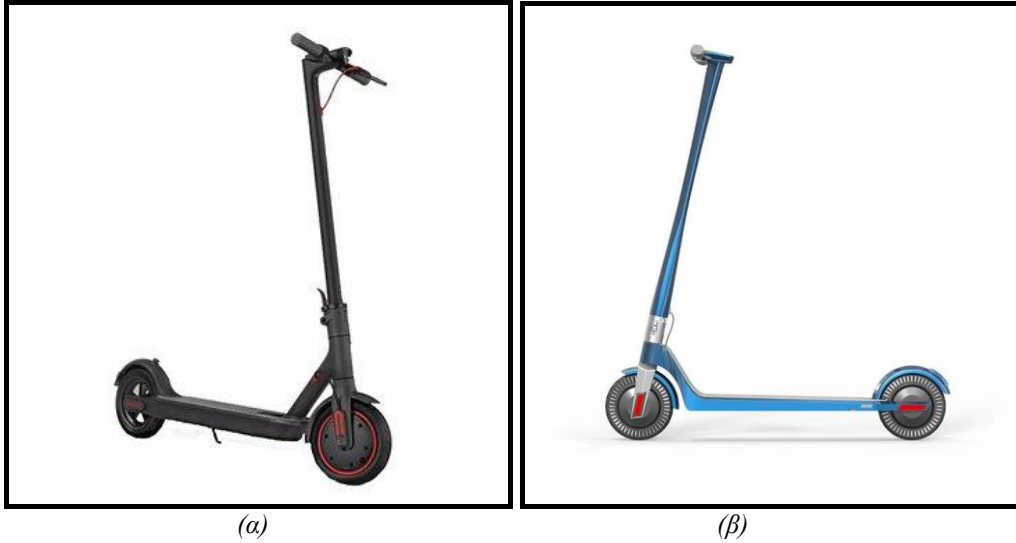
Πέρα από τις κατηγορίες που παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους, διαφορές υπάρχουν και στα πατίνια ίδιας κατηγορίας αλλά διαφορετικού κόστους. Υπάρχουν 4 τάξεις κόστους για τα e-scooter, αυτές οι 4 τάξεις χωρίζονται με βάση το κόστος αλλά χαρακτηρίζονται από την ποιότητα και τις επιδόσεις:

- 1^{ης} τάξεως, κάτω των 600 ευρώ
- 2^{ης} τάξεως, κάτω των 1200 ευρώ
- 3^{ης} τάξεως, κάτω των 2500 ευρώ
- και τέλος τα 4^{ης} τάξεως, δηλαδή τα άνω των 2500 ευρώ.

Οι τάξεις κόστους είναι ίσως περισσότερες αλλά οι διαφορές είναι εμφανείς σε αυτές τις 4 τάξεις και για αυτό αναφέρονται μόνο αυτές. Ουσιαστικά τα πατίνια της 1^{ης} τάξης είναι για άτομα μικρού βάρους, που θέλουν να μετακινούνται με μικρές ταχύτητες και για μικρές αποστάσεις. Αυτά τα πατίνια παρότι έχουν τη χαμηλότερη ποιότητα και τις λιγότερο απαιτητικές προδιαγραφές, δε σημαίνει ότι είναι κακής ποιότητας, απλά δεν έχουν ακριβά υλικά σκελετού, μεγάλη ισχύ και άνεση.

E-scooters τάξεως 1 (έως 600 ευρώ)						
Μοντέλο	Αυτονομία [km]	Τελική ταχύτητα [kmh]	Ισχύς κινητήρα [Watt]	Βάρος πατινιού [kg]	Βάρος αναβάτη [kg]	Ανάρτηση
Xiaomi Mi M365	23,5	26,9	250	12	100	-
Segway Ninebot ES2	15,7	28,6	300	12,7	100	-
Levy	24	28,9	350	12,2	104	-

Πίνακας 4.4.1: Χαρακτηριστικά e-scooters 1^{ης} τάξεως, δεδομένα από ESG, Electric Scooter Guide.



Εικόνα 4.4.1: (α) Ηλεκτρικό πατίνι XIAOMI MIJIA M365 PRO. (β) Ηλεκτρικό πατίνι UNAGI MODEL ONE E450 DUAL MOTOR.

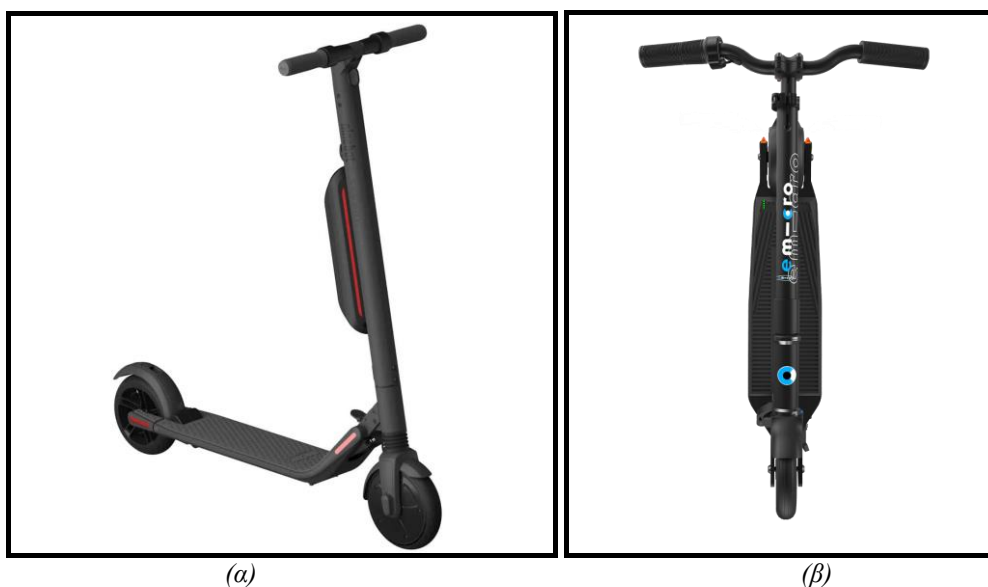
Συμπέρασμα: αυτονομία έως 25 χιλιόμετρα, τελική ταχύτητα κάτω των 30 χιλιομέτρων την ώρα, και βάρος αναβάτη έως 100 κιλά.

Όμως αυτά τα πατίνια μαζί με τα πατίνια 2^{ης} τάξεως είναι τα πιο δημοφιλή διότι είναι τα πιο απλά και πιο πρακτικά για τους περισσότερους, είναι ελαφριά, έχουν μικρό όγκο και κινούνται χωρίς προβλήματα στους δρόμους των πόλεων. Τα 2^{ης} τάξεις έχουν λίγο μεγαλύτερη αυτονομία και ισχύ που ευνοεί τη μετακίνηση σε δρόμους με κάποια μικρή κλίση (ανεφόρα), επίσης έχουν καλύτερα υλικά κατασκευής, επίσης είναι στην άνεση καλύτερα διότι κάποια έχουν και αναρτήσεις. Όλα αυτά χωρίς όμως να ανεβαίνει πολύ το βάρος του οχήματος για να παραμένει αρκετά εύκολη η μεταφορά τους.

E-skooters τάξεως 2 (έως 1200 ευρώ)						
Μοντέλο	Αυτονομία [km]	Τελική ταχύτητα [kmh]	Ισχύς κινητήρα [Watt]	Βάρος πατινιού [kg]	Βάρος αναβάτη [kg]	Ανάρτηση
Unagi Model One	25	32,1	500	12	100	-
WideWheel Pro	32,1	49,8	1000	20	100	Πίσω και μπροστά
Zero 9	34.9	45	600	18	100	Πίσω και μπροστά

Πίνακας 4.4.2:

Χαρακτηριστικά e-scooters 2^{ης} τάξεως, δεδομένα από ESG, Electric Scooter Guide.



Εικόνα 4.4.2:

(α) Ηλεκτρικό πατίνι SEGWAY-NINEBOT ES4. (β) Ηλεκτρικό πατίνι E-MICRO MICRO FALCON X3.

Συμπέρασμα: αυτονομία έως 35 χιλιόμετρα, τελική ταχύτητα κάτω των 50 χιλιομέτρων την ώρα, και βάρος αναβάτη έως 100 κιλά, μεγαλύτερη άνεση λόγω αναρτήσεων, ελάχιστα μεγαλύτερο βάρος.



Τα πατίνια 3^{ης} τάξεως κόστους είναι για αρκετά απαιτητικούς οδηγούς που θέλουν μεγάλες επιδόσεις, εκτός αυτού και πολυτέλεια αλλά και περισσότερα περιφερειακά συστήματα για περισσότερη άνεση. Είναι κατάλληλα επίσης για οδηγούς με μεγαλύτερο βάρος, ενώ κάνουν πιο εύκολη τη διαδρομή μεγάλων αποστάσεων. Η επιδόσεις αυξάνονται αισθητά, δηλαδή η τελική ταχύτητα είναι αρκετά μεγαλύτερη όπως και η αυτονομία. Επίσης χάρη στη μεγαλύτερη ισχύ του κινητήρα και τη χωρητικότητα της μπαταρίας ο οδηγός μπορεί να το οδηγήσει και σε ανώμαλο δρόμο όπως και σε δρόμο με μεγάλη ανηφορική κλίση, πολύ πρακτικό για δρόμους εκτός πόλης.

Η πολυτέλεια φαίνεται στα υλικά κατασκευής και στο πιο προσεγμένο και πιο όμορφο αισθητικά σχεδιασμό. Τα περιφερειακά συστήματα όπως τα φρένα είναι πιο ισχυρά εφόσον και η ισχύ του κινητήρα είναι μεγαλύτερη, επίσης τα φώτα είναι περισσότερα και έχουν μεγαλύτερη ισχύ και εμβέλεια. Η χρήση του e-scooter γίνεται πιο άνετη διότι σε αυτά τα πατίνια η πλατφόρμα είναι μεγαλύτερη, οι κατασκευαστές δίνουν και τη δυνατότητα να τους προστίθεται και κάθισμα, ενώ έχουν προστεθεί και άλλες λειτουργίες όπως η επιλογή της μείωσης τελικής ταχύτητας για περισσότερη αυτονομία ή επιλογή υψηλής τελικής ταχύτητας για πιο γρήγορη διαδρομή, επίσης άλλα όπως θήρες usb για να φορτίζει κάποιος το κινητό, η οθόνη ελέγχου είναι μεγαλύτερη κ.α..

E-skooters τάξεως 3 (έως 2500 ευρώ)						
Μοντέλο	Αυτονομία [km]	Τελική ταχύτητα [kmh]	Ισχύς κινητήρα [Watt]	Βάρος πατινιού [kg]	Βάρος αναβάτη [kg]	Ανάρτηση
Inokim OX	59,4	45	750	25,8	120	Πίσω και μπροστά
EVOLV Tour XL Plus	54,7	45	600	23,1	120	Πίσω και μπροστά
Kaabo Wolf Warrior 11	80	80	2400	45,8	149	Πίσω και μπροστά

Πίνακας 4.4.3:

Χαρακτηριστικά e-scooters 3^{ης} τάξεως, δεδομένα από ESG, Electric Scooter Guide.

Όλα όμως αυτά τα πλεονεκτήματα είναι εις βάρος κάποιων άλλων χαρακτηριστικών όπως το βάρος που αυξάνεται αισθητά, παρόλο που κάνει πιο σταθερή τη διαδρομή γίνεται πιο δύσκολη η μεταφορά του πατινιού. Εκτός του βάρους αυξάνεται και όγκος ενώ σε συνδυασμό με το γεγονός ότι σε κάποια μοντέλα δε υπάρχει αναδίπλωση ή ακόμα κι αν υπάρχει δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά σε όγκο.



Κάνοντας δύσκολη την αποθήκευση του, για παράδειγμα μερικοί θέλουν να χωράει στο αμάξι τους, κάτι που για τα περισσότερα μοντέλα e-scooter ανώτερα της 2^{ης} τάξης κόστους είναι αδύνατο.

Συμπέρασμα: αυτονομία έως 80 χιλιόμετρα, τελική ταχύτητα άνω των 45 χιλιομέτρων την ώρα, και βάρος αναβάτη έως 140 κιλά, οδήγηση σε δρόμους εκτός πόλης και πιο σταθερή οδήγηση, δύσκολη ή και αδύνατη η μεταφορά.

Η 4^η και τελευταία τάξη κόστους είναι για πολύ έμπειρους και πολύ απαιτητικούς οδηγούς, αυτοί οι οδηγοί μπορεί να το οδηγούν για χόμπι ακόμα και για extreme sport ανεβαίνοντας σε λόφους. Η διαδρομή είναι αρκετά γρήγορη και με μεγάλη αυτονομία, το πατίνι φτάνει μεγάλες ταχύτητες σε πολύ μικρό χρόνο, ενώ ανεβαίνει ανηφόρες με μεγάλη κλίση και με μεγάλη ταχύτητα. Παρόλο που το επιτρεπόμενο μέγιστο βάρος του αναβάτη είναι 120 κιλά, ο αναβάτης μπορεί να κάνει άλματα ή και να χοροπηδάει επάνω στο πατίνι χωρίς να του προκαλεί φθορά. Τα υλικά κατασκευής είναι εξαιρετικής ποιότητας και υψηλών αντοχών όπως κράματα τιτανίου.

E-Skooters τάξεως 4 (άνω των 2500 ευρώ)						
Μοντέλο	Αυτονομία [km]	Τελική ταχύτητα [kmh]	Ισχύς κινητήρα [Watt]	Βάρος πατινιού [kg]	Βάρος αναβάτη [kg]	Ανάρτηση
Dualtron Spider	59,5	64,3	1050	19,9	120	Πίσω και μπροστά
Dualtron X	135	94,9	6720	65,7	120	Πίσω και μπροστά
Weped GT 50e	80	80	1800	34,9	100	Πίσω και μπροστά

Πίνακας 4.4.4:

Χαρακτηριστικά e-scooters 4^{ης} τάξεως, δεδομένα από ESG, Electric Scooter Guide.

Παρόλο που σε αυτή τη τάξη κόστους το πατίνι έχει τόσο μεγάλες αντοχές και επιδόσεις πολλά μοντέλα είναι σχετικά ελαφριά και μπορούν να μεταφερθούν εύκολα, το πατίνι έχει τη μορφή ενός απλού e-scooter αλλά έχει επιδόσεις μοτοσυκλέτας χαμηλού κυβισμού. Τέτοια πατίνια είναι τα λιγότερο δημοφιλή λόγω κόστους αλλά κυρίως λόγω επιδόσεων διότι είναι επικίνδυνη η οδήγηση του σε δρόμους πόλεων.

Συμπέρασμα: αυτονομία έως και 135 χιλιόμετρα, τελική ταχύτητα έως των 94.9 χιλιομέτρων την ώρα, και βάρος αναβάτη έως 120 κιλά, οδήγηση σε δρόμους εκτός πόλης και με μεγάλη κλίση, επικίνδυνο για άπειρους οδηγούς, δύσκολη ή και αδύνατη η μεταφορά.

4.5. Μηχανισμός αναδίπλωσης

Η εύκολη μεταφορά το πατινού είναι ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά μετά την αυτονομία. Η συντριπτική πλειονότητα των μηχανισμών αναδίπλωσης ε-σκούτερ περιλαμβάνει έναν μεντεσέ μεταξύ του καταστρώματος και του άξονα τιμονιού που τους επιτρέπει να διπλώνουν μαζί. Ο μεγαλύτερος αντίκτυπος που έχει ο μηχανισμός αναδίπλωσης είναι στην πρακτικότητα και την ευκολία. Οι παλαιότεροι μηχανισμοί αναδίπλωσης ήταν ανάμεσα από τον άξονα τιμονιού (στέλεχος) και την πλατφόρμα.

Μερικά παραδείγματα είναι:

- Σύστημα Hudora "One-Step-Easy" (κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας).
- Το πτυσσόμενο σύστημα Hudora "Heavy Duty" (εκκρεμεί δίπλωμα ευρεσιτεχνίας).
- Το σύστημα Razor A5 Lux (κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας).
- Το σύστημα μίας κίνησης GlideCo Single Key.



Εικόνα 4.5.1:

Πατίνι με μηχανισμό αναδίπλωσης, σύστημα Hudora "One-Step-Easy".
Μοντέλο HUDORA Big Wheel Flex 200.

Για να μειωθεί ακόμα περισσότερο ο όγκος και για πιο εύκολη μεταφορά, σε κάποια μοντέλα υπάρχει μηχανισμός αναδίπλωσης ακόμα και στο τιμόνι, δηλαδή αναδιπλώνονται οι χειρολαβές.



Εικόνα 4.5.2:

Ηλεκτρικό πατίνι με μηχανισμό αναδίπλωσης ανάμεσα από τον άξονα τιμονιού και πλατφόρμας και με μηχανισμό αναδίπλωσης χειρολαβών τιμονιού. Μοντέλο Fuzion V-1000, εικόνα από CNET Company².

² Εικόνα Fuzion V-1000: <https://www.cnet.com/pictures/fuzion-v1000-folding-electric-scooter-photos/>

4.6. Μπαταρία

Η μπαταρία είναι το «ρεζερβουάρ» του ηλεκτρικού σκούτερ. Αποθηκεύει την ενέργεια που καταναλώνεται από τον κινητήρα DC, τα φώτα, τον ελεγκτή και άλλα αξεσουάρ. Τα περισσότερα ηλεκτρικά σκούτερ θα έχουν κάποιο τύπο μπαταρίας λιθίου με βάση την εξαιρετική ενεργειακή πυκνότητα και μακροζωία. Πολλά ηλεκτρικά σκούτερ για παιδιά και άλλα φθηνά μοντέλα περιέχουν μπαταρίες μολύβδου-οξέος. Σε ένα σκούτερ, η μπαταρία αποτελείται από μεμονωμένα κελιά και ηλεκτρονικά που ονομάζεται σύστημα διαχείρισης μπαταρίας που το διατηρεί σε λειτουργία με ασφάλεια.

Οι μεγαλύτερες μπαταρίες έχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα, μετρούμενες σε watt ώρες, και θα αφήσουν ένα ηλεκτρικό σκούτερ να ταξιδέψει περισσότερο. Ωστόσο, αυξάνουν επίσης το μέγεθος και το βάρος του σκούτερ - καθιστώντας το λιγότερο φορητό. Επιπλέον, οι μπαταρίες είναι ένα από τα πιο ακριβά εξαρτήματα του σκούτερ και το συνολικό κόστος αυξάνεται ανάλογα.



Εικόνα 4.6.1: Κυψέλες ιόντων λιθίου 18650, φωτογραφία από Wikimedia Commons.

Οι μπαταρίες των E-scooter είναι κατασκευασμένες από πολλά μεμονωμένα κελιά μπαταριών. Πιο συγκεκριμένα, αποτελούνται από 18650 κελιά, μια ταξινόμηση μεγέθους για μπαταρίες ιόντων λιθίου (Li-Ion) με κυλινδρικές διαστάσεις 18 mm x 65 mm. Κάθε κυψέλη 18650 μέσης τιμής σε μια μπαταρία δεν είναι αρκετά ισχυρή, με ισχύ 10-12 Wh. Υπάρχουν κυψέλες με μεγαλύτερο ρεύμα έως και τα 30A, αλλά όσο μεγαλώνει το ρεύμα και η ισχύς τόσο μικραίνει η αξιοπιστία.



Για να χτιστεί μια μπαταρία με χωρητικότητα εκατοντάδων ή χιλιάδων Wh, πολλά μεμονωμένα κύτταρα (μπαταρίες) ιόντων λιθίου 18650 συναρμολογούνται μαζί σε μια δομή τύπου τούβλου. Η μπαταρία τύπου τούβλου παρακολουθείται και ρυθμίζεται από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που ονομάζεται σύστημα διαχείρισης μπαταριών (BMS), το οποίο ελέγχει τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας προς και από την μπαταρία.

Μια τυπική μπαταρία ιόντων λιθίου θα μπορεί να δουλέψει για 300 έως 500 κύκλους φόρτισης/εκφόρτωσης πριν μειωθεί η χωρητικότητα. Για ένα μέσο ηλεκτρικό σκούτερ, αυτό είναι 4.800 έως 16.100 χιλιόμετρα. Να ληφθεί υπόψη ότι η "μείωση της χωρητικότητας" δεν σημαίνει "απώλεια όλης χωρητικότητας", αλλά σημαίνει μια αισθητή πτώση 10 έως 20% που θα συνεχίσει να χειροτερεύει. Τα σύγχρονα συστήματα διαχείρισης μπαταρίας συμβάλλουν στην παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας.

Μήκος	65 [mm]
Διάμετρος	18 [mm]
Μέσο ηλεκτρικό δυναμικό	3.6 [V]
Χωρητικότητα ρεύματος	3 – 3.8 [A]
Ισχύς	10 [Wh]

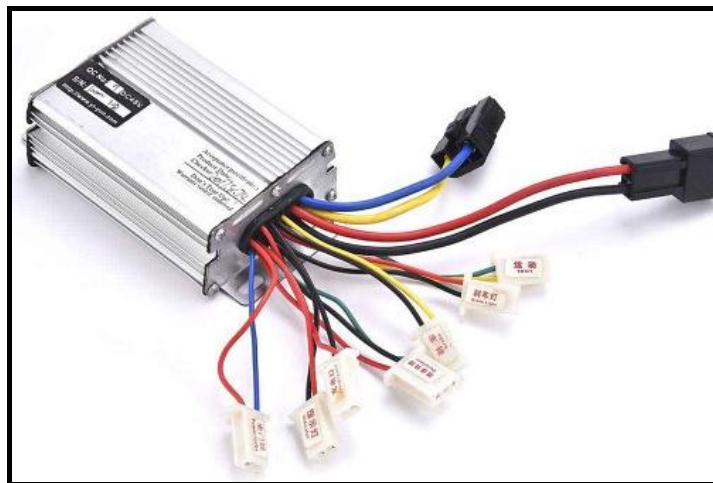
Πίνακας 4.6.1: Χαρακτηριστικά μπαταρίας 18650.

4.7. Έλεγχος ταχύτητας

4.7.1. Μικροελεγκτής

Η ταχύτητα του πατινιού ελέγχεται από τον αναβάτη αλλά υπάρχει μία συσκευή που παρεμβάλλεται μεταξύ μπαταρίας και κινητήρα η οποία ελέγχει κι αυτή επίσης την ταχύτητα. Ο ελεγκτής ταχύτητας στέλνει ισχύ στον κινητήρα με βάση την είσοδο του επιταχυντή, είσοδος επιταχυντή είναι το γκάτζι που ελέγχει ο οδηγός μέσω το τύπο γκαζιού πχ χειρολαβή, γκάτζι αντίχειρα. Ο ελεγκτής λαμβάνει εισόδους από το γκάτζι και τα (ηλεκτρονικά) χειριστήρια φρένων και το μεταφράζει σε ρεύμα που αποστέλλεται στον κινητήρα. Εκτός από τη ταχύτητα ελέγχει και τη φόρτιση και εκφόρτωση της μπαταρίας. Ο ελεγκτής ταχύτητας είναι ένα ηλεκτρονικό εξάρτημα που είναι θαμμένο βαθιά στο εσωτερικό του σκούτερ που ελέγχει τη ροή ρεύματος από την μπαταρία στον κινητήρα.

Μοιάζουν συνήθως με ορθογώνια μεταλλικά κουτιά με πολλά καλώδια να βγαίνουν από αυτά. Το μεταλλικό περίβλημα χρησιμεύει ως εναλλάκτης θερμότητας. Οι ελεγκτές βαθμολογούνται με βάση την τάση και το ρεύμα που μπορούν να ρυθμίσουν. Τα σκούτερ με ισχυρότερες κινητήρες θα έχουν ελεγκτές με υψηλότερη μέγιστη τάση και υψηλότερες βαθμολογίες μέγιστου ρεύματος. Οι ελεγκτές είναι ένα από τα πιο υποτιμημένα μέρη του ηλεκτρικού σκούτερ επειδή κάνουν ήσυχα τη δουλειά τους.



Εικόνα 4.7.1.1: Ελεγκτής ταχύτητας ηλεκτρικού πατινιού.

4.7.2. Επιταχυντής «γκάζι»

Τα περισσότερα ηλεκτρικά σκούτερ λειτουργούν με ηλεκτρονικό έλεγχο μέσω ηλεκτρικού επιταχυντή ή αλλιώς γκαζιού. Είναι η ίδια τεχνολογία με τους επιταχυντές αυτοκινήτων, αν και σε διαφορετική κλίμακα και πολυπλοκότητα. Καθώς ο αντίχειρας πιέζει το γκάζι και το ελατήριο μετακινεί τον μαγνήτη πιο κοντά ή πιο μακριά από τον αισθητήρα, ο αισθητήρας διαβάζει συνεχώς τη δύναμη του μαγνητικού πεδίου και αποστέλλει την πληροφορία με την τιμή της δύναμης στον ελεγκτή. Ο ελεγκτής έχει στη συνέχεια αλγόριθμους για να καθορίσει πόση ισχύ (ρεύμα) να αποστέλλει στον κινητήρα με βάση τη θέση της του γκαζιού.

Υπάρχουν 2 είδη επιταχυντή:

- Επιταχυντής αντίχειρα,
- Επιταχυντής δείκτη (δαχτύλου).



Εικόνα 4.7.2.1: (α) Επιταχυντής αντίχειρα με πάτημα. (β) Επιταχυντής αντίχειρα με στρέψη κέρσορα.



Εικόνα 4.7.2.2: Επιταχυντής δείκτη.

Τα πιο ακριβά πατίνια λειτουργούν με επιταχυντή δείκτη, είναι πιο άνετο για τον αναβάτη, είναι πιο εύκολη η αντικατάσταση και επίσης είναι πιο αξιόπιστο σύστημα.



4.8. Άνεση

Ο οδηγός ενός πατινιού προσέχει επίσης να είναι και άνετη η διαδρομή του πέρα από γρήγορη. Στα περισσότερα οχήματα με κινητήρα όπως π.χ. αμάξια ο οδηγός επιλέγει με κριτήριο το εάν το όχημα είναι «εμπροσθοκίνητο» ή «πισωκίνητο». Δηλαδή εάν η κίνηση-ώθηση προέρχεται από τους μπροστά τροχούς ή από τους πίσω. Σε μία ομαλή διαδρομή χωρίς πολλές στροφές και χωρίς πολλά σταματήματα η διαφορά μπορεί να γίνει ελάχιστα αντιληπτή. Όμως σε διαδρομές με πολλές στροφές και συχνές επιταχύνσεις μετά από σταματήματα, η διαφορά είναι μεγάλη. Για παράδειγμα η BMW χρησιμοποιεί τον πίσω τροχό ως κινητήριο για όλα τα αυτοκίνητά τους.

Στα πατίνια συνήθως σε ελαφρύτερα και πιο οικονομικά μοντέλα ο μπροστινός τροχός είναι κινητήριο. Η κίνηση στους πίσω τροχούς παρέχει καλύτερη ισορροπία βάρους και μικρότερη απαίτηση σε εμπειρία οδήγησης. Ο μπροστινός τροχός όμως είναι κατάλληλος για πιο εύκολη σχεδίαση σε ηλεκτρικά πατίνια. Ένα ηλεκτρικό πατίνι με περισσότερους από 2 τροχούς μπορεί να είναι εξαιρετικά ελαφρύ και η δομή θα είναι απλή, επειδή δεν συνοδεύεται από κιβώτιο ταχυτήτων και άλλα ηλεκτρονικά μέρη, μειώνεται σημαντικά και το κόστος. Εάν ο τροχός που δίνει τη κίνηση είναι μπροστά, το πατίνι ανταποκρίνεται καλύτερα στις στροφές και γίνεται πιο ομαλά η επιτάχυνση για τον αναβάτη.

Κάποια ακόμα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την άνεση είναι:

- διαστάσεις της βάσης στήριξης
- ύψος πλατφόρμας
- ύψος τιμονιού
- διάμετρος τροχών
- τύπος ελαστικών
- αναρτήσεις
- τύπος πέδησης
- φωτισμός

Υπάρχουν και άλλα όπως θήκη για το κινητό τηλέφωνο, Bluetooth κ.α. αλλά αναφέρονται τα πιο βασικά που έχουν πιο σημαντικό ρόλο στην άνεση, στην ασφάλεια και απαιτούν περισσότερη μελέτη. Παρακάτω αναλύονται τα χαρακτηριστικά με περισσότερες λεπτομέρειες για τις ποικιλίες που υπάρχουν.



4.8.1. Διαστάσεις της βάσης στήριξης

Η βάση είναι μόνο το επίπεδο που πατάει-στέκεται ο αναβάτης και όχι όλη η πλατφόρμα ή το κατάστρωμα του σκελετού. Το μέγεθος της βάσης είναι συνήθως άμεσα ανάλογο με το μέγεθος των τροχών. Όσο μεγαλύτεροι είναι οι τροχοί, τόσο μεγαλύτερη τείνει να είναι και η πλατφόρμα (κατάστρωμα) και το αντίστροφο.

Μοντέλο e-scooter	Διαστάσεις της βάσης στήριξης σε [cm]
Xiaomi Mi M365	45 × 15
Segway Ninebot Max	50 × 18
Inokim OX	άγνωστο
WideWheel Pro	45 × 14
Unagi Model One	50 × 16

Πίνακας 4.8.1.1: Πίνακας με τα ύψη της πλατφόρμας ηλεκτρικών πατινιών.

Μεγάλο μέγεθος βάσης:

Πλεονεκτήματα:

- Ευκολότερο πάτημα.
- Γενικά πιο άνετη αλλαγή στο σημείο στήριξης του αναβάτη ή η αλλαγή στη θέση του ποδιού κατά την οδήγηση.
- Ένα μεγαλύτερο κατάστρωμα οδηγεί σε μεγαλύτερη βάση τροχών. Οι μακρύτερες βάσεις των τροχών είναι πιο αποτελεσματικές για μεγάλες διαδρομές, επειδή είναι πιο εύκολο για το πατίνι να διατηρεί μια ευθεία γραμμή καθώς κυλά. Κάθε φορά που πιέζεται το πατίνι, κουνάει λίγο, με αποτέλεσμα μια ελαφρώς ελικοειδή γραμμική κίνησης. Όσο λιγότερο συμβαίνει αυτό, τόσο πιο αποτελεσματικό είναι το πατίνι.

Μειονεκτήματα:

- Το πατίνι τείνει να είναι μεγαλύτερο και βαρύτερο.
- Χρειάζεται περισσότερη προσπάθεια για να επιταχύνει και να επιβραδύνει ένα μεγαλύτερο και βαρύτερο πατίνι.

Μικρό μέγεθος βάσης: Γενικά το αντίθετο όλων των παραπάνω. **Το γενικό συμπέρασμα** είναι ότι για πιο εύκολη φορητότητα, επιλέγεται το μικρό μέγεθος βάσης στήριξης και του όλου καταστρώματος. Για μεγαλύτερη άνεση κατά τη διάρκεια της διαδρομής, επιλέγεται ένα μεγάλο μέγεθος βάσης. Οι πιο συνηθισμένες διαστάσεις είναι 15 επί 45 εκατοστά του μέτρου.



4.8.2. Ύψος πλατφόρμας

Το ύψος της πλατφόρμας αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ της επιφάνειας του κάτω μέρους της πλατφόρμας προς το έδαφος. Είναι ένας από τους μεγαλύτερους, αλλά λιγότερο γνωστούς παράγοντες που επηρεάζουν την άνεση ενός πατινιού. Γενικά, όσο χαμηλότερο είναι το κατάστρωμα, τόσο πιο άνετο θα είναι να ωθείται το πατίνι, επίσης όταν κάποιος κινείται στη πόλη μπορεί να χρειαστεί να σταματάει συχνά και να στηρίζεται στο ένα πόδι, ένα χαμηλό κατάστρωμα καθιστά πιο άνετο αυτό το φαινόμενο για τον αναβάτη.

Χαμηλό ύψος καταστρώματος:

Πλεονεκτήματα:

- Κάνει το πατίνι πιο άνετο στο σπρώξιμο, επιτρέποντάς πιο χαλαρή (άνετη) οδήγηση.
- Αυξημένη σταθερότητα με χαμηλότερο κέντρο βάρους.

Μειονεκτήματα:

- Μεγαλύτερες πιθανότητες από το κάτω μέρος του σκούτερ σε λάκτισμα ή ξύσιμο σε υψωμένο έδαφος.

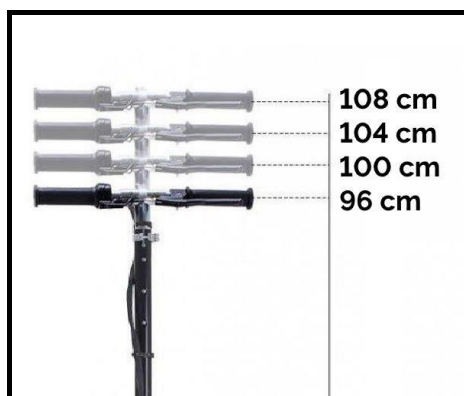
Μοντέλο e-scooter	Ύψος πλατφόρμας (απόσταση από το έδαφος) σε [cm]
Xiaomi Mi M365	8,9
Segway Ninebot Max	7,6
Inokim OX	12
WideWheel Pro	10,6
Unagi Model One	10,7

Πίνακας 4.8.2.1: Πίνακας με τα ύψη της πλατφόρμας ηλεκτρικών πατινιών.

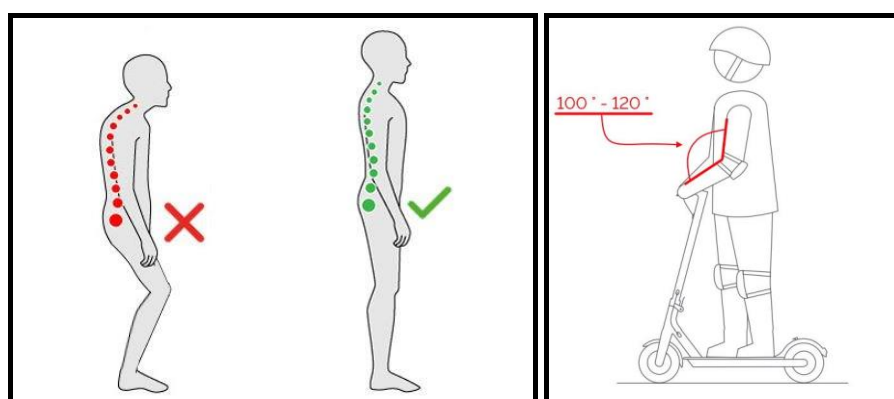
Συμπέρασμα: ένα πατίνι με όσο το δυνατόν χαμηλότερο ύψος καταστρώματος είναι τόσο το καλύτερο. Ουσιαστικά το ύψος πλατφόρμας επηρεάζεται άμεσα από τη διάμετρο των τροχών και της γεωμετρίας της πλατφόρμας. Το πιο συνηθισμένο ύψος πλατφόρμας για πατίνια μεσαίου κόστους είναι γύρω στα 10 εκατοστά του μέτρου.

4.8.3. Ύψος τιμονιού

Το ύψος του τιμονιού επηρεάζει το εύρος κίνησης του αναβάτη και το χειρισμό του πατινιού. Εάν το τιμόνι είναι πολύ υψηλό, τα αντιβράχια του αναβάτη θα καταβάλουν μεγαλύτερη προσπάθεια. Εάν είναι πολύ χαμηλά τότε γίνεται πιο δύσκολος ο χειρισμός και κακή στάση του σώματος.



(α)



(β)

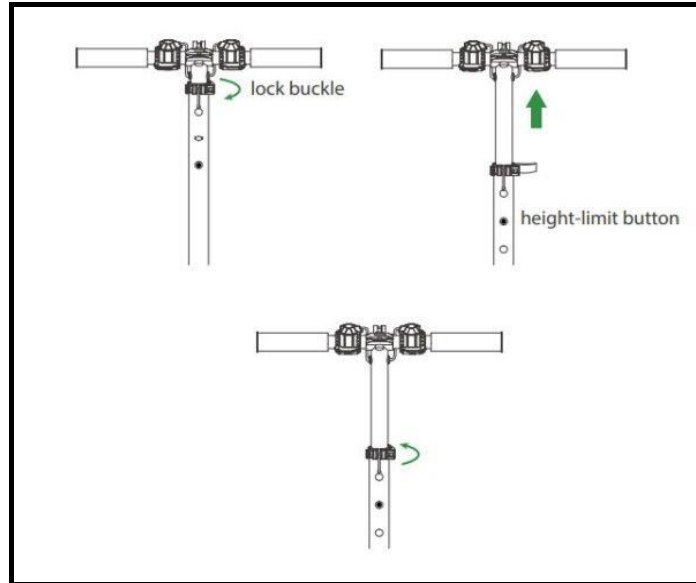
(γ)

Εικόνα 4.8.3.1:

Εικόνες από «EScooterNerds»³.

Η καλύτερη λύση είναι το προσαρμοζόμενο τιμόνι. Διότι κάνει το πατίνι πιο προσιτό για όλους τους αναβάτες ως προς το ύψος τους. Το χαμηλότερο τιμόνι σε πατίνι είναι στα 72cm και το υψηλότερο είναι 112cm.

³ Ιστότοπος EScooterNerds: <https://escotternerds.com/scooter-handlebar-height/>



Εικόνα 4.8.3.2: Προσαρμόζόμενο ύψος τιμονιού, από «EScooterNerds»⁴.

⁴ Ιστότοπος EScooterNerds: <https://escotternerds.com/scooter-handlebar-height/>

4.8.4. Διάμετρος τροχών

Μεγάλοι τροχοί (Διάμετρος από 180mm και άνω):

Πλεονεκτήματα:

- Μεγαλύτερη απόσταση ολίσθησης ανά ώθηση (υψηλότερη απόδοση κύλισης).
- Καλύτερη απορρόφηση κραδασμών.
- Περισσότερη ασφάλεια για κίνηση πάνω σε αντικείμενα στο έδαφος (όπως κλαδιά, βότσαλα) ή σε ραγμές εδάφους.
- Συνήθως συνδυάζονται με μεγαλύτερη πλατφόρμα για άνεση.

Μειονεκτήματα:

- Βαρύτερο για μεταφορά (συνήθως 4 έως 6,5 κιλά).
- Φυσικά μεγαλύτερο και πιο δυσκίνητο. Ένα πιθανό πρόβλημα στις πολυσύχναστες δημόσιες συγκοινωνίες.
- Χρειάζεται περισσότερη προσπάθεια για επιτάχυνση και επιβράδυνση (χαμηλότερος ρυθμός επιτάχυνσης).
- Λιγότερο ευκίνητο με μεγαλύτερη ακτίνα στροφής.



Εικόνα 4.8.4.1: Τροχοί πατινιών με διαφορετική διάμετρο.

Μικροί τροχοί (Διάμετρος έως 145 mm):

Πλεονεκτήματα:

- Ελαφρύ (συνήθως κάτω από 4 κιλά).
- Ευκολότερο στην επιτάχυνση και επιβράδυνση.
- Πιο ευκίνητο και με μικρότερη ακτίνα στροφής.

Μειονεκτήματα:

- Χαμηλότερη απόδοση κύλισης: μικρότερη απόσταση ολίσθησης με κάθε ώθηση.



- Μεταδίδεται περισσότερη δόνηση από το έδαφος.
- Σχετικά υψηλότερη πιθανότητα ανατροπής τροχών σε τυχαία αντικείμενα ή ρωγμές στο δρόμο.

Το **συμπέρασμα** που βγαίνει είναι ότι οι μεγαλύτεροι τροχοί είναι καλοί για απόδοση και άνεση (λιγότερες δονήσεις), αλλά καθιστούν το πατίνι λιγότερο βολικό για μεταφορά. Ενώ οι μικρότεροι τροχοί είναι καλοί για μεταφορά, αλλά με χαμηλότερη απόδοση (πιο αργή κίνηση) και μικρότερη άνεση (περισσότερες δονήσεις). Η επιλογή έχει να κάνει κυρίως με βάση την ποιότητα του οδοστρώματος. Με πιο μεγάλα ελαστικά η οδήγηση είναι πιο ασφαλής και άνετη, αλλά η πολύ μεγάλη διάμετρος είναι για τους πιο έμπειρους οδηγούς, διότι όσο πιο μεγάλη η διάμετρος του τροχού τόσο πιο απότομες φαίνονται οι κινήσεις για τον οδηγό.

Μοντέλο e-scooter	Διάμετρος τροχού [cm]
Xiaomi Mi M365	23,6
Segway Ninebot Max	25,4
Inokim OX	25.4
WideWheel Pro	20
Unagi Model One	21.6

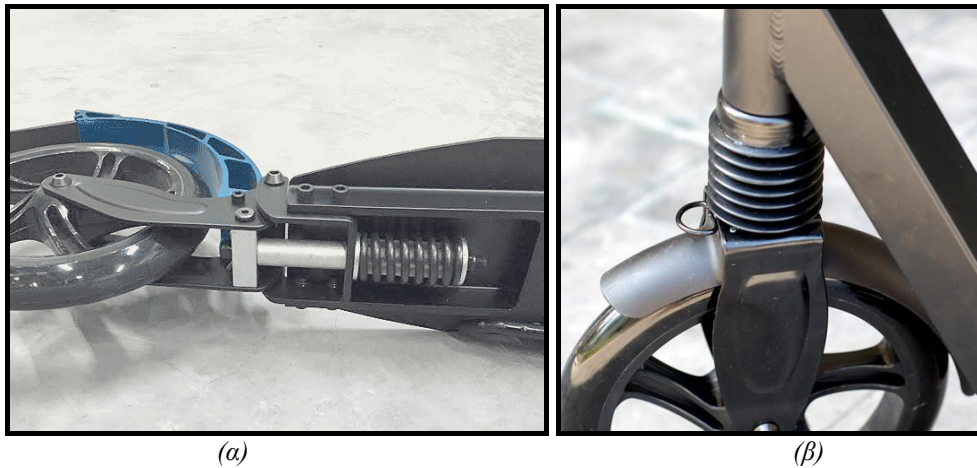
Πίνακας 4.8.4.1: Πίνακας με διαμέτρους τροχών ηλεκτρικών πατινιών, πληροφορίες από ESG.

4.8.5. Ανάρτηση

Η ανάρτηση του ηλεκτρικού σκούτερ, όπως στο μηχανοκίνητο όχημα ή το ποδήλατο, βοηθά στη βελτίωση της ποιότητας οδήγησης και στην απόσβεση των προσκρούσεων στο δρόμο. Υπάρχουν τρεις κύριοι τύποι συστημάτων ανάρτησης που βρίσκονται συνήθως σε ηλεκτρικά σκούτερ:

- Ελατήριο.
- Υδραυλικό έμβολο ή αέρα.
- Ανάρτηση από καουτσούκ.

Τα σκούτερ με την καλύτερη ανάρτηση θα έχουν κάποιο συνδυασμό ελατηρίου και εμβόλου - ένας συνδυασμός που ονομάζεται πηνίο πάνω από υδραυλικό ή πηνίο πάνω από τον αέρα. Πολλά σκούτερ παραμένουν ανασταλτικά υπέρ μεγάλων πνευματικών ελαστικών που παρέχουν εφέ απόσβεσης. Τα μεγάλα πνευματικά ελαστικά μπορούν να προσφέρουν μια καλύτερη μορφή ανάρτησης από τις φτηνές αναρτήσεις ελατηρίου.



Εικόνα 4.8.5.1: (α) Ανάρτηση τύπου ελατηρίου, πίσω τροχού. (β) Ανάρτηση εμβόλου αέρα, πρόσθιου τροχού



Εικόνα 4.8.5.2: Ανάρτηση τύπου ελατηρίου, μπροστά τροχού, μοντέλο Dualtron X.



4.8.6. Τύπος τροχών

Υπάρχουν δύο συνήθως χρησιμοποιούμενοι τύποι ελαστικών ηλεκτρικών σκούτερ:

- Πνευματικά ελαστικά (πεπιεσμένου αέρα).
- Στερεά ή συμπαγή (χωρίς αέρα) ελαστικά.

Τα ελαστικά πεπιεσμένου αέρα, είναι ελαστικά που χρησιμοποιούν πίεση αέρα για τη διατήρηση της δομής τους. Έχουν ένα στέλεχος βαλβίδας που προεξέχει είτε από την πλευρά είτε προς το κέντρο του τροχού. Το στέλεχος της βαλβίδας είναι η σύνδεση που χρησιμοποιείτε για να εισαχθεί ή να βγει ο αέρας από το ελαστικό, επίσης να γίνει έλεγχος στην πίεση του αέρα του ελαστικού. Τα περισσότερα ελαστικά που χρησιμοποιούνται σε άλλα οχήματα όπως αυτοκίνητα, ποδήλατα, μοτοσυκλέτες είναι πνευματικά (με αέρα). Τα ελαστικά πεπιεσμένου αέρα διατίθενται σε δύο ειδών:

- Με βαλβίδα (εσωτερικό σωλήνα πλήρωσης)
- Χωρίς βαλβίδα.

Τα ελαστικά χωρίς βαλβίδα είναι συνηθισμένα στα αυτοκίνητα, αποτελούνται μόνο από το ελαστικό που σχηματίζει αεροστεγή σφράγιση γύρω από τη ζάντα. Το χείλος του ελαστικού στεγάζει το στέλεχος της βαλβίδας. Τα ελαστικά χωρίς βαλβίδα τείνουν να είναι πιο βαριά, ανθεκτικά στη διάτρηση και με υψηλότερη απόδοση. Ωστόσο είναι επίπονη και χρονοβόρα η διαδικασία αλλαγής τους. Σε ορισμένα ηλεκτρικά σκούτερ θα πρέπει πραγματικά ολόκληρος ο τροχός να μεταφερθεί σε ένα κατάστημα ελαστικών και να τους ζητηθεί να χρησιμοποιήσουν τη μηχανή αφαίρεσης ελαστικών τους για να το βγάλουν.

Τα ελαστικά που έχουν βαλβίδα είναι κοινά σε ποδήλατα και ηλεκτρικά σκούτερ, έχουν ένα βαρύ εξωτερικό κέλυφος ελαστικών που έχει τα πέλματα και μια επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το δρόμο. Μέσα στο ελαστικό υπάρχει ένας ξεχωριστός σωλήνας που συγκρατεί τον αέρα και έχει τη βαλβίδα που χρησιμοποιείται για την πλήρωση. Εάν το ελαστικό είναι τρυπημένο, μόνο ο εσωτερικός σωλήνας πρέπει να επιδιορθωθεί ή να αντικατασταθεί.

Τα ελαστικά πεπιεσμένου αέρα έχουν τρία κύρια οφέλη σε σύγκριση με τα συμπαγή ελαστικά:

- Χαμηλότερη τριβή κύλισης.
- Καλύτερη απορρόφηση της διαδρομής.
- Καλύτερη πρόσφυση.

Ο χαμηλότερος συντελεστής τριβής κύλισης σημαίνει ότι αυτά τα ελαστικά χάνουν λιγότερη ενέργεια καθώς κυλούν κατά μήκος του εδάφους. Αυτό σημαίνει περισσότερη διανύσασα απόσταση και υψηλότερη τελική ταχύτητα με πνευματικά ελαστικά. Η καλύτερη απορρόφηση της κίνησης παρέχεται από την πίεση του αέρα στο ελαστικό. Τα πνευματικά ελαστικά είναι πολύ καλύτερα σε θέση να απορροφούν προσκρούσεις στο δρόμο από τα συμπαγή. Σε ορισμένα σκούτερ, είναι η μόνη μορφή αναστολής.



Εικόνα 4.8.6.1: Βαλβίδα πλήρωσης σαμπρέλας τροχού.

Τα ελαστικά πεπιεσμένου αέρα έχουν έναν καλύτερο στατικό συντελεστή τριβής που σημαίνει ότι είναι λιγότερο πιθανό να γλιστρήσουν καθώς κυλούν κατά μήκος του εδάφους. Επιτρέπουν πιο γρήγορο σταμάτημα δίχως γλίστρημα (ολίσθηση). Επιπλέον, παρέχουν καλύτερη πρόσφυση, ακόμη και σε υγρές συνθήκες.

Υπάρχουν δύο μειονεκτήματα στα πνευματικά ελαστικά:

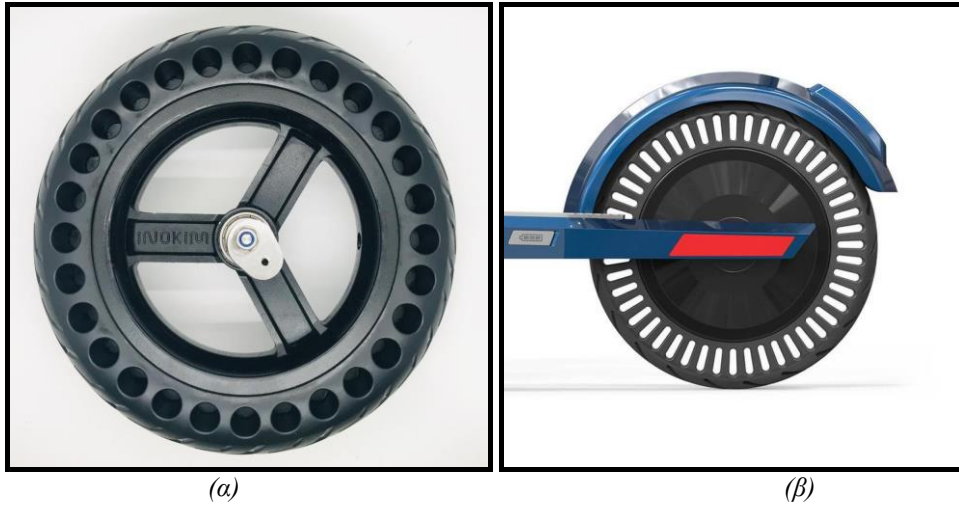
- Μπορούν να τρυπήσουν.
- Συντήρηση πίεσης ελαστικών.

Τα συμπαγή ελαστικά χρησιμοποιούν ελαστικό ή στερεό υλικό πλήρωσης αφρού πολυουρεθάνης για να παρέχουν δομική ακεραιότητα και όχι πίεση αέρα. Είναι απόλυτα ανοσοποιημένοι σε τρυπήματα και δεν ξεφουσκώνουν. Αυτό είναι το μεγαλύτερο (και μόνο) όφελος τους. Με κάθε άλλο τρόπο, τα συμπαγή ελαστικά είναι κατώτερα από τα πνευματικά ελαστικά.

Τα συμπαγή ελαστικά έχουν μερικά διαφορετικά ονόματα και μορφές κατασκευής:

- Κηρήθρα.
- Γεμάτα.

Τα συμπαγή ελαστικά με κηρήθρα έχουν εσωτερική ελαστική δομή κηρήθρας σχεδιασμένη να παρέχει δομική ακεραιότητα και να διατηρεί το βάρος του ελαστικού. Τα γεμάτα ελαστικά περιέχουν καουτσούκ, αφρό ή άλλο συμπαγές εύκαμπτο πολυμερές γέμισμα. Τα συμπαγή ελαστικά δεν είναι απαραίτητα πιο ανθεκτικά από τα ελαστικά πεπιεσμένου αέρα. Είναι συχνά κατασκευασμένα από σκληρά πλαστικά που θα φθαρούν ταχύτερα λόγω της υψηλότερης τριβής κύλισης. Ένα πράγμα που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι τα στερεά ελαστικά μπορεί να είναι πολύ πιο δύσκολο (και μερικές φορές σχεδόν αδύνατο) να αλλάξουν.



Εικόνα 4.8.6.2: (α) Συμπαγές ελαστικό με δομή κηρήθρας, της εταιρίας INOKIM. (β) Συμπαγές ελαστικό με δομή κηρήθρας, μοντέλο Upagi Model One.

Συμπέρασμα: ένα μεγάλης διαμέτρου ελαστικό και τύπου κηρήθρας κάνει μικρότερη τη ανάγκη για αναρτήσεις και συντήρηση.



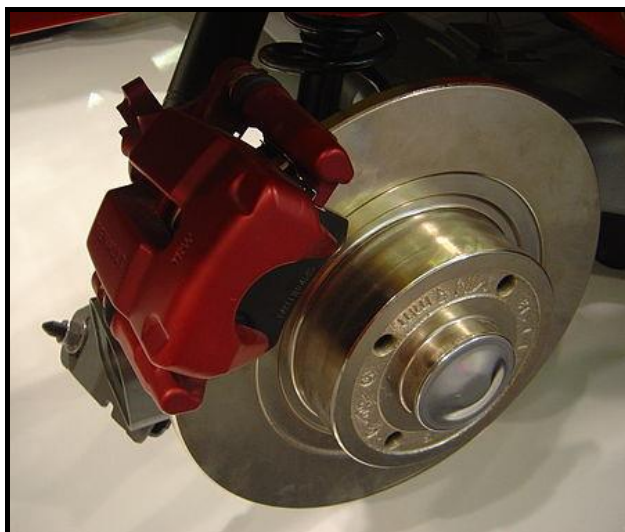
4.8.7. Σύστημα πέδησης

Τα φρένα καθορίζουν την απόσταση ακινητοποίησης, τη απαιτούμενη φυσική προσπάθεια ενεργοποίησης τους, την αντοχή και την απόδοση σε υγρές συνθήκες. Τα ηλεκτρικά σκούτερ θα διαθέτουν τουλάχιστον ένα σύστημα πέδησης και πολλά έχουν με περισσότερους από έναν τύπους.

Το πόσο καλά αποδίδουν τα φρένα, εξαρτάται από τον τύπο των συστημάτων πέδησης που είναι εξοπλισμένο το σκούτερ. Τα μηχανικά φρένα περιλαμβάνουν δισκόφρενα, τύμπανα και ποδόφρενα. Η τυπική απόσταση ακινητοποίησης 25 kmh για μηχανικά φρένα είναι τα 6 μέτρα, με την απόλυτη καλύτερη ισχύ ακινητοποίησης να είναι κάτω από 3 μέτρα. Τα αναγεννητικά και τα ηλεκτρονικά φρένα είναι όλα συστήματα πέδησης με χαμηλή απόδοση για διάφορους λόγους. Αν και τα φρένα ποδιών ελέγχονται μηχανικά, δεν λειτουργούν τόσο αποτελεσματικά όσο τα φρένα δίσκων ή τυμπάνων. Η τυπική απόσταση σταματήματος 25 kmh χρησιμοποιώντας μόνο ηλεκτρονικό φρένο είναι 10 έως 12 μέτρα. Αυτό είναι ισοδύναμο με το μήκος 2 έως 3 αυτοκινήτων σε σειρά, οπότε είναι ξεκάθαρο το πόσο πολύ δύναμη θα ασκηθεί στον αναβάτη σε σύγκρουση και τον τραυματισμό που θα μπορούσε να υποφέρει.

Δισκόφρενα

Τα δισκόφρενα είναι ο καλύτερος και ασφαλέστερος τύπος ηλεκτρικού φρένου, τέτοια φρένα έχουν και τα ποδήλατα, επίσης το προτείνει το ESG (Electric Scooter Guide). Παρέχουν ισχυρή δύναμη πέδησης σε υγρές και ξηρές συνθήκες. Επιπλέον, είναι ελαφρύ, αξιόπιστο και εύκολο στη ρύθμιση. Τέτοια φρένα δίσκων υπάρχουν σε ποιοτικά ηλεκτρικά σκούτερ και σχεδόν σε κάθε εύρος τιμών και αποκλειστικά σε ηλεκτρικά σκούτερ υψηλής απόδοσης.



Εικόνα 4.8.7.1: Δισκόφρενο σε αυτοκίνητο της Renault. Εικόνα από Wikimedia Commons⁵.

⁵ Δισκόφρενο: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Disk_brake_dsc03682.jpg



Το δισκόφρενο αποτελείται από ένα μεταλλικό δίσκο που ονομάζεται ρότορας συνδέεται και περιστρέφεται με τον τροχό του ηλεκτρικού σκούτερ. Ο πιο συνηθισμένος σχεδιασμός για τον έλεγχο των φρένων είναι ένας μοχλός χειρός, παρόμοιος με αυτό που βρίσκεται σε ένα παραδοσιακό ποδήλατο. Όταν τραβιέται ο μοχλός φρένου, ενεργοποιεί ένα στοιχείο που ονομάζεται δαγκάνα που περιβάλλει κάποιο μικρό μέρος του ρότορα. Η δαγκάνα πιέζει τον περιστρεφόμενο ρότορα με τακάκια φρένων, προκαλώντας τριβή που επιβραδύνει τον τροχό.

Τα δισκόφρενα διατίθενται σε τρεις επιλογές:

- Υδραυλικά,
- Ημι-υδραυλικά,
- Μηχανικά.

Τα πλήρως υδραυλικά δισκόφρενα χρησιμοποιούν γεμάτες με υγρά (υδραυλικές) γραμμές για τον έλεγχο της ενεργοποίησης των δαγκάνων των φρένων. Όταν πιέζεται ο μοχλός φρένων, αυξάνει την πίεση στις υδραυλικές γραμμές που είναι συνδεδεμένες με τις δαγκάνες φρένων. Η αυξημένη πίεση στις δαγκάνες φρένων προκαλεί την κίνηση ενός εμβόλου, συσφίγγοντας τον ρότορα.

Τα ημι-υδραυλικά δισκόφρενα είναι παρόμοια με τα πλήρως υδραυλικά φρένα, αλλά αντί να έχουν υδραυλική γραμμή που εκτείνεται από μοχλό έως τη δαγκάνα, χρησιμοποιούν καλώδιο. Το καλώδιο κινείται από το μοχλό φρένων έως τη δαγκάνα και μετακινεί ένα υδραυλικό έμβολο όταν είναι ενεργοποιημένο.

Τέλος τα μηχανικά δισκόφρενα, ο πιο συνηθισμένος τύπος δισκοφρένου, χρησιμοποιείται ένα καλώδιο φρένων για να ενεργοποιηθεί η δαγκάνα. Τα περισσότερα μηχανικά δισκόφρενα που ενεργοποιούνται με καλώδιο ενεργοποιούνται από ένα μοχλό φρένων. Τραβώντας το, συντομεύει το καλώδιο φρένων, το οποίο είναι συνδεδεμένο στη δαγκάνα φρένων. Η δαγκάνα μεταδίδει μηχανικά τη δύναμη που προκαλεί στα τακάκια των φρένων ώστε να συσφίξουν τον ρότορα.

Πλεονεκτήματα των δισκοφρένων:

- Εξαιρετική δύναμη πέδησης.
- Αποδώστε καλά σε υγρές και ξηρές συνθήκες.
- Ελαφρύ σύστημα πέδησης.
- Εύκολη ρύθμιση και συντήρηση.
- Εξαιρετικός έλεγχος φρεναρίσματος, ειδικά με υδραυλικά δισκόφρενα.

Μειονεκτήματα των δισκοφρένων:

- Ενδέχεται να απαιτούνται περιστασιακές ρυθμίσεις και συντήρηση.
- Τα δισκόφρενα μπορεί να αυξήσουν το συνολικό κόστος του σκούτερ.
- Οι κακές, σκληρές συνθήκες οδήγησης μπορεί να μειώσουν την απόδοση.
- Τα δισκόφρενα κακής ποιότητας είναι ευαίσθητα σε βλάβη του ρότορα.

Τα πλήρως υδραυλικά δισκόφρενα είναι ο καλύτερος τύπος δισκοφρένου. Η υδραυλική ενεργοποίηση τους δίνει τον καλύτερο έλεγχο στο φρενάρισμα. Καθώς πιέζεται ο μοχλός φρένων, το φρένο είναι ισχυρό και συνεπές. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα μηχανικά δισκόφρενα ενεργοποιημένα με καλώδιο τα οποία μπορεί να μην αισθάνονται γραμμικά και συνεπή λόγω τριβής στα καλώδια. Τα μηχανικά παρουσιάζουν περισσότερη αντίσταση, από τα καλώδια έναντι των υδραυλικών δισκοφρένων, καθώς υπάρχει συχνά περισσότερη τριβή.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 4.8.7.2: Δισκόφρενα. (α) Μοντέλο Fluid FreeRide Mercane WideWheel. (β) Μοντέλο Xiaomi Mi M365. (γ) Μοντέλο Kaabo Mantis.

Φρένα τυμπάνου ή ταμπούρα

Τα φρένα των τυμπάνων περικλείονται μέσα στην πλήμνη του τροχού και έχουν τακάκια που αθούν προς τα έξω στην επιφάνεια πέδησης, προκαλώντας τριβή που επιβραδύνει τον τροχό. Το φρένο είναι πλήρως κλειστό, προστατεύοντάς το από το περιβάλλον. Το περίβλημά του είναι ένα όφελος αλλά και ένα μειονέκτημα, καθώς τα φρένα των τυμπάνων υπερθερμαίνονται γίνονται λιγότερο αποτελεσματικά. Αν και δεν είναι τόσο πιθανό να υπάρχει πρόβλημα με ένα σκούτερ όσο και με τα αυτοκίνητα (δεδομένη ταχύτητα και φορτίο), είναι κάτι που μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των τυμπάνων φρένων.



Όπως και με τα δισκόφρενα, τα φρένα τυμπάνου ενεργοποιούνται από μοχλούς χειρός που ενεργοποιούνται με καλώδιο, συνήθως με τον αριστερό μοχλό να λειτουργεί τα μπροστινά φρένα και το δεξιό μοχλό να λειτουργεί πίσω. Είναι σχεδόν εξίσου αποτελεσματικά με τα δισκόφρενα, γενικά απαιτούν λιγότερη συντήρηση, αλλά είναι πιο περίπλοκα στην εργασία τους

Πλεονεκτήματα των ταμπούρων:

- Γενικά χαμηλή συντήρηση.
- Σταθερή απόδοση σε υγρές συνθήκες.
- Μέτρια απόδοση πέδησης.
- Πλήρως κλειστός στην πλήμνη των τροχών.

Μειονεκτήματα των τυμπάνων φρένων:

- Βαρύτερο σύστημα πέδησης.
- Περίπλοκος για αποσυναρμολόγηση ή επισκευή.
- Χαμηλότερη απόδοση από τα δισκόφρενα.
- Κακή απόδοση όταν υπερθερμαίνεται.



Εικόνα 4.8.7.3: Τροχός με φρένο τυμπάνου. Εικόνα από τον ιστότοπο της ESG.

Φρένο ποδιού

Τα φρένα ποδιών είναι ένα αρθρωτό φτερό που ωθείται στο πίσω ελαστικό, δημιουργώντας τριβή που επιβραδύνει τον τροχό. Ενεργοποιούνται πιέζοντας προς τα κάτω το φτερό με τη φτέρνα του αναβάτη. Πατιέται το πίσω ελαστικό για να επιβραδυνθεί το σκούτερ - που σημαίνει ότι πρέπει να μετακινήσει ο αναβάτης το πίσω πόδι από το κατάστρωμα για να φρενάρει ή να διατηρεί το πίσω πόδι του συνέχεια έτοιμο. Αν και αυτό ακούγεται αρκετά απλό, οι μικρές κινήσεις μπορεί να κάνουν τον αναβάτη να χάσει την ισορροπία του, ειδικά σε σκούτερ με μικρότερα ελαστικά.



Πλεονεκτήματα των φρένων ποδιών:

- Χωρίς συντήρηση.
- Αδύναμο σύστημα πέδησης.
- Απλός σχεδιασμός και χρήση.

Μειονεκτήματα:

- Κακή απόδοση.
- Ακόμη χειρότερη απόδοση σε υγρές συνθήκες.
- Ενεργοποιείται όχι τόσο αποτελεσματικά όσο τα χειροκίνητα φρένα.
- Απαιτεί συγκεκριμένη (άβολη) θέση οδήγησης.



Εικόνα 4.8.7.4: Φρένο ποδιού, εικόνα από ιστότοπο του ESG.

Ηλεκτρικά φρένα και αναγεννητικής πέδησης

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται στα οχήματα, ηλεκτρικά και υβριδικά, ένα σύστημα ανάκτησης κινητικής ενέργειας ή αλλιώς σύστημα KERS. Η τεχνολογία της ανάκτησης κινητικής ενέργειας (KERS) είναι ένα αυτοκινητοβιομηχανικό σύστημα για την ανάκτηση κινητικής ενέργειας ενός κινούμενου οχήματος υπό φρενάρισμα. Η ανακτημένη ενέργεια αποθηκεύεται σε μια δεξαμενή (για παράδειγμα μπαταρίες υψηλής τάσης) για μελλοντική χρήση υπό επιτάχυνση. Ουσιαστικά ένα τέτοιο σύστημα δεν προσθέτει ως δια μαγείας ενέργεια από μόνο του, αλλά μειώνει τις απώλειες ενέργειας ανακυκλώνοντας την, δηλαδή αυξάνεται η απόδοση του οχήματος.



Εικόνα 4.8.7.5: Ηλεκτρικό πατίνι με σύστημα ανάκτησης ενέργειας, E-TOW GT 2020, της εταιρίας E-TWOW - Electric Two Wheels.

Το σύστημα KERS χρησιμοποιείται αρκετά στα ηλεκτρικά πατίνια, δηλαδή αρκετά μοντέλα είναι εξοπλισμένα με αναγεννητικό σύστημα πέδησης για πρόσθετη ισχύ. Έτσι, βελτιώνεται η εξαναγκασμένη πέδηση και η διάρκεια μπαταρίας την ίδια στιγμή. Για παράδειγμα το μοντέλο E-TOW εικόνα 4.4.1, έχει 40% περισσότερη αυτονομία χάρις σε αυτό το σύστημα, τουλάχιστον αυτό ισχυρίζονται οι κατασκευαστές του. Η ενεργοποίηση των αναγεννητικών φρένων στο ηλεκτρικό σκούτερ συνδέει τον κινητήρα DC με ένα κύκλωμα φόρτισης που τροφοδοτεί με δύναμη τα ηλεκτρόνια πίσω στην μπαταρία δημιουργώντας μια έλξη στον κινητήρα.

Ακούγεται υπέροχο, αλλά όπως εξηγεί το ESG (Electric Scooter Guide) η ατυχής πραγματικότητα είναι ότι αναπαράγουν πολύ λίγη ενέργεια επειδή:

- Δεν υπάρχει πολλή κινητική ενέργεια για να συλλάβει.
- Οι μπαταρίες δεν μπορούν να επαναφορτιστούν πολύ γρήγορα.

Επιπλέον, δεν είναι ένα καλό φρένο επειδή είναι αποτελεσματικό μόνο όταν το πατίνι πηγαίνει γρήγορα. Η ισχύς πέδησης προέρχεται από μια αντίθετη ηλεκτροκινητική δύναμη (CEMF) που αντιτίθεται στην περιστροφή του κινητήρα. Ενώ το φρενάρισμα μπορεί να είναι ισχυρό αρχικά, εξασθενεί γρήγορα επειδή το CEMF δημιουργείται από την εμπρόσθια περιστροφή του κινητήρα.

Πλεονεκτήματα:

- Χωρίς πρόσθετο βάρος ή συντήρηση.
- Μικρή ανάκτηση ενέργειας.

Μειονεκτήματα:

- Κακή απόδοση πέδησης.
- Ενδέχεται να μην λειτουργεί όταν η μπαταρία είναι πλήρως φορτισμένη.
- Ορισμένα αναγεννητικά συστήματα πέδησης δεν εφαρμόζονται σωστά και είναι επιρρεπή σε ολική αστοχία.



Τα ηλεκτρονικά φρένα λειτουργούν σχεδόν με τον ίδιο τρόπο με τα αναγεννητικά φρένα, εκτός του ότι δεν βοηθούν στην επαναφόρτιση της μπαταρίας. Ενεργοποιούνται από ένα διακόπτη που κλείνει τους ακροδέκτες του κινητήρα, δημιουργώντας αντίσταση στην περιστροφή του κινητήρα. Τα ηλεκτρονικά φρένα ενεργοποιούνται με δύο τρόπους: μπουτόν ή μοχλοί φρένων. Ορισμένα σκούτερ έρχονται με ένα μπουτόν κατά μήκος του τιμονιού για τη χρήση ηλεκτρονικών φρένων, ενώ άλλα μοντέλα απαιτούν μια ελαφριά έλξη και απελευθέρωση στους μοχλούς φρένων.

Πλεονεκτήματα:

- Χωρίς πρόσθετο βάρος ή συντήρηση.

Μειονεκτήματα:

- Κακή απόδοση φρεναρίσματος.
- Ορισμένα ηλεκτρονικά συστήματα πέδησης δεν εφαρμόζονται σωστά και είναι επιρρεπή σε αστοχία.



Εικόνα 4.8.7.6: Μπουτόν (κουμπί) ενεργοποίησης ηλεκτρονικού φρένου, μοντέλο Glion Dolly 225.

Ορισμένα ηλεκτρικά σκούτερ έχουν φρένα μόνο στον μπροστινό ή στον πίσω τροχό. Αυτό είναι λιγότερο επιθυμητό από το να υπάρχει ένα ανεξάρτητο φρένο σε κάθε τροχό. Τα σκούτερ με μόνο φρένο δηλαδή ενός τροχού δεν σταματούν τόσο γρήγορα και προσφέρουν λιγότερη αξιοπιστία από αυτά με διπλά φρένα. Σε υγρές συνθήκες, όπου η πρόσφυση είναι μικρότερη, τα σκούτερ με μόνο ένα φρένο είναι πιο επιρρεπή σε ολίσθηση επειδή όλη η δύναμη ακινητοποίησης προέρχεται από έναν και όχι από δύο τροχούς. Ωστόσο, τα περισσότερα σκούτερ διαθέτουν τουλάχιστον ένα μηχανικό φρένο (συνήθως πίσω) και ένα μπροστινό ηλεκτρονικό φρένο.

Συμπέρασμα: τα πιο αποτελεσματικά φρένα είναι τα δισκόφρενα και τα ταμπούρα αλλά τα ταμπούρα είναι πολύπλοκα στον σχεδιασμό και στην συναρμολόγηση. Η καλύτερη επιλογή είναι να υπάρχουν 2 είδη φρένου, όπως ηλεκτρονικό-αναγεννητικό φρένο και δισκόφρενο.



4.9. Ασφάλεια και νομοθεσία

Τα ηλεκτρικά σκούτερ είναι το μέλλον της μεταφοράς, αλλά η νομοθεσία για αυτά ακόμα δεν έχει οριστεί. Ωστόσο, στις περισσότερες χώρες και δικαιοδοσίες, τα ηλεκτρικά σκούτερ αντιμετωπίζονται γενικά όπως τα συνηθισμένα ποδήλατα. Συνήθως, δεν απαιτούν άδειες λειτουργίας, δεν φορολογούνται, δεν επιβαρύνονται με τέλη στάθμευσης και μπορούν να μεταφερθούν στα περισσότερα δημόσια μέσα μεταφοράς.

Σχεδόν σε όλες τις δικαιοδοσίες, αρκεί το ηλεκτρικό σκούτερ να πληροί τις νόμιμες απαιτήσεις χρήσης του δρόμου, θεωρούνται νόμιμα στο δρόμο, με εξαίρεση τη Νέα Υόρκη. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ύπαρξη συστήματος ανάρτησης, τα σωστά ελαστικά, έναν καθρέφτη, ένα κουδουνάκι τύπου ποδηλάτου, προβολείς, φώτα σήματος, φώτα φρένων και τιμόνι.

4.9.1. Νομοθεσίες ανά χώρα

Αμερική

Στις ΗΠΑ ο ομοσπονδιακός νόμος που διέπει τα ηλεκτρικά ποδήλατα εφαρμόζεται κανονικά και στα ηλεκτρικά σκούτερ. Ο ομοσπονδιακός νόμος US2002 ορίζει ότι ένα ηλεκτρικό ποδήλατο θα χαρακτηριστεί ως οδικά νόμιμο εάν έχει τελική ταχύτητα μικρότερη από 32 km / ώρα και ισχύ κινητήρα κάτω των 750W, ειδάλως χρειάζεται άδεια. Τα ηλεκτρικά σκούτερ στις ΗΠΑ επιτρέπονται σε δρόμους που δεν διαθέτουν λωρίδες ποδηλάτων, εφόσον δεν υπερβαίνουν το όριο ταχύτητας των 40 km / ώρα, επίσης το σκούτερ πρέπει να οδηγείται κοντά στο πεζοδρόμιο στο δεξί χέρι αναβάτη.

Διαφορετικές πολιτείες των ΗΠΑ έχουν μεμονωμένες προδιαγραφές όσον αφορά τα ηλεκτρονικά ποδήλατα ή τα γνωστά ως Personal Light Electric Vehicles (PLEVs). Η Καλιφόρνια, για παράδειγμα, δέχεται πλέον Προσωπικά Ελαφριά Ηλεκτρικά Οχήματα (PLEVs) σε ποδηλατοδρόμους, πεζοδρόμια και δρόμους, εφόσον ο αναβάτης φοράει κράνος και είναι άνω των 16 ετών. Από την άλλη πλευρά, η πόλη της Νέας Υόρκης απαγόρευσε τη χρήση ηλεκτρικών σκούτερ το 2004 και η οδήγηση PLEV σε αυτήν την πόλη θα επιβάλει πρόστιμο 500 δολάρια στον αναβάτη. Στο Σαν Φρανσίσκο, είναι παράνομο σύμφωνα με την Ενότητα 7.2.111 του Κώδικα Μεταφορών της Καλιφόρνιας να σταθμεύεται ή να αφεθεί χωρίς επίβλεψη μηχανικό σκούτερ σε ορισμένες περιοχές χωρίς άδεια Δημοτικής Υπηρεσίας Μεταφορών.

Καναδάς

Γενικά, στον Καναδά, τα ηλεκτρικά σκούτερ και τα ποδήλατα είναι νόμιμα. Αναφέρονται ως οχήματα με υποβοήθηση ισχύος, ηλεκτρονικά ποδήλατα, ηλεκτρονικά σκούτερ ή ηλεκτρικά σκούτερ, οι νόμοι που διέπουν τη χρήση και την ιδιοκτησία τους είναι πολύ παρόμοιοι με εκείνους των παραδοσιακών ποδηλάτων. Γενικά δεν απαιτούν πινακίδες, άδεια ή ασφάλιση για να λειτουργήσουν στον Καναδά. Τα μηχανοκίνητα σκούτερ και τα ποδήλατα εμπίπτουν στον ομοσπονδιακό νόμο του Καναδά, αλλά κάθε επαρχία είναι ελεύθερη να κάνει μικρές προσαρμογές, όπως οι απαιτήσεις ηλικίας. Οι μεμονωμένοι δήμοι μπορούν να κάνουν μικρές αλλαγές σε σχέση με το πού μπορούν να τους χρησιμοποιήσουν οι αναβάτες.



Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο, η οδήγηση ηλεκτρικού ποδηλάτου είναι νόμιμη εφόσον πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις και ο αναβάτης είναι τουλάχιστον 14 ετών. Αναφερόμενοι ως Ηλεκτρικά Υποβοηθούμενοι Κύκλοι Πεντάλ (EAPC), δεν χρειάζονται άδεια για να αποκτηθούν ή να τα οδηγούν. Επίσης, δεν χρειάζεται άδεια για το EAPC ούτε φορολογούνται. Παραδόξως, αν και πολλά ηλεκτρονικά ποδήλατα είναι γενικά νόμιμα στο Ηνωμένο Βασίλειο, τα ηλεκτρικά σκούτερ δεν είναι. Εδώ, τα ηλεκτρικά σκούτερ κατατάσσονται στα Προσωπικά Ελαφριά Ηλεκτρικά Οχήματα (PLEVs).

Αν και δεν υπόκεινται σε απαιτήσεις φορολογίας ή εγγραφής, δεν είναι νόμιμα για χρήση στο κοινό και περιορίζονται στη χρήση μόνο σε ιδιωτική γη. Καθώς είναι μηχανοκίνητα και πολλά δεν έχουν πετάλια, είναι παράνομο να χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά σκούτερ σε πεζοδρόμια και ποδηλατοδρόμους. Επιπλέον, επειδή είναι χαμηλής ισχύος, είναι παράνομο να χρησιμοποιούνται στο δρόμο. Ωστόσο, έχοντας σημειώσει ότι, εάν ο αναβάτης οδηγεί ένα ηλεκτρικό σκούτερ υπεύθυνα και δείχνει σεβασμό στους πεζούς, καθώς και σε άλλους χρήστες του δρόμου, είναι πολύ απίθανο να υπάρξει πρόβλημα από την βρετανική αστυνομία.

Ευρωπαϊκή Ένωση

Στις χώρες της ΕΕ, οι νόμοι και οι κανονισμοί που διέπουν τα ηλεκτρικά ποδήλατα εμπίπτουν στο γενικό πεδίο εφαρμογής του κανονισμού 168/2013. Στη Γαλλία, για παράδειγμα, ένα Προσωπικό Ελαφρύ Ηλεκτρικό Όχημα (PLEV) επιτρέπεται να φτάσει έως και 25 km / ώρα όταν βρίσκεται σε μια λωρίδα δρόμου, ενώ στην Ελβετία και την Αυστρία ο κανόνας αυτός επεκτείνεται στη χρήση του δρόμου. Στη Γερμανία, ένα PLEV επιτρέπεται να φτάσει τα 6km / ώρα όταν οδηγείται στο πεζοδρόμιο. Υπάρχουν μοντέλα για μικρά παιδιά και παιδιά κάτω των 15 ετών που πρέπει να φορούν κράνος στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Σουηδία προσφέρει το 25% της αγοράς ηλεκτρικών οχημάτων με φόρο.



4.9.2. Εξοπλισμός ασφαλείας και ατυχήματα

Ο εξοπλισμός ασφαλείας συμπεριλαμβανομένου ενός κράνους είναι απόλυτη αναγκαιότητα κατά την οδήγηση του ηλεκτρικού σκούτερ με οποιαδήποτε ταχύτητα. Ανάλογα με την ταχύτητα και τον τύπο των συνθηκών οδήγησης που αντιμετωπίζει ο οδηγός, ίσως χρειαστεί περισσότερο ή λιγότερο εξοπλισμό.

Ο εξοπλισμός ασφαλείας που μπορεί να αποτρέψει ατυχήματα και να μετριάσει τους τραυματισμούς περιλαμβάνει:

- κράνος
- γάντια
- επιγονατίδες
- επιθέματα αγκώνων
- προστατευτικό μπουφάν και παντελόνι
- επαρκή φωτισμό
- κόρνα ή κουδούνι τύπου ποδηλάτου.

Οι πόλεις Πόρτλαντ και Ωστιν των ΗΠΑ έκαναν στατιστική έρευνα την οποία και δημοσίευσαν, με θέμα την ασφάλεια της χρήσης e-scooters. Σύμφωνα με την οποία βρέθηκε τα επακόλουθα. Στο Πόρτλαντ αναφέρονται 2.2 τραυματισμοί για κάθε 16.000 χιλιόμετρα μετακίνησης με ηλεκτρικό πατίνι. Ένας τυπικός αναβάτης e-scooter που διανύει 2343.2 χιλιόμετρα το χρόνο, αναφέρεται ότι θα βρεθεί στα επείγοντα ή θα έχει κάποιο σοβαρό ατύχημα μία φορά στα 3.1 χρόνια. Στο Ωστιν αναφέρονται 0.33 τραυματισμοί για κάθε 16.000 χιλιόμετρα μετακίνησης με ηλεκτρικό πατίνι. Πολύ μικρότερος αριθμός από του Πόρτλαντ και πολύ κοντινός στον αριθμό τραυματισμών με ποδήλατο.



Εικόνα 4.9.2.1: Αναβάτης με κράνος ασφαλείας, μοντέλο Xiaomi Mijia Pro.



Αποδεικνύεται ότι οι πιο συνηθισμένοι σοβαροί τραυματισμοί από ηλεκτρικά σκούτερ είναι διάσειση, σπασμένες μύτες και κατάγματα στο αντιβράχιο. Το πιο συνηθισμένο από όλα είναι η διάσειση και άλλοι τραυματισμοί στο κεφάλι / στο λαιμό στο 30-33% (αυτό δεν προκαλεί έκπληξη, καθώς οι αναβάτες που οδηγούν σκούτερ είναι οι γνωστοί που δεν φορούν κράνη και που οδηγούν σε πεζοδρόμια). Η μελέτη του Πόρτλαντ περιελάμβανε τις αιτίες του τραυματισμού: πτώση που προκλήθηκε από μη σύγκρουση (83%) σύγκρουση με αυτοκίνητο (14%) σύγκρουση με πεζό ή άλλο σκούτερ (3,4%). Η ίδια έρευνα αναφέρει ότι μόνο το 10% των οδηγών ηλεκτρικού πατινιού φορούν κράνος.

Οι έρευνες για διαφορετικές πόλεις παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές, ίσως λόγο της παιδείας και της συνείδησης που έχουν οι πολίτες της κάθε πόλης ως προς το οδικό και κυκλοφοριακό κώδικα. Συχνότερη λόγοι ατυχημάτων για αναβάτες ηλεκτρικών πατινιών:

- Ανευθυνότητα. Το σκούτερ έχει τη μορφή ενός απλού πατινιού που οδηγούσαν τα παιδιά, αλλά κάτι που ξεχνάνε οι αναβάτες είναι ότι τώρα ποια έχει και επιδόσεις μοτοσυκλέτας και χρειάζεται περισσότερη προσοχή στην οδήγηση.
- Η μη χρήση εξοπλισμού ασφαλείας και κυρίως, η μη χρήση κράνους.
- Το μέγεθος των ελαστικών. Τα μικρότερα ελαστικά του e-scooter, δηλαδή μικρότερα των 20cm διάμετρο, έχουν περισσότερα προβλήματα με τα εμπόδια, όπως τα πεζοδρόμια.
- Το είδος των ελαστικών. Πιο συγκεκριμένα τα πνευματικά και τα τύπου κηρήθρας λόγω ελαστικότητας απορροφούν και αντιμετωπίζουν καλύτερα τις κρούσεις, που γίνονται κατά τη διάρκεια της οδήγησης, μειώνοντας το κίνδυνο πτώσης και ανατροπής του πατινιού και κυρίως του αναβάτη.
- Το είδος του φρένου. Τα φρένα που κόβουν τη ταχύτητα πιο γρήγορα είναι καλύτερα για την ασφάλεια του αναβάτη.
- Ο επαρκής φωτισμός του πατινιού ώστε να γίνεται αντιληπτό το όχημα από όλες τις μεριές.

Συμπέρασμα: η ασφάλεια εξαρτάται κυρίως από τον οδηγό, μετά από τον εξοπλισμό ασφαλείας που είναι ευθύνη του οδηγού. Η μέγιστη ταχύτητα του πατινιού πρέπει να είναι τα 25 km / ώρα και ο αναβάτης να είναι άνω των 16 ετών για να μην υπάρχει πρόβλημα νομοθεσίας στις περισσότερες χώρες.



4.10. Ορισμός του προβλήματος. Πίνακας προδιαγραφών

Εφόσον ολοκληρώθηκε η έρευνα ορίζεται το πρόβλημα ή αλλιώς ο στόχος του σχεδιασμού. Σχεδιασμός λοιπόν ηλεκτρικού πατινιού με 2 τροχούς.

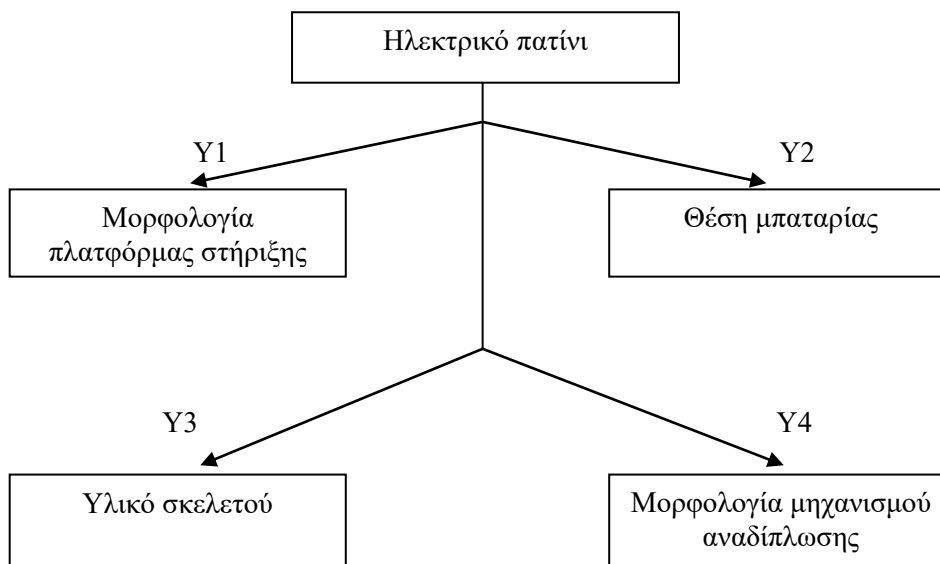
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ				
A	E	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΗΜΕΡ.	ΥΠΕΥΘ.
X		Λειτουργία με BLDC κινητήρα	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Ένας κινητήρας-τροχός	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Κινητήρας εντός του μπροστινού τροχού	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Δισκόφρενο & ηλεκτρικό φρένο	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Επιταχυντής δείκτη (δακτύλου)	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Αυτονομία έως 45 km	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Μέγιστη ταχύτητα 25 km/h	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Οδήγηση σε δρόμο έως και 20 μοίρες κλίση	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Μηχανισμός αναδίπλωσης επί του στελέχους	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Μέγιστο βάρος αναβάτη 100 κιλά	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Ελαστικά τύπου κηρήθρας	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
X		Ύψος πλατφόρμας ελάχιστο 7.5cm έως 12cm μέγιστο	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.
	X	Διαστάσεις βάσης στήριξης 17cm x 45cm	27/03/020	Μιχαηλίδης Δ.

Πίνακας 4.10.1: Πίνακας προδιαγραφών του ηλεκτρικού πατινιού που πρόκειται να σχεδιαστεί.
A: αναγκαίο
E: επιθυμητό



5. Πρόβλημα-υποπροβλήματα

Εφόσον ορίστηκαν οι προδιαγραφές του σχεδιασμού, βρέθηκαν τα απαιτούμενα προβλήματα και υποπροβλήματα που πρέπει να λυθούν ώστε να προχωρήσει η μελέτη. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το διάγραμμα με το πρόβλημα και τα υποπροβλήματα.



Σχήμα 5.1:

Διάγραμμα υποπροβλημάτων.

6. Διερεύνηση λύσεων – συνδυασμοί λύσεων υποπροβλημάτων

6.1. Λύσεις

6.1.1. Μορφολογία πλατφόρμας στήριξης

Ο σκελετός όπως φαίνεται και στην έρευνα αγοράς έχει λίγες και μικρές διαφορές στα μοντέλα ίδιας κατηγορίας (2 τροχών, 3 τροχών κ.α.), οι διαφορές αυτές υπάρχουν κυρίως στις πλατφόρμες στήριξης του αναβάτη που έχει το κάθε πατίνι.

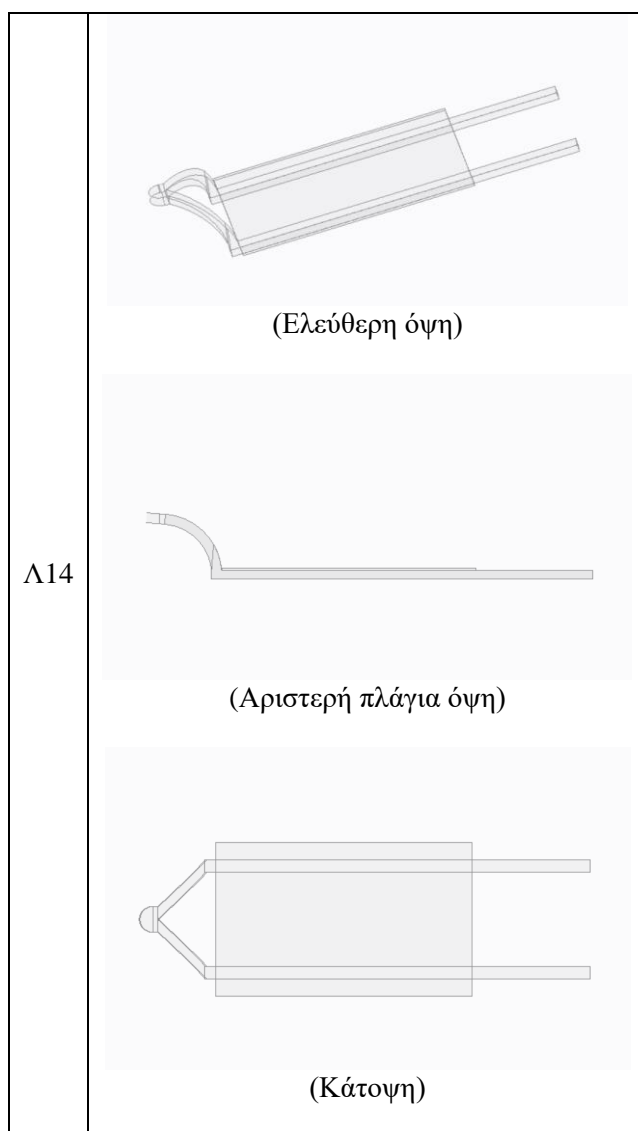
<p>Λ11</p>		
<p>Λ12</p>		
<p>Λ13</p>		

Πίνακας 6.1.1.1:

Πίνακας με τις λύσεις για την μορφολογία της πλατφόρμας.



Οι λύσεις που βρέθηκαν είναι 3 και ονομάζονται Λ11, Λ12 και Λ13 αντίστοιχα. Και οι τρεις λύσεις είναι καλές αλλά για να διαφέρει από τα άλλα και να είναι ταυτόχρονα όμορφο το πατίνι αποφασίστηκε να συνδυαστούν οι λύσεις και να δημιουργηθεί ένα καινούργιο σχέδιο πλατφόρμας. Από το Λ11 επιλέχθηκε ο σωλήνας κεφαλής (το στοιχείο μεταξύ πλατφόρμας και στελέχους τιμονιού), από το Λ12 επιλέχθηκε το να υπάρχει ξεχωριστά το κατάστρωμα που θα έχει υλικό τριβής και θα εφαρμόζεται πάνω στη πλατφόρμα. Τέλος από το Λ13 έμειναν οι 2 πλάγιοι ορθογώνιοι δοκοί στήριξης. Έτσι προέκυψε ακόμα μια λύση προς αξιολόγηση η Λ14.






Πίνακας 6.1.1.2:

Η τέταρτη λύση Λ4 για την μορφολογία της πλατφόρμας.

6.1.2. Θέση μπαταρίας

Υπάρχουν 3 επιλογές για την τοποθέτηση της μπαταρίας στο πατίνι, εντός της πλατφόρμας, εντός του στελέχους τιμονιού και επί του στελέχους.

Λ21	 <p>(εντός της πλατφόρμας)</p>
Λ22	 <p>(εντός του στελέχους τιμονιού)</p>
Λ23	 <p>(επί του στελέχους)</p>

Πίνακας 6.1.2.1: Πίνακας με λύσεις για την θέση της μπαταρίας.



6.1.3. Υλικά σκελετού

Ο σκελετός αποτελείται από διάφορα επιμέρους στοιχεία, αναφορικά ξεκινώντας από το ανώτερο μέρος:

- Τιμόνι
- Στέλεχος τιμονιού
- Μηχανισμός αναδίπλωσης
- Σωλήνας Κεφαλής
- Πλατφόρμα-κατάστρωμα
- Ψαλίδια
- Φτερά-προφυλακτήρες
- Στέκα στήριξης

Το γεγονός ότι ο σκελετός έχει αρκετά κομμάτια τα οποία συναρμολογούνται μεταξύ τους, σημαίνει ότι το κάθε κομμάτι δύναται να είναι από διαφορετικό υλικό. Κάτι τέτοιο να μην απαιτεί περισσότερο χρόνο μελέτης διότι διαφορετικά υλικά έχουν και διαφορετικά χαρακτηριστικά και αντοχές με αποτέλεσμα να χρειάζεται επιλογή υλικών εκτός της γεωμετρίας για το κάθε στοιχείο ξεχωριστά, όμως επιλέγοντας πιο βαριά υλικά όπως τα μέταλλα μόνο για τα στοιχεία που είναι απαραίτητο δίνεται η δυνατότητα να επιλεγθούν πιο ελαφριά υλικά για τα υπόλοιπα στοιχεία και να μειωθεί το βάρος της όλης κατασκευής, αλλά και το πιο ουσιώδες να μειωθεί το κόστος κατασκευής.

Άρα επόμενο βήμα είναι να βρεθούν οι απαιτήσεις σε αντοχή του εκάστοτε στοιχείου (θεωρητικά). Ξεκινώντας από το ανώτερο μέρος που είναι το τιμόνι και το στέλεχος, είναι για ευκολία, καλύτερο να σχεδιαστούν από το ίδιο υλικό. Οι μικρότερες δυνάμεις ασκούνται σε αυτά τα στοιχεία, άρα αυτά μπορούν να κατασκευαστούν από υλικά με μικρότερες αντοχές σε τάσεις από ότι τα υπόλοιπα στοιχεία, π.χ. ελαφριά μέταλλα, πολυμερή, κ.α..

Συνεχίζοντας σε όλα τα υπόλοιπα στοιχεία, που είναι ο μηχανισμός αναδίπλωσης, ο σωλήνας κεφαλής, η πλατφόρμα κ.τ.λ., αυτά τα στοιχεία απαιτούν ένα υλικό που να αντέχει σε υψηλότερες τάσεις σε σχέση με τον άξονα του τιμονιού, επειδή τους ασκούνται μεγαλύτερα φορτία και τάσεις. Η πλατφόρμα μπορεί να χωριστεί και αυτή σε δύο μέρη, το ένα είναι το μέρος το οποίο θα δέχεται τις μεγαλύτερες τάσεις, ο κορμός της πλατφόρμας.

Το δεύτερο μέρος είναι η βάση που θα στέκεται ο αναβάτης και χρειάζεται απλά να είναι φαρδιά αρκετά ώστε να στέκεται με άνεση ο οδηγός. Το πρώτο μέρος για να αντέχει σε τάσεις μπορεί να σχεδιαστεί με κάποιο βαρύ υλικό όπως κάποιο μέταλλο, ενώ το δεύτερο μέρος μπορεί να σχεδιαστεί με κάποιο άλλο ελαφρύτερο υλικό όπως ξύλο ή πολυμερές πλαστικό. Με αυτό το τρόπο μειώνεται το βάρος και γίνεται πιο εύκολη η φορητότητα.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για αυτά τα μέρη είναι:

- Αλουμίνιο 6061
- Κράμα τιτανίου
- Ανοξειδωτος χάλυβας



Λ31	Αλουμίνιο 6061
Λ32	Κράμα τιτανίου
Λ33	Ανοξείδωτος χάλυβας

Πίνακας 6.1.3.1: Πίνακας με λύσεις για το υλικό του σκελετού.

Αρχικά να ειπωθεί ότι το τιτάνιο είναι πολύ καλό μέταλλο για να ανέβει η αξιοπιστία της κατασκευής σε εφαρμογή τάσεων. Σχηματίζει ανθεκτικά και σχετικά ελαφρά κράματα με πολλά άλλα μέταλλα όπως με το σίδηρο, το αργίλιο, το βανάδιο, το μολυβδαίνιο κ.ά. Τα κράματα αυτά χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροδιαστημική βιομηχανία για την κατασκευή κινητήρων, πυραύλων και διαστημικών οχημάτων. Επίσης χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, στην πετροχημική βιομηχανία, σε μονάδες αφαλάτωσης, χαρτοπολτού, στην αυτοκινητοβιομηχανία, στη γεωργία, στην ιατρική για την κατασκευή ορθοπεδικών υλικών, στην οδοντιατρική για την κατασκευή εμφυτευμάτων κλπ.

Το τιτάνιο όμως έχει υψηλό κόστος και γι αυτό συνδυάζεται με άλλα υλικά ή χρησιμοποιείται για πιο ειδικές περιπτώσεις όπως πατίνια ανώμαλου δρόμου και ηλεκτρικά πατίνια υψηλών επιδόσεων. Το αλουμίνιο είναι ένα ευέλικτο, ελαφρύ, ανθεκτικό και όλκιμο μέταλλο. Επιλέγεται συχνά σε σχέση με άλλα μέταλλα για διάφορες εφαρμογές, επειδή αποδίδει αποτελεσματικά σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων. Τα οφέλη του αλουμινίου έναντι του χάλυβα είναι πολλά. Σε σύγκριση με άλλα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου του χάλυβα, το αλουμίνιο ζυγίζει λιγότερο κατ' όγκο.

Το αλουμίνιο είναι το ένα τρίτο του βάρους άλλων μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του χάλυβα, του ορείχαλκου και του χαλκού. Τέλος ο χάλυβας, έχει μεγάλη ιστορία και χρησιμοποιείται πιο συχνά σε κατασκευές. Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού: από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων. Το ατσάλι είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλυβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) ανήκουν στις βαριές βιομηχανίες. Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα.



Υλικό	Πυκνότητα [g/cm ³]	Μέγιστη τάση σε εφελκυσμό [MPa]	Κόστος υλικού	Κόστος κατεργασίας
Αλουμίνιο 6061	2.7	124–290	Μεσαίο	Μικρό
Κράμα τιτανίου	4.59	240-1100	Υψηλό	Υψηλό
Ανοξείδωτος χάλυβας	7.8	550	Μεσαίο	Μεσαίο

Πίνακας 6.1.3.2:

Πίνακας με τα κύρια χαρακτηριστικά των επιλεγμένων μετάλλων.

Αλουμίνιο 6061

Το 6061 είναι ένα κράμα αλουμινίου που έχει σκληρυνθεί με καθίζηση, περιέχει μαγνήσιο και πυρίτιο ως κύρια στοιχεία κράματός του. Αρχικά ονομάστηκε "Alloy 61S", αναπτύχθηκε το 1935. Έχει καλές μηχανικές ιδιότητες, παρουσιάζει καλή συγκολλησιμότητα. Οι μηχανικές ιδιότητες του 6061 εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία ή τη θερμική επεξεργασία του υλικού. Η αντοχή του σε εφελκυσμό είναι 69 GPa ανεξάρτητα από την θερμοκρασία κατεργασίας.

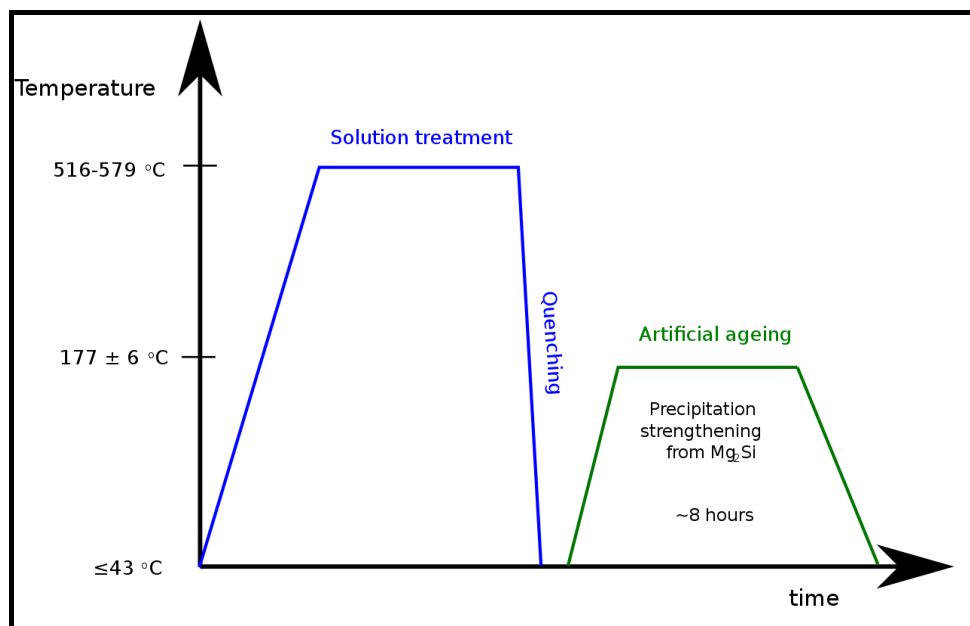
Το 6061 χρησιμοποιείται συνήθως για τα ακόλουθα:

- Κατασκευή δομών αεροσκαφών, όπως πτερυγίων και ατράκτων, συνήθως σε οικιακά αεροσκάφη από εμπορικά ή στρατιωτικά αεροσκάφη.
- Κατασκευή σκαφών, συμπεριλαμβανομένων μικρών σκαφών κοινής ωφέλειας.
- Ανταλλακτικά αυτοκινήτων, όπως το πλαίσιο του Audi A8 και του Plymouth Prowler.
- Φακοί.
- Κουτιά αλουμινίου για τη συσκευασία τροφίμων και ποτών.
- Ψυγεία και άλλοι κύλινδροι αποθήκευσης αερίου υψηλής πίεσης (μετά το 1995).

Διαφορετικές θερμικές επεξεργασίες αλουμινίου ελέγχουν το μέγεθος και τη διασπορά του Mg₂Si που καθιζάνει στο υλικό. Τα μεγέθη των ορίων των κόκκων αλλάζουν επίσης, αλλά δεν έχουν τόσο σημαντική επίδραση στην αντοχή όσο τα ιζήματα. Τα μεγέθη κόκκων μπορούν να αλλάξουν τάξεις μεγέθους με βάση την τάση και μπορεί να έχουν κόκκους τόσο μικρούς όσο μερικές εκατοντάδες νανόμετρα, αλλά συνήθως έχουν διάμετρο από μερικά μικρόμετρα έως εκατοντάδες μικρόμετρα.



Το κράμα θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία, διατηρώντας το σε αυτήν τη θερμοκρασία για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να αλλάξει η δομή των κόκκων του, στη συνέχεια ψύχεται αρκετά γρήγορα ώστε να συγκρατήσουν αυτοί οι κόκκοι το σχήμα τους. Έπειτα για να απαλειφθούν οι ανεπιθύμητες μικροδομές που δημιουργηθήκαν από την απότομη ψύξη το υλικό υπόκειται τεχνητή γήρανση. Κατά την τεχνητή γήρανση το υλικό θερμαίνεται σε μία μέση θερμοκρασία και παραμένει σε αυτήν την θερμοκρασία για 8 ώρες, αυτό κατακρυσώνει (δυναμώνει) τη δομή των κόκκων. Τέλος το υλικό ψύχεται με μέτρια ταχύτητα και είναι έτοιμο για χρήση.



Σχήμα 6.1.3.1:

Διάγραμμα με τη θερμική κατεργασία αλουμινίου 6061, με το μπλε χρώμα εκφράζεται η κατεργασία, με το πράσινο χρώμα εκφράζεται η τεχνητή γήρανση.

Το 6061 είναι εξαιρετικά συγκολλησιμο, για παράδειγμα χρησιμοποιώντας συγκόλληση αδρανούς αερίου βολφραμίου (TIG) ή συγκόλληση αδρανούς αερίου μετάλλων (MIG). Συνήθως, μετά τη συγκόλληση, οι ιδιότητες κοντά στη συγκόλληση είναι αυτές του 6061-T4, απώλεια αντοχής περίπου 40%. Το υλικό μπορεί να υποβληθεί σε επανεπεξεργασία θερμότητας για την αποκατάσταση της θερμοκρασίας T6 για ολόκληρο το κομμάτι. Μετά τη συγκόλληση, το υλικό μπορεί φυσικά να γεράσει και να αποκαταστήσει μέρος της αντοχής του επίσης. Η περισσότερη δύναμη ανακτάται τις πρώτες ημέρες έως μερικές εβδομάδες.

Το 6061 είναι ένα κράμα που χρησιμοποιείται για την παραγωγή εξόλκευση, μεγάλης σταθερής διατομής δομικών σχημάτων που παράγονται με την ώθηση του μετάλλου μέσω ενός σχήματος καλουπιού. Το 6061 είναι ένα κράμα κατάλληλο για θερμή σφυρηλάτηση. Το πλέγμα θερμαίνεται μέσω ενός φούρνου επαγωγής και σφυρηλατείται χρησιμοποιώντας μια διαδικασία κλειστής μήτρας. Αυτό το συγκεκριμένο κράμα είναι κατάλληλο για σφυρηλάτα ανοιχτής μήτρας. Τα ανταλλακτικά αυτοκινήτων, ανταλλακτικά ATV και βιομηχανικά εξαρτήματα είναι μερικές μόνο από τις χρήσεις ως σφυρηλάτηση. Το αλουμίνιο 6061 μπορεί να σφυρηλατηθεί σε επίπεδες ή στρογγυλές ράβδους, δαχτυλίδια, μπλοκ, δίσκους και κενά, κοιλότητες και άξονες. Το 6061 μπορεί να σφυρηλατηθεί σε ειδικά και προσαρμοσμένα σχήματα.



Δεν είναι ένα κράμα που χυτεύεται παραδοσιακά λόγω της χαμηλής περιεκτικότητάς του σε πυρίτιο που επηρεάζει τη ρευστότητα στη χύτευση. Μπορεί να εκχυθεί κατάλληλα χρησιμοποιώντας μια εξειδικευμένη μέθοδο φυγοκεντρικής χύτευσης. Η φυγοκεντρική χύτευση 6061 είναι ιδανική για μεγαλύτερους δακτυλίους και εφαρμογές που υπερβαίνουν τους περιορισμούς των περισσότερων σφυρήλατων επιλογών.

Η φυγοκεντρική χύτευση είναι μια τεχνική χύτευσης που χρησιμοποιείται συνήθως για τη χύτευση κυλίνδρων λεπτού τοιχώματος. Συνήθως χρησιμοποιείται για χύτευση υλικών όπως μέταλλα, γυαλί και σκυρόδεμα. Μια υψηλή ποιότητα επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της μεταλλουργίας και της κρυσταλλικής δομής. Σε αντίθεση με τις περισσότερες άλλες τεχνικές χύτευσης, η φυγοκεντρική χύτευση χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή περιστροφικά συμμετρικών τεμαχίων υλικού σε τυποποιημένα μεγέθη για περαιτέρω κατεργασία, αντί για διαμορφωμένα μέρη προσαρμοσμένα σε μια συγκεκριμένη τελική χρήση.

6.1.4. Μορφολογία μηχανισμού αναδίπλωσης

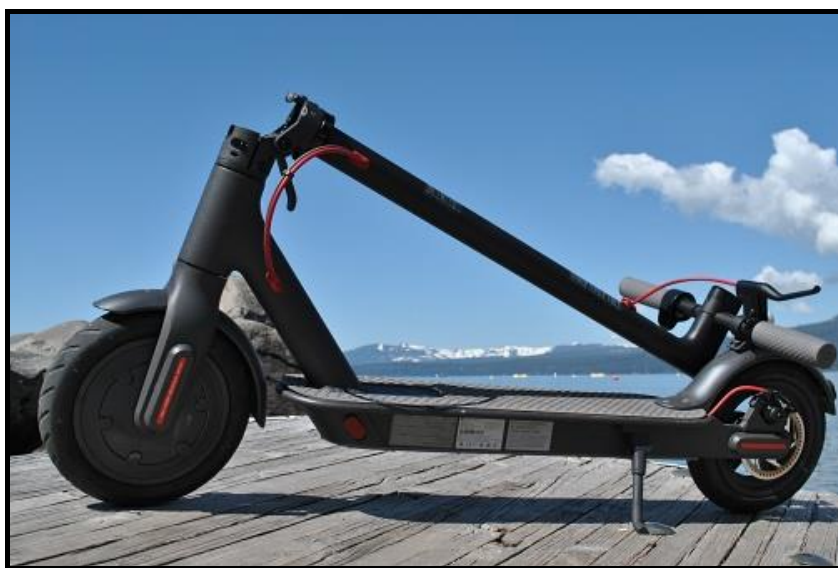
Όπως ειπώθηκε στην έρευνα αγοράς υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί μηχανισμοί αναδίπλωσης, η επιλογή ίσως θα φαινόταν εύκολη αλλά δεν είναι. Ο μηχανισμός αναδίπλωσης μπορεί να είναι πολύπλοκος και χρονοβόρος ή χειρότερα μπορεί να είναι χαλαρός ή ασταθής και να γίνει επικίνδυνος στην οδήγηση. Αυτό παρατηρείται κυρίως στα πατίνια χαμηλής τάξης κόστους, όπως το μοντέλο Xiaomi Mi M365. Όταν εφαρμόζεται δύναμη στο τιμόνι, παρατηρείται ότι ολόκληρο το στέλεχος (άξονας που στηρίζει το τιμόνι) κινείται μπρος-πίσω, μια κατάσταση που ονομάζεται «στέλεχος ταλάντευσης». Αυτό είναι ένα από τα τεράστια μειονεκτήματα του μηχανισμού αναδίπλωσης των ηλεκτρικών πατινιών.

Τα νέα και πιο δημοφιλή μοντέλα έχουν τον μηχανισμό αναδίπλωσης στο ίδιο το στέλεχος. Ουσιαστικά αλλάζει το ύψος που βρίσκεται ο μηχανισμός.

Πλεονεκτήματα μηχανισμού αναδίπλωσης επί του στελέχους:

- Ασκείται μικρότερη ροπή επάνω στο μηχανισμό αναδίπλωσης.
- Μειώνεται το φαινόμενο «στέλεχος ταλάντευσης».
- Πιο απλός μηχανισμός αναδίπλωσης.
- Μικρότερο πρόσθετο βάρος από το μηχανισμό.
- Ευκολότερος σχεδιασμός λόγω μικρότερων ασκούμενων δυνάμεων.
- Πιο άνετο για τον οδηγό να το αναδιπλώσει λόγω υψηλότερης θέσης μηχανισμού.
- Μικρότερος χρόνος αναδίπλωσης.
- Περισσότερος χώρος για να στέκεται ο οδηγός επί της πλατφόρμας.
- Δύναται να μειωθούν οι διαστάσεις του πατινιού δίχως τη μείωση άνεσης.

Οι μηχανισμοί αλλάζουν ανά τάξη κόστους του e-scooter ή αλλάζει το υλικό του μηχανισμού αναδίπλωσης. Ο πιο συνηθισμένος μηχανισμός είναι ο μηχανισμός που έχει το μοντέλο Xiaomi Mi M365 (εικόνα 6.1.4.1).



Εικόνα 6.1.4.1: Αναδιπλωμένο πατίνι, μοντέλο Xlaomi Mi M365.



Το σύστημα αποτελείται από 2 κύρια κυλινδρικά τεμάχια τα οποία εφαρμόζονται στο στέλεχος και τον σωλήνα κεφαλής ενώνονται μεταξύ τους μέσω πύρου ο οποίος επιτρέπει τη περιστροφή μεταξύ των 2 κύριων τεμαχίων.



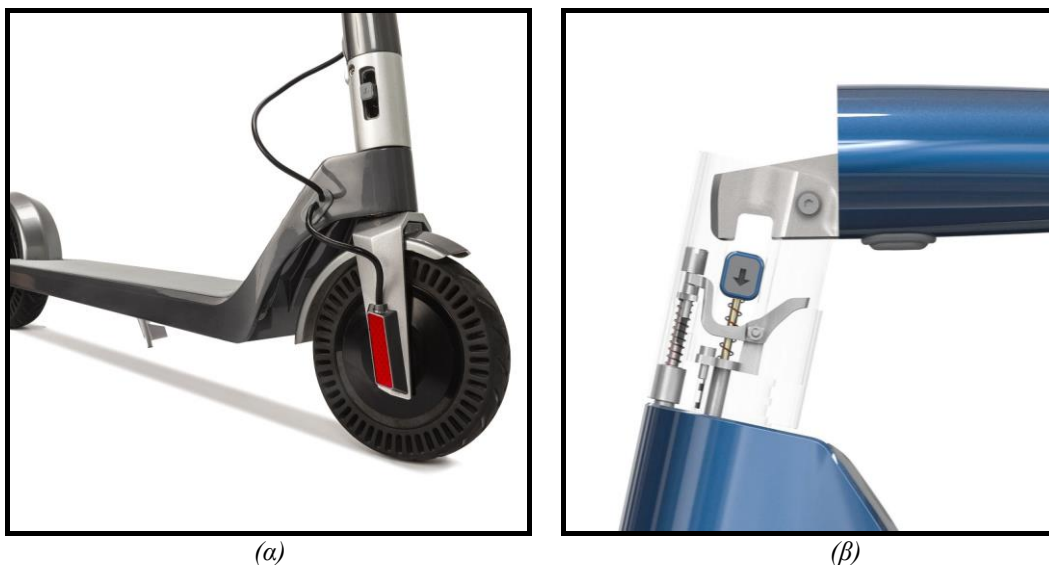
Εικόνα 6.1.4.2: Απομονωμένος μηχανισμός αναδίπλωσης. Μοντέλο Xiaomi Mi M365.

Η ένωση των τεμαχίων κατά τη διάρκεια αναδίπλωσης γίνεται μόνο μέσω του πύρου, αλλά κατά το κλείσιμο του μηχανισμού αυτό που αποτρέπει την αναδίπλωση είναι μία περόνη η οποία είναι εφαρμοσμένη μόνιμα μόνο στο ένα κύριο μέρος του μηχανισμού και συγκρατεί τον όλο μηχανισμό χάρη στη σύσφιξη μέσω ενός «Quick release» ή αλλιώς «Μπλοκάζ».



Εικόνα 6.1.4.3: Μηχανισμός εφαρμοσμένος στο στέλεχος. Μοντέλο Xiaomi Mi M365.

Αυτόν το μηχανισμό τον χρησιμοποιούν αρκετά μοντέλα διότι είναι ο πιο φθηνός και εύκολος κατασκευαστικά. Όμως το μικρό μέγεθος των 2 κύριων κυλινδρικών τεμαχίων σε συνδυασμό με το μικρό πάχος κάνουν το μηχανισμό ασταθή και να χρειάζεται πολύ συχνά ρύθμιση (σύσφιξη). Τα πιο ακριβά μοντέλα έχουν πιο δυνατά υλικά ή μεγαλύτερη γεωμετρία (μήκος, διατομή, πάχος). Ένα άλλο σύστημα που αξίζει να αναφερθεί είναι ο μηχανισμός του μοντέλου Unagi Model One (εικόνα 6.1.4.4). Το συρόμενο κουμπί που φαίνεται ανάμεσα από το σωλήνα κεφαλής και το στέλεχος είναι αυτό που απενεργοποιεί το μηχανισμό και επιτρέπεται η αναδίπλωση.



Εικόνα 6.1.4.4: (α) Μοντέλο Unagi Model One. (β) Το συρόμενο κουμπί που φαίνεται ανάμεσα από το σωλήνα κεφαλής και το στέλεχος είναι αυτό που απενεργοποιεί το μηχανισμό και επιτρέπεται η αναδίπλωση. Μοντέλο Unagi Model One.

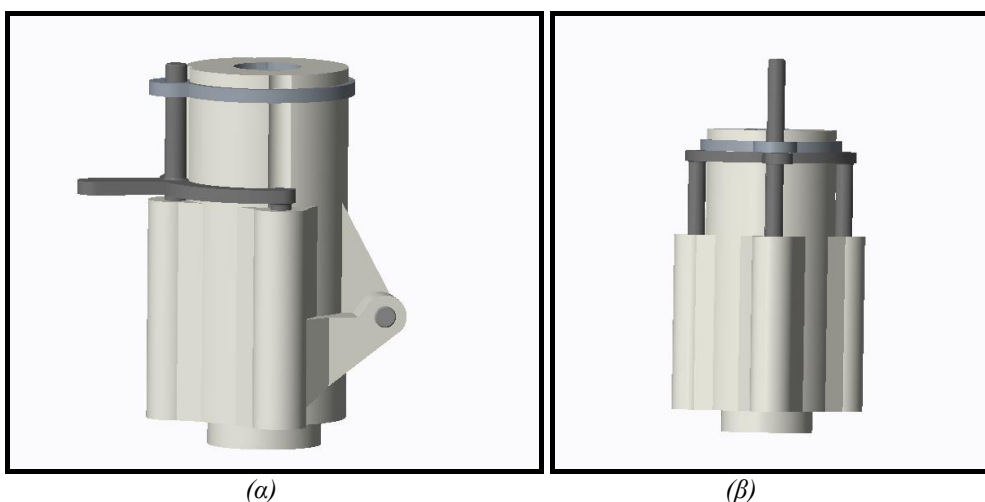
Ουσιαστικά το συρόμενο κουμπί μετακινεί το πίσω που συγκρατεί το μηχανισμό κλειστό. Υπάρχουν και άλλες επιλογές αλλά οι κατασκευαστές δεν εξηγούν περαιτέρω το σύστημα του μηχανισμού. Επίσης οι περισσότεροι από τους σύγχρονους μηχανισμούς έχουν δικαιώματα ευρεσιτεχνίας και θα ήταν ένα επιπλέον κόστος να χρησιμοποιηθεί ένας από τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς. Υπάρχουν και μηχανισμοί που δεν έχουν δικαιώματα ευρεσιτεχνίας αλλά δεν είναι αρκετά αξιόπιστοι. Αποφασίστηκε να βρεθεί ένας νέος μηχανισμός που δε υπάρχει στην αγορά για να αποφευχθεί το κόστος των δικαιωμάτων ευρεσιτεχνίας και να είναι πιο αξιόπιστος και σταθερός.



Νέος μηχανισμός αναδίπλωσης

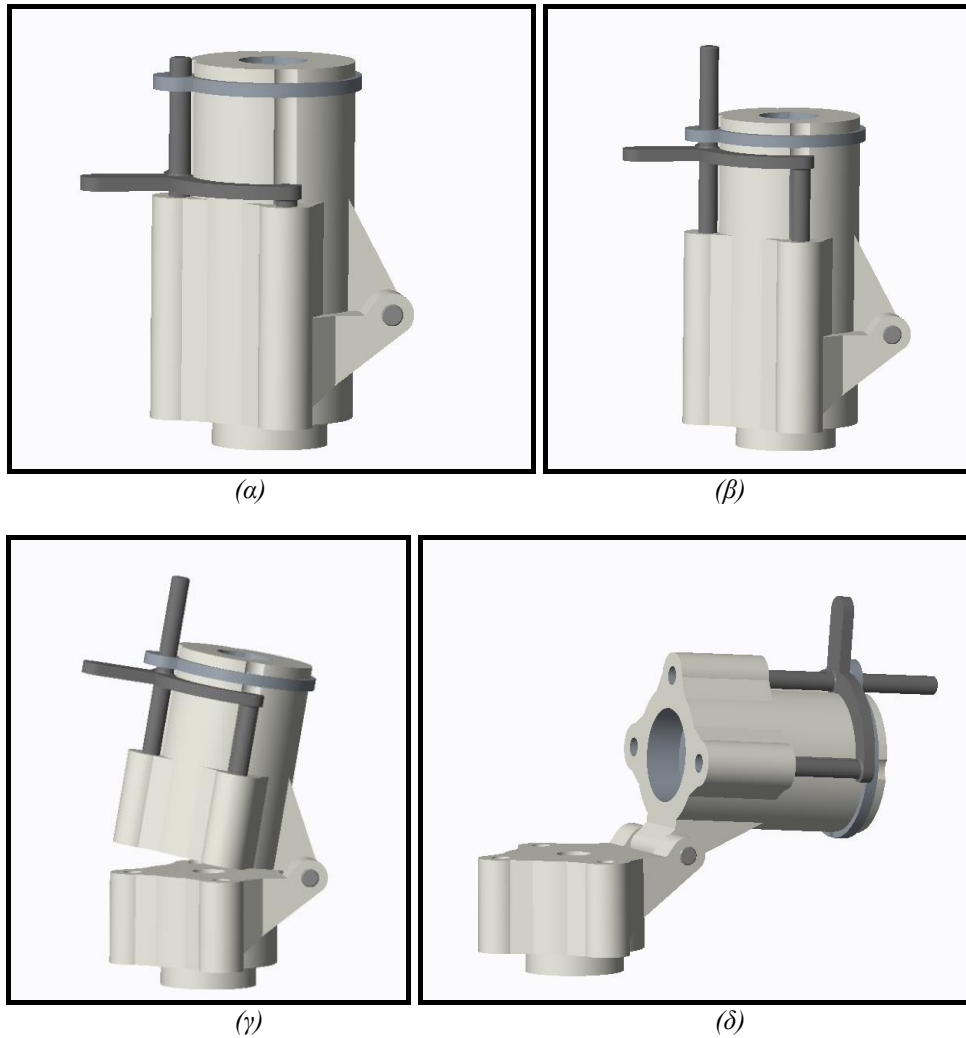
Η διαδικασία για να βρεθεί ο νέος μηχανισμός ξεκίνησε λαμβάνοντας υπόψη το ζητούμενο που έχει ο αναβάτης από το μηχανισμό εκτός από το να συγκρατεί το στέλεχος. Οι περισσότεροι κατασκευαστές-πωλητές διαφημίζουν πολύ έντονα το πόσο εύκολα γίνεται η αναδίπλωση. Αυτό σημαίνει ότι οι αναβάτες αναζητούν ένα μηχανισμό εύκολο, απλό και γρήγορο στη χρήση. Η ιδέα του πύρου που συγκρατεί το στέλεχος από το να περιστραφεί όπως στο μοντέλο Upagi Model One ήταν αυτή που επιλέχθηκε για την αρχή λειτουργίας της.

Οι επιλογή που βρέθηκε, ένας πύρος κάθετα στο στέλεχος και ένας πύρος ίδιας διεύθυνσης με το στέλεχος αλλά όχι στο κέντρο του. Ο πύρος που θα μετακινείται είναι έξω από τον άξονα και θα συγκρατεί το στέλεχος σαν μεντεσές. Για να μειωθεί ακόμα περισσότερο το φαινόμενο «στέλεχος ταλάντωσης» οι πύροι που θα είναι πτυσσόμενοι θα είναι 3 σε αριθμό, όπως δείχνει η εικόνα 6.1.4.5. Η διαδικασία αναδίπλωσης αποτελείται από 2 βήματα, πρώτα σηκώνεται ο τριπλός πύρος, έπειτα ανοίγει το σύστημα και αποσυναρμολογείται ο μηχανισμός, εικόνα 6.1.4.6.



Εικόνα 6.1.4.5:

(α) Μηχανισμός αναδίπλωσης σχεδιασμένος στο λογισμικό Creo 3.0, πλάγια όψη. (β) Μηχανισμός αναδίπλωσης, μπροστινή όψη.



Εικόνα 6.1.4.6:

- Διαδικασία αποσυναρμολόγησης μηχανισμού αναδίπλωσης.*
- (α) μηχανισμός κλειστός.*
 - (β) ο τριπλός πείρος σηκώνεται.*
 - (γ) ο μηχανισμός ανοίγει και το πατίνι αναδιπλώνεται.*
 - (δ) τελική θέση μηχανισμού σε άνοιγμα, το πατίνι είναι αναδιπλωμένο.*



6.2. Συνδυασμός λύσεων

Έπειτα παρουσιάζονται κατάλογοι με συνδυασμούς των λύσεων. Στους καταλόγους συμβολίζονται με Ο (όμικρον) οι συμβατές λύσεις και οι μη συμβατές παρουσιάζονται με Χ.

Y1/Y2	Λ11	Λ12	Λ13	Λ14
Λ21	X	O	O	O
Λ22	O	O	O	O
Λ23	O	O	O	O

α) Δυνατές λύσεις = 11

Y1/Y3	Λ11	Λ12	Λ13	Λ14
Λ31	O	O	O	O
Λ32	O	O	O	O
Λ33	O	O	O	O

β) Δυνατές λύσεις = 12

Y1/Y4	Λ11	Λ12	Λ13	Λ14
Λ41	O	O	O	O

γ) Δυνατές λύσεις = 4

Y2/Y3	Λ21	Λ22	Λ23
Λ31	O	O	O
Λ32	O	O	O
Λ33	O	O	O

δ) Δυνατές λύσεις = 9

Y2/Y4	Λ21	Λ22	Λ23
Λ41	O	O	O

ε) Δυνατές λύσεις = 3

Y3/Y4	Λ31	Λ32	Λ33
Λ41	O	O	O

ζ) Δυνατές λύσεις = 3

Σχήμα 6.2.1: Συνδυασμοί όλων των λύσεων μεταξύ τους για τα υποπροβλήματα. Σύνολο δυνατών λύσεων 42.



6.3. Αξιολόγηση λύσεων

Στη συνέχεια γίνεται αξιολόγηση των λύσεων με πίνακες συνδυασμού των εν δυνάμει συνδυασμών λύσεων υποπροβλημάτων.

Λ Υ Σ Ε Ι Σ	Επίλυση τεχνικού προβλήματος					Π Ρ Ο Α Ξ Ι Ο Λ Ο Γ Η Σ Η
	Προδιαγραφές τεχνικού προβλήματος					
	Υλοποίηση με κεκτημένη τεχνολογία					
	Επένδυση σε μελέτη, εργασία, τεχνολογία, κεφάλαιο					
	Φιλικό προς το περιβάλλον & τον άνθρωπο					
	1	2	3	4	5	
Λ11	+	+	+	+	+	+
Λ12	+	+	+	+	+	+
Λ13	+	+	+	+	+	+
Λ14	+	+	+	+	+	+
Λ21	+	+	+	+	+	+
Λ22	+	+	+	+	+	+
Λ23	+	+	+	+	+	+
Λ31	+	+	+	+	+	+
Λ32	+	+	+	+	+	+
Λ33	+	+	+	+	+	+
Λ41	+	+	+	+	+	+

Πίνακας 6.3.1: Κατάλογος προαξιολόγησης των λύσεων που βρέθηκαν για τα υποπροβλήματα.



ΚΡΙΤΗΡΙΑ		Λύση Λ11		Λύση Λ12		Λύση Λ13		Λύση Λ14	
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	Βάρος	Βαθμολόγηση		Βαθμολόγηση		Βαθμολόγηση		Βαθμολόγηση	
		Απόλυτη	Σχετική	Απόλυτη	Σχετική	Απόλυτη	Σχετική	Απόλυτη	Σχετική
Λειτουργικότητα	0.25	8	2	8	2	8	2	8	2
Αξιοπιστία	0.25	7	1.75	8	2	8	2	8	2
Διάρκεια ζωής	0.05	8	0.4	7	0.35	8	0.4	8	0.4
Συντήρηση	0.05	6	0.3	7	0.35	8	0.4	8	0.4
Ασφάλεια	0.1	7	0.7	8	0.8	9	0.9	9	0.9
Παραγωγή & διαμόρφωση	0.15	9	1.35	5	0.75	5	0.75	8	1.2
Ρύπανση του περιβάλλοντος	0.1	9	0.9	9	0.9	9	0.9	9	0.9
ΣΥΝΟΛΟ	1		7.4		7.15		7.35		7.8
Κατάταξη	-	2		4		3		1	

Πίνακας 6.3.2: Πίνακας αξιολόγησης των λύσεων που βρέθηκαν για το πρόβλημα Y1, καλύτερη λύση η Λ14.

ΚΡΙΤΗΡΙΑ		Λύση Λ21		Λύση Λ22		Λύση Λ23	
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	Βάρος	Βαθμολόγηση		Βαθμολόγηση		Βαθμολόγηση	
		Απόλυτη	Σχετική	Απόλυτη	Σχετική	Απόλυτη	Σχετική
Λειτουργικότητα	0.25	9	2.25	6	1.5	8	2
Αξιοπιστία	0.25	8	2	8	2	8	2
Διάρκεια ζωής	0.05	9	0.45	8	0.4	8	0.4
Συντήρηση	0.05	8	0.4	8	0.4	8	0.4
Ασφάλεια	0.1	9	0.9	8	0.8	9	0.9
Παραγωγή & διαμόρφωση	0.15	9	1.35	7	1.05	5	0.75
Ρύπανση του περιβάλλοντος	0.1	9	0.9	9	0.9	9	0.9
ΣΥΝΟΛΟ	1		8.25		7.05		7.35
Κατάταξη	-	1		3		2	

Πίνακας 6.3.3: Πίνακας αξιολόγησης των λύσεων που βρέθηκαν για το πρόβλημα Y2, καλύτερη λύση η Λ21.

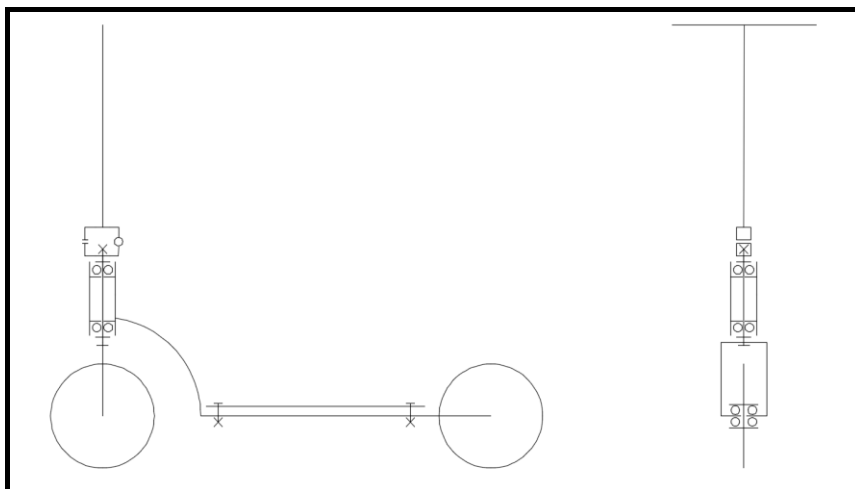


ΚΡΙΤΗΡΙΑ		Λύση Λ31		Λύση Λ32		Λύση Λ33	
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	Βάρος	Βαθμολόγηση		Βαθμολόγηση		Βαθμολόγηση	
		Απόλυτη	Σχετική	Απόλυτη	Σχετική	Απόλυτη	Σχετική
Λειτουργικότητα	0.25	9	2.25	7	1.75	8	2
Αξιοπιστία	0.25	7	1.75	9	2.25	8	2
Διάρκεια ζωής	0.05	9	0.45	9	0.45	7	0.35
Συντήρηση	0.05	8	0.4	9	0.45	7	0.35
Ασφάλεια	0.1	8	0.8	9	0.9	8	0.8
Παραγωγή & διαμόρφωση	0.15	9	1.35	4	0.6	6	0.9
Ρύπανση του περιβάλλοντος	0.1	9	0.9	9	0.9	9	0.9
ΣΥΝΟΛΟ	1		7.9		7.3		7.3
Κατάταξη	-	1		2		2	

Πίνακας 6.3.4: Πίνακας αξιολόγησης των λύσεων που βρέθηκαν για το πρόβλημα Υ3, καλύτερη λύση η Λ31.

Το αλουμίνιο 6061 είναι κατάλληλο λόγω χαμηλού κόστους κατεργασίας αλλά κυρίως λόγω χαμηλότερου βάρους από τα άλλα υλικά. Μπορεί η αντοχή του σε εφελκυσμό να είναι χαμηλή αλλά λόγω βάρους είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερη διατομή σε σχέση με του χάλυβα, αλλά το ολικό βάρος των εξαρτημάτων να παραμένει μικρότερο.

6.4. Σκαρίφημα λειτουργίας



Σχήμα 6.4.1.: Σκαρίφημα λειτουργίας του ηλεκτρικού πατινιού.

Από την αξιολόγηση των λύσεων που έγινε, αποφασίστηκε το πατίνι να σχεδιαστεί από Αλουμίνιο 6061 και να έχει τη μπαταρία εντός της πλατφόρμας.



7. Υπολογισμοί μελέτης

7.1. Προσδιορισμός κρίσιμων δεδομένων

Για να εξεταστούν οι γεωμετρικές των εξαρτημάτων, που δέχονται τα σημαντικά φορτία, ως προς την αντοχή τους με ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA) προσδιορίζονται οι μέγιστες δυνάμεις που θα αναπτυχθούν κατά την οδήγηση.

7.1.1. Φορτία από το βάρος του αναβάτη

Από τις προδιαγραφές το πατίνι θα δέχεται μέγιστο βάρος αναβάτη έως και 100 κιλά, τα οποία ασκούνται στη πλατφόρμα και στο ψαλίδι του μπροστινού τροχού, στην άτρακτο και τον άξονα, επίσης στα έδρανα. Άρα αυτά τα στοιχεία εξετάζονται για τη δύναμη που ασκείται από το βάρος του αναβάτη.

Η συνολική δύναμη, τύπος (2ος Νόμος Νεύτωνα):

$$F = m \times g$$

F: δύναμη σε Nt

m : μάζα σε kg

g : επιτάχυνση της βαρύτητας, σταθερά = 9.81 [m/s²]

$$F = 100 \times 9.81 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{F = 981 [Nt]}$$



7.1.2. Φορτία κατά την πέδηση

Σύμφωνα με το ESG⁶ ο μέσος χρόνος που απαιτείται για να σταματήσει ένα πατίνι με είναι τα 2 δευτερόλεπτα. Η δύναμη πέδησης έχει τη μέγιστη τιμή της όταν χρησιμοποιούνται και τα δύο φρένα. Με δεδομένο τα 2 δευτερόλεπτα και την τελική ταχύτητα που θα πιάνει το πατίνι τα 25 km ανά ώρα βρίσκεται η τιμή της επιβράδυνσης.

Τύπος για την εύρεση της επιτάχυνσης (Finney & Weir & Giordano, 2015):

$$\alpha = dv / dt$$

a: επιτάχυνση [m/s²]

v: ταχύτητα [m/s]

t: χρόνος [s (second)]

Δεδομένα:

V1: 25km/h = 6,94m/s

V2: 0km/h = 0m/s

t: 2sec

$$\alpha = -6.94 / 2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\alpha = -3.47 [m/s^2]}$$

Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι είναι επιβράδυνση και όχι επιτάχυνση, λογικό εφόσον ελαττώνεται η ταχύτητα.

Η δύναμη κατά την πέδηση, τύπος (2ος Νόμος Νεύτωνα):

$$F = m \times \alpha \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = 120 \times (-3.47) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{F = 416 [Nt]}$$

Είναι 120 κιλά διότι προστίθεται και το βάρος του πατινιού. Ουσιαστικά τη δύναμη πέδησης τη δημιουργούν οι τροχοί και η τριβή.

⁶Δεδομένα για την επιβράδυνση του ηλεκτρικού πατινιού: <https://electric-scooter.guide/guides/electric-scooter-regenerative-brakes/>



7.2. Υπολογισμός κινητήρα τροχού

Δεν δημιουργούνται όλοι οι κινητήρες με τον ίδιο τρόπο και η ισχύς του κινητήρα (μετρούμενη σε Watt, W) δεν περιγράφει πάντα την απόδοση. Για παράδειγμα, δύο κινητήρες θα μπορούσαν να βαθμολογηθούν με 250 W. Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο μπορούν να καταναλώσουν 250 W ηλεκτρικής ισχύος, αλλά δεν σημαίνει ότι είναι εξίσου αποδοτικοί και παράγουν την ίδια μηχανική ισχύ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ισχύς του κινητήρα επηρεάζεται από την απόδοση και κανένα κατασκευαστής δεν αναφέρεται σε αυτήν.

Παρόλο που συνήθως αναφέρεται η ισχύς του κινητήρα, γίνεται κάποιος επίσης να την υπολογίσει πολλαπλασιάζοντας την τάση του κινητήρα (βολτ, V) με το ρεύμα (αμπέρ, A). Για παράδειγμα, για έναν κινητήρα που λειτουργεί στα 36 V και 7 A, υπολογίζεται ότι έχει ισχύ εξόδου:

$$36 V \times 7 A = 252 W$$

Επίσης σημαντική είναι και η ροπή κινητήρα. Η ροπή είναι η δύναμη περιστροφής που παράγεται από τον κινητήρα και δίδεται σε μονάδες Newton-meter (Nm). Η ροπή είναι η δύναμη που περιστρέφει τον τροχό του ηλεκτρικού σκούτερ και το ωθεί προς τα εμπρός. Οι περισσότεροι κατασκευαστές δεν παρέχουν προδιαγραφές εξόδου ροπής για τους κινητήρες τους, αλλά γίνεται να εκτιμηθεί χρησιμοποιώντας τη σχέση ότι η ισχύς ισούται με ροπή πολλαπλασιαζόμενη επί περιστροφές ανά δευτερόλεπτο (RPS) ή:

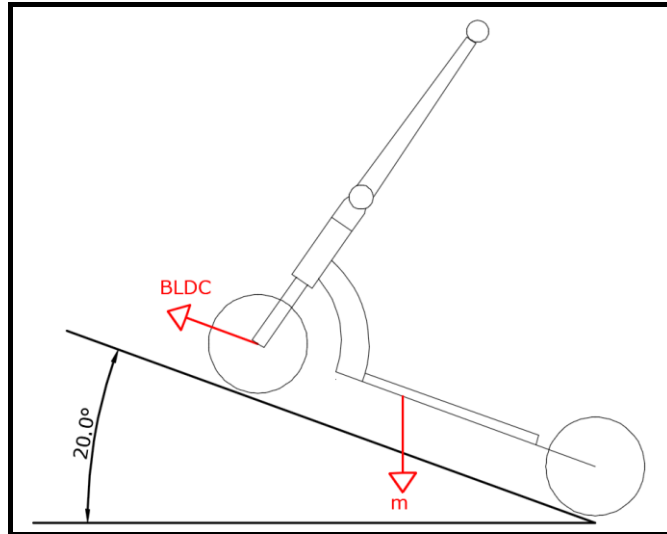
$$\text{Ισχύς (W)} = \text{Ροπή (Nm)} \times \text{RPS}$$

Διαιρώντας την ισχύ του κινητήρα με τις μέγιστες στροφές ανά δευτερόλεπτο, μπορείτε να εκτιμήσετε τη ροπή. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες DC παράγουν τη μέγιστη ροπή τους σε μηδενικές στροφές ανά δευτερόλεπτο (ονομάζεται επίσης «stall torque») και μηδενική ροπή στη μέγιστη, μη φορτωμένη περιστροφή ανά δευτερόλεπτο. Η μέγιστη απόδοση ισχύος βρίσκεται στις μισές μέγιστες στροφές ανά δευτερόλεπτο και στη μισή μέγιστη ροπή.

Όσον αφορά την απόδοση. Σε γενικές γραμμές, η ισχύς του κινητήρα είναι ένας χονδροειδής τρόπος σύγκρισης των επιδόσεων διαφορετικών ηλεκτρικών σκούτερ. Το σκούτερ με τον ισχυρότερο κινητήρα πρέπει να επιταχύνει γρηγορότερα και να φέρει βαρύτερα φορτία. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αυτό το μέτρο δεν μιλάει για την απόδοση του κινητήρα. Επιπλέον, διαφορετικοί κατασκευαστές φαίνεται να μετρούν την ισχύ του κινητήρα διαφορετικά.

Αποφασίστηκε ο σχεδιασμός να ξεκινήσει από κάτω (τροχοί) αλλά το βάρος του πατινιού δεν είναι γνωστό για αυτό το λόγο το βάρος υποτίθεται ως 20 κιλά, δηλαδή το μέγιστο που μπορεί να προκύψει σε σχέση με τα ήδη υπάρχοντα μοντέλα.

Το πατίνι που σχεδιάζεται πρέπει να είναι σε θέση να ανέβει δρόμο έως και 20 μίρες, με κίνηση από ένα κινητήρα DC στο τροχό, διάμετρος του τροχού = 0,24 [m] και ικανή να φτάσει τη μέγιστη ταχύτητα 25kmh (6.94m/s). Σε γενικές γραμμές, αυτές είναι οι λειτουργικές απαιτήσεις του πατινιού.



Σχήμα 7.2.1: Πατίνι σε κλίση 20 μοιρών, η δύναμη m είναι το συνολικό βάρος πατινιού και αναβάτη.

1. Υπολογισμός απαιτούμενης ροπής

Τελική ταχύτητα 6.94m/s , συνήθης απαιτούμενος χρόνος για να φτάσει ένα απλό πατίνι την τελική ταχύτητα 4.5-7.3 δευτερόλεπτα (ESG⁷). Δηλαδή η επιτάχυνση κυμαίνεται από 0.95 m/s² έως 1.54 m/s², επιλέγω τη μέγιστη δυνατή επιτάχυνση.

Δεδομένα:

Μάζα (αναβάτη και πατινιού): 120 kg

Επιτάχυνση: 1.54 m/s²

Βρίσκεται η δύναμη, τύπος (2^{ος} Νόμος Νεύτωνα):

$$F[\text{Newtons}] = \text{Μάζα} [\text{Kg}] \times \text{Επιτάχυνση} [\text{m/s}^2] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = 120 \times 1.54 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{F = 184.8 \text{ [N]}}$$

Η απαιτούμενη δύναμη ώθησης είναι 185 Newtons (στρογγυλοποιημένα). Αυτό που βρέθηκε είναι η δύναμη που απαιτείται για έδαφος δίχως κλίση. Η κλίση του εδάφους που έχει στις προδιαγραφές είναι 20 μοίρες.

⁷ Δεδομένα επιτάχυνση πατινιών: <https://electric-scooter.guide/comparisons/electric-scooter-performance-tests/>



Βρίσκεται η μέγιστη απαιτούμενη δύναμη με κλίση εδάφους 20 μοιρών:

$$F2 = 185 / \cos(20) = 185 / 0.939 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{F2 = 197 [N]}$$

Απαιτούμενη ροπή, τύπος (Ζήσος, 2006):

$$\text{Ροπή [Nm]} = \text{Δύναμη [Newtons]} \times \text{Απόσταση [μέτρα]}$$

Η απόσταση βρίσκεται από την ακτίνα τροχού:

$$R = 0,24m / 2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{R = 0.12m}$$

Απαιτούμενη ροπή:

$$\text{Ροπή} = 197 \times 0.12 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\text{Ροπή} = 23.64 \text{ Nm}}$$

Η απαιτούμενη ροπή είναι 23.64 Nm.

2. Υπολογισμός στροφών RPS και RPM

Δεδομένα:

Διάμετρος τροχού = 0.24m

Περίμετρος τροχού = $\pi \times$ διάμετρος = 0.753 m

Απαιτούμενη ταχύτητα = 6.94 m/s (25 kmh)

Απώλειες:

- Συντελεστής δυναμικής τριβής ελαστικού: 0.58 - 0.68

Επιλέγεται:

- Ο μέσος συντελεστής δυναμικής τριβής: 0.62



Περιφερειακή ταχύτητα, τύπος (Charman, 2009):

$$\text{Ταχύτητα [m/s]} = \text{RPS (στροφές ανά δευτερόλεπτο)} \times \text{Περίμετρος [m]}$$

$$\text{RPS} = (\text{ταχύτητα} / \text{περίμετρος}) / 0.62 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (6.94 / 0.753) / 0.62 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\text{RPS} = 14.85}$$

$$\text{RPM} = 14.85 \times 60 \text{ (seconds)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\text{RPM} \approx 890}$$

3. Απαιτούμενη ισχύς εξόδου του κινητήρα:

Απώλειες:

- 2 Έδρανα της ατράκτου του κινητήρα-τροχού: $2 \times 2\% = 4\%$

Επιλέγεται:

- Βαθμός απόδοσης μετά από απώλειες εδράνων: 0.96

Ισχύς εξόδου κινητήρα, τύπος (Charman, 2009):

$$\text{Ισχύς [Watt]} = (\text{Ροπή [Nm]}) \times \text{RPS} / \text{Βαθμός απόδοσης} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 23.64 \times 14.85 / 0.96 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\text{Ισχύς εξόδου} \approx 365 \text{ [W]}}$$



4. Απαιτούμενη ισχύς εισόδου του κινητήρα

Η ισχύς εισόδου υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες και την απόδοση των κινητήρων αυτού του τύπου.

Απώλειες:

- Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικών κινητήρων χωρίς ψήκτρες: 85-98%

Επιλέγεται:

- Ο μέσος βαθμός απόδοσης κινητήρα: 0.92

Ισχύς εισόδου κινητήρα, τύπος (Charman, 2009):

$$\text{Ισχύς εισόδου} = \text{Ισχύς εξόδου} / \text{βαθμός απόδοσης} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 365 / 0.92 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{Ισχύς εισόδου} = 396 \text{ [W]} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{\text{Ισχύς εισόδου} \approx 400 \text{ [W]}}$$

Οι ελάχιστες απαιτούμενες τιμές των χαρακτηριστικών του κινητήρα:

- **Ροπή:** 23.64 [Nm]
- **Στροφές:** 890 [rpm]
- **Ισχύς εξόδου:** 365 [Watt] (κινητήρα)
- **Ισχύς εισόδου:** 400 [Watt] (τροφοδοσία)

7.3. Χαρακτηριστικά μπαταρίας

Χαρακτηριστικά μικροελεγκτή

Ο μικροελεγκτής επειδή έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και απαιτήσεις για τη λειτουργία του, θα ορίσει κάποια μέγιστα και ελάχιστα μεγέθη της μπαταρίας, και πιο συγκεκριμένα τον τρόπο συναρμογής των κυψελών 18650. Κριτήριο επιλογής μικροελεγκτή ήταν η μέγιστη ισχύ τροφοδοσίας.



Εικόνα 7.3.1: Μικροελεγκτής «36V/48V 500W 9Mofsets 20A Brushless DC Torque Simulation Square Wave Controller».

Τάση τροφοδοσίας	DC 36 ή 48 [V]
Μέγιστο ρεύμα	20 ± 1 [A]
Έλεγχος ταχύτητας	1 – 4.2 [V]
Μέγιστη ισχύ	500 [W]
Διαστάσεις	128×66×38 [mm]

Πίνακας 7.3.1: Χαρακτηριστικά με μικροελεγκτή «36V/48V 500W 9Mofsets 20A Brushless DC Torque Simulation Square Wave Controller».

Από τα χαρακτηριστικά ορίζεται λοιπόν το μέγιστο ρεύμα και η μέγιστη τάση τροφοδοσίας. Εφόσον οι κυψέλες μπορούν να δώσουν τάση 3.6 [V] πρέπει να συνδεθούν έτσι ώστε να έχουν στο σύνολό τους 36 [V]. Επίσης πρέπει το μέγιστο ρεύμα, από το σύνολο συνδεσμολογίας των κυψελών, να μην ξεπερνάει τα 20 [A]. Αυτό είναι για ισχύ 500 [W], όμως εφόσον η απαιτούμενη ισχύ της μπαταρίας είναι μικρότερη των 500 [W] η συνδεσμολογία πρέπει να είναι τέτοια ώστε να έχει την ονομαστική τάση λειτουργίας.



Μονάδες χωρητικότητας μπαταρίας: Watt-hour

Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε μια μπαταρία, που ονομάζεται χωρητικότητα μπαταρίας, μετράται σε watt-hour (Wh), kilowatt-hour (kWh) ή σε ampere-hour (Ahr). Το πιο συνηθισμένο μέτρο της χωρητικότητας της μπαταρίας είναι Ah, ορίζεται ως ο αριθμός των ωρών για τις οποίες μια μπαταρία μπορεί να παρέχει ρεύμα ίσο με το ρυθμό εκφόρτισης στην ονομαστική τάση της μπαταρίας. Η χωρητικότητα Wh μπορεί να προσεγγιστεί από την ικανότητα Ahr πολλαπλασιάζοντας την ικανότητα Ah με την ονομαστική (ή, εάν είναι γνωστή, μέση χρονική) τάση μπαταρίας.

Μια πιο ακριβής προσέγγιση λαμβάνει υπόψη τη διακύμανση της τάσης ενσωματώνοντας την ικανότητα $Ah \times V(t)$ κατά τη διάρκεια του κύκλου φόρτισης.

Για παράδειγμα, μια μπαταρία 12volt με χωρητικότητα 500Ah μπαταρία επιτρέπει την αποθήκευση ενέργειας περίπου $100Ah \times 12V = 1.200Wh$ ή 1,2KWh. Ωστόσο, λόγω της μεγάλης επίδρασης από τους ρυθμούς φόρτισης ή τις θερμοκρασίες, για πρακτική ή ακριβή ανάλυση, οι κατασκευαστές μπαταριών παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη διακύμανση της χωρητικότητας της μπαταρίας.

Συνδεσμολογίες μπαταριών

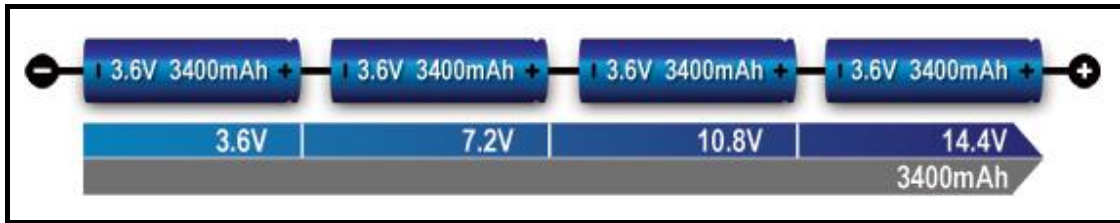
Τα χαρακτηριστικά μεγέθη της τροφοδοσίας έχουν υπολογιστεί, το μόνο που απομένει είναι η συνδεσμολογία των κυψελών με τον κατάλληλο τρόπο ώστε να επιτευχθούν οι σωστές τιμές της μπαταρίας.

Οι μπαταρίες επιτυγχάνουν την επιθυμητή τάση λειτουργίας συνδέοντας σειρά κυψελών σε σειρά. Κάθε κυψέλη προσθέτει το δυναμικό της τάσης που προκύπτει στη συνολική τάση τερματικού. Η παράλληλη σύνδεση επιτυγχάνει υψηλότερη χωρητικότητα προσθέτοντας τη συνολική αμπερ-ώρα (Ah). Ορισμένα πακέτα μπορεί να αποτελούνται από συνδυασμό σειρών και παράλληλων συνδέσεων. Οι μπαταρίες φορητού υπολογιστή έχουν συνήθως τέσσερις κυψέλες ιόντων λιθίου 3.6V σε σειρά για να επιτύχουν ονομαστική τάση 14,4V και δύο παράλληλα για να αυξήσουν τη χωρητικότητα από 2.400mAh σε 4.800mAh.

Μια τέτοια διαμόρφωση ονομάζεται 4Σ2Π, που σημαίνει τέσσερα κελιά σε σειρά και δύο παράλληλα. Η μόνωση του φύλλου μεταξύ των κυττάρων εμποδίζει το αγωγίμο μεταλλικό δέγμα να προκαλέσει ηλεκτρικό βραχυκύκλωμα. Οι περισσότερες χημικές μπαταρίες προσφέρονται για σειριακή και παράλληλη σύνδεση. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιήσετε τον ίδιο τύπο μπαταρίας με ίση τάση και χωρητικότητα (Ah) και να μην αναμιγνύετε ποτέ διαφορετικές μάρκες και μεγέθη. Ένα ασθενέστερο κύτταρο θα προκαλούσε ανισορροπία.

Συνδεσμολογία σειράς

Ο φορητός εξοπλισμός που χρειάζεται υψηλότερες τάσεις χρησιμοποιεί μπαταρίες με δύο ή περισσότερες κυψέλες συνδεδεμένες σε σειρά. Το σχήμα ... δείχνει μια μπαταρία με τέσσερις κυψέλες ιόντων λιθίου 3.6V σε σειρά, επίσης γνωστές ως 4Σ, για παραγωγή 14,4V ονομαστικής τάσης. Συγκριτικά, μια σειρά έξι κυττάρων μολύβδου οξέος με 2V / κύτταρο θα παράγει 12V, και τέσσερα αλκαλικά με 1.5V / κύτταρο θα δώσουν 6V.



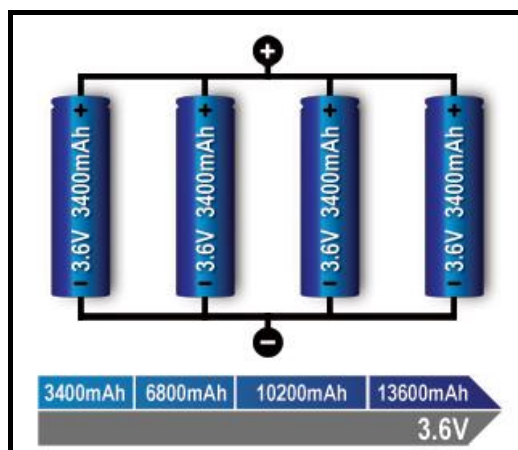
Σχήμα 7.3.1: Συνδεσμολογία σειράς τεσσάρων κυψελών (4Σ). Η προσθήκη κελιών σε μια σειρά αυξάνει την τάση η χωρητικότητα παραμένει η ίδια.

Εάν απαιτείται περίεργη τάση, ας πούμε, 9,50 βολτ, συνδέονται πέντε μολύβδου οξέος, οκτώ NiMH ή NiCd ή τρία ιόντων λιθίου σε σειρά. Η τελική τάση της μπαταρίας δεν χρειάζεται να είναι ακριβής εφ' όσον είναι υψηλότερη από αυτήν που καθορίζει η συσκευή. Μια τροφοδοσία 12V μπορεί να λειτουργήσει αντί των 9,50V. Οι περισσότερες συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία μπορούν να ανεχθούν κάποια υπερβολική τάση. Ωστόσο, πρέπει να τηρείται η ονομαστική τάση στο τέλος της εκφόρτωσης.

Οι μπαταρίες υψηλής τάσης διατηρούν το μέγεθος του αγωγού μικρό. Ασύρματα ηλεκτρικά εργαλεία λειτουργούν σε μπαταρίες 12V και 18V. Τα μοντέλα υψηλών προδιαγραφών χρησιμοποιούν 24V και 36V. Τα περισσότερα ηλεκτρονικά ποδήλατα διαθέτουν 36V Li-ion, μερικά είναι 48V.

Παράλληλη συνδεσμολογία

Εάν απαιτούνται υψηλότερα ρεύματα και δεν είναι διαθέσιμα μεγαλύτερα κελιά ή δεν ταιριάζουν από τον περιορισμό σχεδιασμού, ένα ή περισσότερα κελιά μπορούν να συνδεθούν παράλληλα. Οι περισσότερες χημεία μπαταριών επιτρέπουν παράλληλες διαμορφώσεις με μικρή παρενέργεια. Το σχήμα 4 απεικονίζει τέσσερα κελιά συνδεδεμένα παράλληλα σε διάταξη P4. Η ονομαστική τάση του απεικονιζόμενου πακέτου παραμένει στα 3.60V, αλλά η χωρητικότητα (Ah) και ο χρόνος λειτουργίας αυξάνονται τέσσερις φορές.

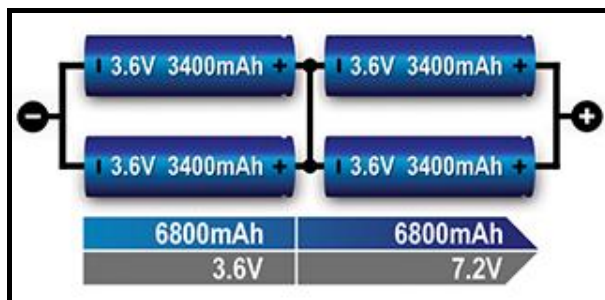


Σχήμα 7.3.2: Παράλληλη συνδεσμολογία τεσσάρων κυψελών (4Π). Με παράλληλα κελιά, η χωρητικότητα σε Ah και ο χρόνος λειτουργίας αυξάνεται ενώ η τάση παραμένει η ίδια.



Σειρά / παράλληλη συνδεσμολογία

Η σειρά / παράλληλη διαμόρφωση που φαίνεται στο Σχήμα 6 επιτρέπει την ευελιξία του σχεδιασμού και επιτυγχάνει την επιθυμητή βαθμολογία τάσης και ρεύματος με ένα τυπικό μέγεθος κυψέλης. Η συνολική ισχύς είναι το άθροισμα των χρόνων τάσης ρεύματος. ένα 3.6V (ονομαστικό) κελί πολλαπλασιασμένο επί 3.400 mAh παράγει 12.24Wh. Τέσσερα 18650 ενεργειακά κελιά με 3.400 mAh μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα, όπως φαίνεται να έχουν ονομαστική τιμή τάσης 7,2V και συνολικά 48,96Wh.



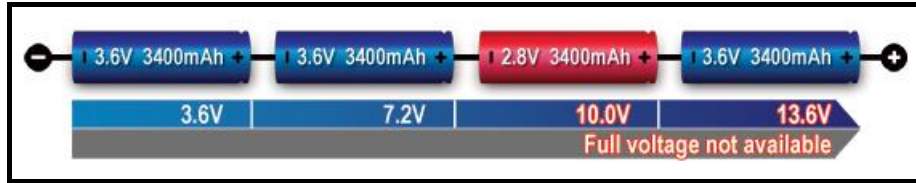
Σχήμα 7.3.3: Σειρά / παράλληλη σύνδεση τεσσάρων κυψελών (2S2P). Αυτή η διαμόρφωση παρέχει μέγιστη ευελιξία σχεδιασμού. Το παράλληλο των στοιχείων βοηθά στη διαχείριση τάσης.

Το Li-ion προσφέρεται για συνδέσεις σειράς/παράλληλα, αλλά τα κύτταρα χρειάζονται παρακολούθηση για να παραμείνουν εντός των ορίων τάσης και ρεύματος. Ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC) για διάφορους συνδυασμούς κυττάρων είναι διαθέσιμα για την επίβλεψη έως και 13 κυττάρων ιόντων λιθίου. Τα μεγαλύτερα πακέτα χρειάζονται προσαρμοσμένα κυκλώματα, και αυτό ισχύει για μπαταρίες ηλεκτρονικών ποδηλάτων, υβριδικά αυτοκίνητα και το Tesla Model 85 που καταναλώνει πάνω από 7000 18650 κύτταρα για να καλύψει το πακέτο των 90kWh.

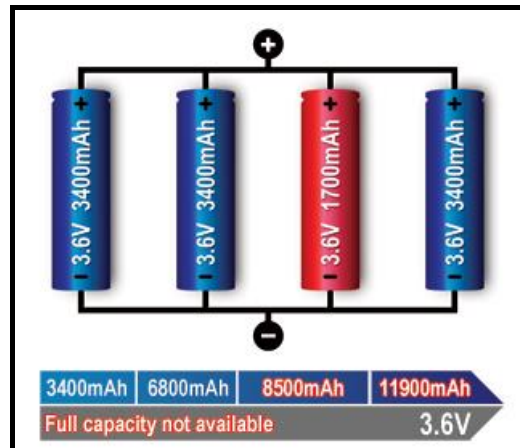
Αστοχίες

Οι μπαταρίες υψηλής τάσης απαιτούν προσεκτική αντιστοίχιση κυψελών, ειδικά όταν τραβούν βαριά φορτία ή όταν λειτουργούν σε κρύες θερμοκρασίες. Με πολλά κελιά συνδεδεμένα σε μια συμβολοσειρά, η πιθανότητα αποτυχίας ενός κελιού είναι πραγματική και αυτό θα προκαλούσε αποτυχία. Για να αποφευχθεί αυτό, ένας διακόπτης στερεάς κατάστασης σε ορισμένα μεγάλα πακέτα παρακάμπτει το κελί που αποτύχει για να επιτρέψει τη συνεχή ροή ρεύματος, αν και σε χαμηλότερη τάση συμβολοσειράς.

Η αντιστοίχιση κυττάρων είναι μια πρόκληση κατά την αντικατάσταση ενός ελαττωματικού κελιού σε ένα πακέτο γήρανσης. Ένα νέο κελί έχει μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα άλλα, προκαλώντας ανισορροπία. Η συγκολλημένη κατασκευή αυξάνει την πολυπλοκότητα της επισκευής και γι 'αυτό οι μπαταρίες αντικαθίστανται συνήθως ως μονάδα.



Σχήμα 7.3.4: Συνδεσμολογία σειράς με ελαττωματικό κελί. Το ελαττωματικό στοιχείο 3 μειώνει την τάση και διακόπτει τον εξοπλισμό πρόωρα.



Σχήμα 7.3.5: Παράλληλη σύνδεση με ένα ελαττωματικό κελί. Ένα αδύναμο στοιχείο δεν επηρεάζει την τάση αλλά παρέχει χαμηλό χρόνο λειτουργίας λόγω μειωμένης χωρητικότητας. Ένα βραχυκυκλωμένο κελί μπορεί να προκαλέσει υπερβολική θερμότητα και να γίνει κίνδυνος πυρκαγιάς. Σε μεγαλύτερες συσκευασίες μια ασφάλεια αποτρέπει το υψηλό ρεύμα με την απομόνωση του κελιού.



7.3.1. Υπολογισμός χωρητικότητας μπαταρίας

Δεδομένα:

Τροφοδοσία: 400 [Wh]

Αυτονομία: 45 [km]

Μέγιστη ταχύτητα: 25 [kmh]

Δυναμικό: 36 [V]

Χρόνος για να διανύσει το όχημα 45 km (μέγιστη αυτονομία) με 25 kmh (μέγιστη ταχύτητα):

$$t [hours] = 45/25 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{t = 1.8 [h]}$$

Δηλαδή η μπαταρία πρέπει να έχει χωρητικότητα τέτοια ώστε να μπορεί να δίνει ισχύ ίση με 400 [Wh] για 1.8 ώρες (110 λεπτά).

Χωρητικότητα μπαταρίας, τύπος (ScienceDirect⁸):

$$mAh = 1000 \times Wh / V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow mAh = 1000 \times 400 / 36 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{Χωρητικότητα = 11111.1 [mAh]}$$

Απαιτούμενο ρεύμα τροφοδοσίας:

$$I [Ah] = 11111.1 / 1000 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{I = 11.11 [Ah]}$$

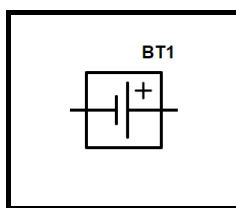
⁸ Battery Capacity: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/battery-capacity>

7.3.2. Διάταξη συνδεσμολογίας της μπαταρίας

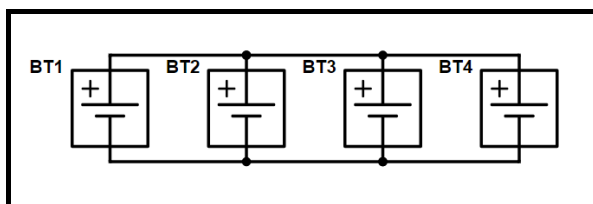
Μία κυψέλη 18650 έχει τάση 3.6V και 3Ah. Για να υπάρχει ρεύμα $\geq 11.11\text{Ah}$, συνδέονται 4 κυψέλες παράλληλα που δίνουν 12Ah και για να επιτευχτεί η τάση των 36V συνδέονται σε σειρά 10 παραλληλίες από 4 κυψέλες. Δηλαδή γίνεται συνδυασμός των συνδεσμολογιών σειράς-παράλληλα, με συνολικό αριθμό 40 κυψέλων. Ο βαθμός απόδοσης τέτοιων κυψελών είναι 99%.

Ισχύς μπαταρίας (με 99% βαθμό απόδοσης):

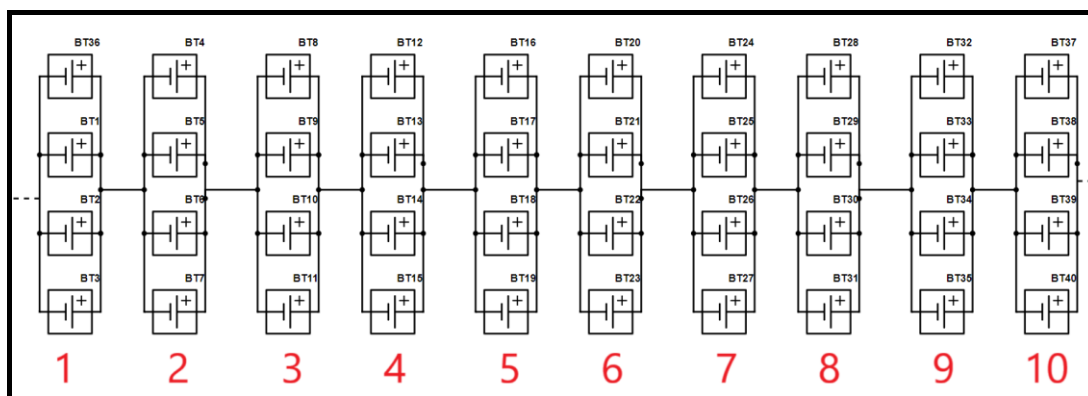
$$\underline{12\text{Ah} \times 36\text{V} \times 0.99 = 427 [\text{Wh}]}$$



Σχήμα 7.3.2.1: Συμβολισμός μπαταρίας στο διάγραμμα της συνδεσμολογίας. Απόδοση 3Ah και 3.6V.



Σχήμα 7.3.2.2: Διάγραμμα συνδεσμολογίας, παράλληλη συνδεσμολογία 4 μπαταριών (παράλληλια). Απόδοση : 12Ah και 3.6V.



Σχήμα 7.3.2.3: Διάγραμμα συνδεσμολογίας. Συνδεσμολογία σειράς από 10 παραλληλίες (4 μπαταρίες συνδεδεμένες παράλληλα). Απόδοση 12Ah και 36V.

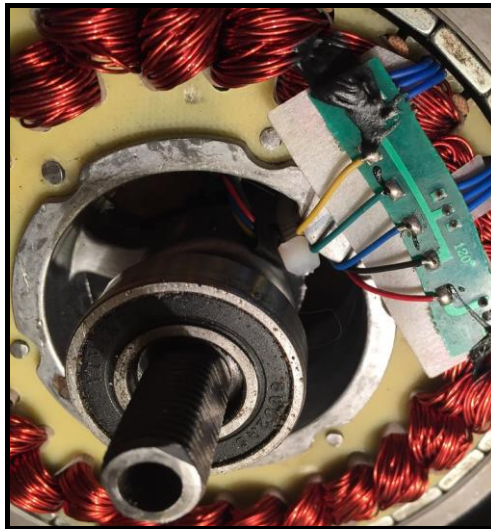


7.4. Υπολογισμός ατράκτου και άξονα και επιλογή εδράνων

Η άτρακτος και ο άξονας υπολογίζονται «πρόχειρα» για αρχή ώστε να προχωρήσει ο σχεδιασμός και μετά την διαμόρφωση των βασικών στοιχείων που θα είναι ξεκάθαρες οι αποστάσεις των στοιχείων και κυρίως το μήκος της ατράκτου και του άξονα αλλά και τα σημεία στήριξης (δοκοί πλατφόρμας, έδρανα, ψαλίδι), θα γίνει ο τελικός έλεγχος αντοχής και τα διαγράμματα με τις δυνάμεις και τις αντιδράσεις στήριξεων.

7.4.1. Άτρακτος κινητήρα τροχού

Η άτρακτος στα περισσότερα πατίνια έχει μια οπή από τη μία πλευρά έως το μισό της ατράκτου, μέσα από την οποία περνάνε τα καλώδια τροφοδοσίας του κινητήρα. Η διάμετρος του καλωδίου είναι έως και 8 mm για πατίνια με τεράστια ισχύ π.χ. 1800 [W], όμως για ισχύς κάτω των 800 Watt η διάμετρος μαζί με το προστατευτικό κέλυφος δε ξεπερνά τα 6 mm. Οπότε ο υπολογισμός έγινε για διάτρητη άτρακτο και για όχι πλήρη το υπόλοιπο μισό της ατράκτου θα είναι πλήρης διατομής οπότε εννοείται ότι θα έχει μεγαλύτερη αντοχή από το διάτρητο μισό της ατράκτου.



Εικόνα 7.4.1.1: Άτρακτος ηλεκτρικού πατινιού, φαίνεται η εσωτερική οπή από όπου περνάνε τα καλώδια τροφοδοσίας, επίσης φαίνεται ότι το άκρο της ατράκτου που φέρει το σπείρωμα είναι .

Η άτρακτος εκτός από την οπή που έχει στο ένα μισό κατά μήκος της, έχει επίσης και στα άκρα της εκεί που είναι το σπείρωμα αφαιρεμένο υλικό ώστε να έχει γωνίες και να μπορεί να της εφαρμοστεί ασφάλεια. Η ασφάλεια θα αποτρέπει την περιστροφή της ατράκτου γύρω από τον άξονά της. Ο υπολογισμός της ατράκτου έγινε με πολλές δοκιμές εξωτερικής διαμέτρου της ατράκτου ξεκινώντας από τη μικρότερη τιμή των 12 mm, λόγω της εσωτερικής διαμέτρου του εδράνου που χρησιμοποιείται σε τέτοια πατίνια, μονόσφαιρου τριβέα 6001.



Το επιλεγμένο υλικό της ατράκτου είναι βελτιωμένος χάλυβας DIN 17200, 34CrNiMo6.

Είδος τάσης	Μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή τάσης
$\tau_{τεπ}$	55 [N/mm ²]
R_e	800 [N/mm ²]
$\sigma_{βεπ}$	110 [N/mm ²]
τ_w	315 [N/mm ²]

Πίνακας 7.4.1.1:

Επιτρεπόμενες τάσεις για κατά προσέγγιση υπολογισμούς και τιμές αντοχής για άξονες και ατράκτους, για βελτιωμένο χάλυβα DIN 17200, 34CrNiMo6, (Στεργίου & Στεργίου, 2003).

$\tau_{τεπ}$: επιτρεπόμενη τάση στρέψης.

R_e : όριο διαρροής ή 0.2% όριο μήκυνσης.

$\sigma_{βεπ}$: όριο αντοχής για κάμψη.

τ_w : επαναλαμβανόμενη αντοχή σε διάτμηση.

Υπολογισμός τάσης στρέψης (Στεργίου & Στεργίου, 2003):

$$\tau_t = \frac{T}{W_t}$$

T: από την άτρακτο μεταφερόμενη ροπή στρέψης σε N*mm

W_t: πολική ροπή αντίστασης της διατομής της ατράκτου σε mm³

τ_t: τάση στρέψης σε N/mm²

Υπολογισμός πολικής ροπής αντίστασης για διάτρητη άτρακτο (Στεργίου & Στεργίου, 2003):

$$W_b = 0.1 \frac{D^4 - d^4}{D} \quad (\text{σχέση 1})$$

$$W_t = 2 W_b \quad (\text{σχέση 2})$$

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel του Microsoft Office. Οι εξωτερικοί διάμετροι που δοκιμάστηκαν είναι 12 mm, 15 mm και 17 mm, επειδή είναι οι εσωτερικές διάμετροι που έχουν τα έδρανα σειράς, «6001», «6002» και «6003» αντίστοιχα. Δηλαδή εάν η διάμετρος 17 mm δεν ήταν η κατάλληλη θα δοκιμαζόταν η διάμετρος των 20 mm που είναι η αμέσως επόμενη στη σειρά του καταλόγου για επιλογή εδράνων με εσωτερική διάμετρο εδράνου 20 mm.



Η τάση στρέψης βρέθηκε εντός των επιθυμητών ορίων, δηλαδή μικρότερη της επιτρεπόμενης τάσης στρέψης του υλικού. Επιλέχθηκε ο **συντελεστής ασφαλείας =2.5** διότι εκτός από την αφαίρεση υλικού για την οπή που θα περνάει η καλωδίωση τροφοδοσίας του κινητήρα, θα αφαιρεθεί και υλικό από τα άκρα της ατράκτου για να εφαρμόζει στην ασφάλεια που θα αποτρέπει (εμποδίζει) την περιστροφή της ατράκτου γύρω από τον άξονά της.

D [mm]	τ_t [N/mm ²]
12	246.25
15	121.31
17	82.48
20	50.27

Πίνακας 7.4.1.2: Τιμές εξωτερικής διαμέτρου ατράκτου (αριστερά) και οι αντίστοιχες τιμές της τάσης στρέψης που υπολογίστηκε ότι θα ασκείται στην άτρακτο για την εκάστοτε τιμή της διαμέτρου.

d [mm]	▼ D [mm]	B [mm]	C [kN]	C ₀ [kN]	P ₀ [kN]	[r/min]	[r/min]	
12	28	8	5.4	2.36	0.1	60000	30000	☆ ■ 6001-2RSL
12	28	8	5.4	2.36	0.1	60000	30000	☆ ■ 6001-2Z
12	28	8	5.4	2.36	0.1	60000	38000	☆ ■ 6001
12	28	8	5.4	2.36	0.1		17000	☆ ■ 6001-2RSH
15	32	8	5.85	2.85	0.12	50000	26000	☆ ■ 16002-2Z
15	32	8	5.85	2.85	0.12	50000	32000	☆ ■ 16002
15	32	9	5.85	2.85	0.12	50000	26000	☆ ■ 6002-2RSL
15	32	9	5.85	2.85	0.12	50000	26000	☆ ■ 6002-2Z
15	32	9	5.85	2.85	0.12	50000	32000	☆ ■ 6002
15	32	9	5.85	2.85	0.12		14000	☆ ■ 6002-2RSH
17	35	8	6.37	3.25	0.137	45000	22000	☆ ■ 16003-2Z
17	35	8	6.37	3.25	0.137	45000	28000	☆ ■ 16003
17	35	10	6.37	3.25	0.137	45000	22000	☆ ■ 6003-2RSL
17	35	10	6.37	3.25	0.137	45000	22000	☆ ■ 6003-2Z
17	35	10	6.37	3.25	0.137	45000	28000	☆ ■ 6003
17	35	10	6.37	3.25	0.137		13000	☆ ■ 6003-2RSH
20	42	8	7.28	4.05	0.173	38000	24000	☆ ■ 16004
20	42	12	9.95	5	0.212	38000	19000	☆ ■ 6004-2RSL

Πίνακας 7.4.1.3: Κατάλογος εδράνων μονόσφαιρου τριβέα, από SKF.

Δεδομένα		Αποτελέσματα	
d [mm]	6	Μέγεθος	Τιμή
D [mm]	20	Wb [mm ³]	793.52
T [Nt*mm]	23640	Wt [mm ³]	1587.04
Συντελεστής ασφαλείας	2.5	τ [N/mm ²]	50.27
Συντελεστής κρουστικών τάσεων	1.35		

(α)

(β)

Πίνακας 7.4.1.4:

(α) Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα Excel. (β) Τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν στο πρόγραμμα Excel.

Η κατάλληλη εξωτερική διάμετρος ατράκτου υπολογίστηκε να είναι τα **20 mm** και τα 2 έδρανα που επιλέχθηκαν για την άτρακτο είναι «16004» μόνοςφαιρου τριβέα.

DIMENSIONS	
d	20 mm
D	42 mm
B	8 mm
d ₁	≈ 27.25 mm
D ₁	≈ 34.3 mm
r _{1,2}	min. 0.3 mm

Εικόνα 7.4.1.2: Διαστάσεις εδράνου «16004», που επιλέχθηκε για την άτρακτο.

7.4.2. Άξονας πίσω τροχού

Για να υπολογιστεί η δύναμη κάμψης που θα ασκείται στον άξονα θα πρέπει να βρεθεί το μήκος του, το οποίο είναι άμεσα εξαρτώμενο από την απόσταση των 2 δοκών της πλατφόρμας, από την ζάντα και το δισκόφρενο.

Η ζάντα για λόγους ευκολίας βρέθηκε έτοιμη από την αγορά, με τις διαστάσεις τις. Οι διαστάσεις που χρειάζονται είναι το πάχος του κυλίνδρου που έχει μέσα τα έδρανα και τον άξονα. Το πάχος βρέθηκε στα 67.5 mm, εφόσον το δισκόφρενο εφαρμόζει πάνω στη ζάντα και κεντράρεται μόνο με τους κοχλίες συγκράτησης θα προστεθεί και ο όγκος της κεφαλής του κοχλία, επίσης ο απαιτούμενος όγκος του μηχανισμού πέδησης (τακάκια). Ο μηχανισμός βρέθηκε και μετρήθηκε δια ζώσης. Το δισκόφρενο θα βρίσκεται από τη μία πλευρά αλλά για λόγους συμμετρίας η ζάντα θα βρίσκεται στο κέντρο του άξονα, άρα το πρόσθετο μήκος για το δισκόφρενο θα είναι διπλός.

Ο άξονας πρέπει να είναι πιο μακρύς για να περνάει από τις σπές που θα έχουν οι δοκοί της πλατφόρμας και να συσφίγγεται με κοχλίες, αλλά δε χρειάζεται για τον υπολογισμό αυτό το πρόσθετο μήκος. Έτσι το μήκος που υπολογίστηκε πρόχειρα είναι τα 120 mm. Το τελικό μήκος θα βρεθεί κατά τη διαμόρφωση του τρισδιάστατου μοντέλου.



Εικόνα 7.4.2.1: Σετ τροχού και ζάντας πίσω τροχού, από Banggood⁹.

⁹Ιστότοπος: https://www.banggood.com/10-Inch-10x2_0-or-2_125-Electric-Scooter-Vacuum-Tire-Set-With-Disc-Brake-Inflation-Free-Solid-Tire-Scooters-Wheels-Accessories-p-1702438.html?rmmds=buy&ID=514801&cur_warehouse=CN



Η δύναμη που ασκείται στον άξονα του πίσω τροχού είναι δύναμη κάμψης. Το επιλεγμένο υλικό της ατράκτου είναι βελτιωμένος χάλυβας DIN 17200, 34CrNiMo6.

Ο τύπος ελέγχου για **αντοχή του άξονα σε κάμψη** είναι (Στεργίου & Στεργίου, 2003):

$$\sigma_b = M_b / W_b \leq \sigma_{bεπ}$$

σ_b : τάση κάμψης

M_b : ροπή κάμψης στην επικίνδυνη διατομή

W_b : ροπή αντίστασης έναντι κάμψης στην επικίνδυνη διατομή σε mm^3 , για πλήρης άξονες είναι $W_b \approx 0.1 * d^3$

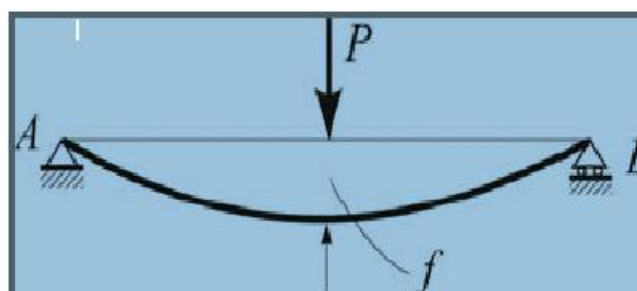
$\sigma_{bεπ}$: επιτρεπόμενη τάση κάμψης σε N/mm^2 (πίνακας 7.4.1.1)

Η διαδικασία είναι η ίδια που ακολουθήθηκε για την εύρεση της διαμέτρου ατράκτου, για τον ίδιο λόγο, του ότι τα έδρανα έχουν τυποποιημένες διαστάσεις. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel του Microsoft Office.

d [mm]	σ_b [N/mm ²]
12	280.89
15	143.82
17	98.8

Πίνακας 7.4.2.1:

Τιμές εξωτερικής διαμέτρου άξονα (αριστερά) και οι αντίστοιχες τιμές της τάσης κάμψης που υπολογίστηκε ότι θα ασκείται στον άξονα για την εκάστοτε τιμή της διαμέτρου.



Σχήμα 7.4.2.1:

Στο άνω σχήμα απεικονίζεται η δοκιμή της κάμψης τριών σημείων (3 point bending test), κατά την οποία η δοκός στηρίζεται αμφιπέριστα ή ως αμφιπρόεχουσα και φέρει στο μέσον της σημειακό φορτίο P.

Ο άξονας θα εξεταστεί όπως στο σχήμα (7.3.2.1.) σαν **δοκός με 2 στηρίξεις** στις άκρες τις. Τύπος για **καθαρή κάμψη** (Beer κ.ά., 2012):

$$M_{max} [Nmm] = (P \times L) / 4$$



Όπου:

$$P [N] = F / 2$$

P: δύναμη που ασκείται στον κέντρο του άξονα,
F: δύναμη από το βάρος του αναβάτη

Η δύναμη από το βάρος του αναβάτη διαιρείται στα 2 διότι μοιράζεται στην άτρακτο και στον άξονα.

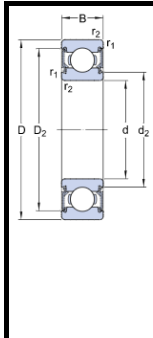
Δεδομένα		Αποτελέσματα	
Μήκος (mm)	120	Μέγεθος	Τιμή
d [mm]	17	d ³	4913.00
Συντελεστής ασφαλείας	2	W _b [mm ³]	482.09
Συντελεστής κρουστικών τάσεων	1.35	F [Nt]	588.00
		M _b [N*mm]	17640.00
		σ _b [N/mm ²]	98.80

(α) (β)

Πίνακας 7.4.2.2:

(α) Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα Excel. (β) Τα αποτελέσματα που υπολογίστηκαν στο πρόγραμμα Excel.

Η κατάλληλη διάμετρος βρέθηκε να είναι τα **17 mm**. Τα 2 επιλεγμένα έδρανα για τον άξονα είναι «6003-2RSL» μονόσφαιρου τριβέα.



DIMENSIONS	
d	17 mm
D	35 mm
B	10 mm
d ₂	≈ 20.45 mm
D ₂	≈ 31.2 mm
r _{1,2}	min. 0.3 mm

Εικόνα 7.4.2.2:

Διαστάσεις εδράνου «6003-2RSL», που επιλέχθηκε για τον άξονα.



7.5. Υπολογισμός πολύσφηνων ατράκτου

Εφόσον βρέθηκε η ροπή στρέψεως και η άτρακτος του κινητήρα-τροχού υπολογίζεται η σύνδεση με πολύσφηννα οπλισμού κινητήρα και ατράκτου. Ο υπολογισμός και η επιλογή διαστάσεων γίνεται με βάση πινάκων (Στεργίου & Στεργίου, 2003). Ως δεδομένο αναφοράς ήταν η άτρακτος να έχει διάμετρο ίση ή μεγαλύτερη από 12 mm. Από πίνακες έγινε επιλογή 2 τύπων, μεσαίου τύπου σειράς DIN ISO 14 και βαρέως τύπου σειρά DIN 5464.

Έχει επιλεγθεί συντελεστής ασφαλείας 2 και κρουστικών τάσεων 1.35, αλλά το υλικό από πίνακες έχει συγκεκριμένη αντοχή για κρουστική φόρτιση άρα ο συντελεστής κρουστικών τάσεων δε λαμβάνεται υπόψη. Μέγιστο $p_{επ}$ χυτοχάλυβα 40 [Nt/mm²]. Το στοιχείο που μελετάται ως προς την αντοχή του είναι η πλήμνη και όχι η άτρακτος διότι η άτρακτος έχει μεγαλύτερη αντοχή σε πίεση επιφανείας. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel της Microsoft Office.

Πολύσφηννο μεσαίου τύπου σειρά DIN ISO 14		Πολύσφηννο βαρέως τύπου σειρά DIN 5464	
D [mm]	25	D [mm]	26
d [mm]	21	d [mm]	21
b [mm]	5	b [mm]	3
n	6	n	10
dm [mm]	23	dm [mm]	23.5
h [mm]	2	h [mm]	2.5
l [mm]	10	l [mm]	10
T [Nt*mm]	23640	T [Nt*mm]	23640
Συντελεστής ασφαλείας	2	Συντελεστής ασφαλείας	2

(α) (β)

Πίνακας 7.5.1: (α) Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα Excel για μεσαίου τύπου πολύσφηννο.
(β) Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα Excel για βαρέως τύπου πολύσφηννο.
D: εσωτερική διάμετρος πλήμνης
d: εσωτερική διάμετρος ατράκτου
b: πάχος σφήνα

Η εσωτερική διάμετρος του πολύσφηννου πρέπει να είναι ≥ 20 mm σε περίπτωση που είναι μεγαλύτερη απλά θα αφαιρεθεί υλικό για να μπαίνουν τα έδρανα. Λαμβάνεται υπόψη ότι λόγω των αναπόφευκτων ανακρίβειών στην κατασκευή, μόνο το 75% των σφηνών λαμβάνουν μέρος στη μεταφορά της ροπής.



Η πίεση επιφάνειας P θα είναι (Στεργίου & Στεργίου, 2003):

$$P [N/mm^2] = \frac{2 \cdot T}{d_m \cdot l \cdot h \cdot 0.75 \cdot n}$$

d_m: μέση διάμετρος σε mm, $d_m = (D + d) / 2$

n: αριθμός σφηνών

h: ύψος σφήνα σε mm, $h = (D - d) / 2$

l: μήκος πλήμνης σε mm

Η πίεση επιφανείας που υπολογίστηκε για **DIN ISO 14**:

$$P = 45.68 [N/mm^2]$$

Δεν ισχύει το $P \leq p_{επ}$ και επιλέγεται εκ νέου τύπος και διαστάσεις πολύσφηνου.

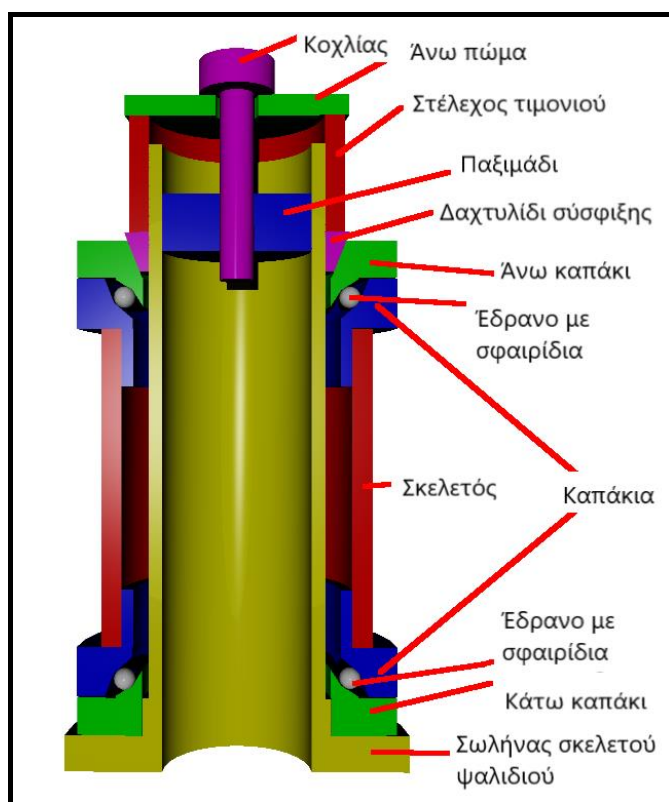
Η πίεση επιφανείας που υπολογίστηκε για **DIN 5464**:

$$P = 21.46 [N/mm^2]$$

Ισχύει $P \leq p_{επ}$ άρα επιλέγεται πολύσφηνο βαρέως τύπου σειρά DIN 5464 με τις διαστάσεις πίνακα 7.4.1(β).

7.6. Επιλογή εδράνων στελέχους τιμονιού και τροχού

Η περιστροφή του τιμονιού γύρω από τον άξονά του αλλά και η ταυτόχρονη συγκράτησή του γίνεται χάρις σε ένα σύνολο από εξαρτήματα το οποίο ονομάζεται Headset (σύνολο κεφαλής). Το σύνολο κεφαλής χρησιμοποιείται εκτός από τα πατίνια και σε ποδήλατα και μοτοσυκλέτες. Το πιο συνηθισμένο σύστημα τέτοιου τύπου είναι το σύνολο κεφαλής νήματος (προεξοχής). Το Headset με σπείρωμα ήταν κάποτε ο κοινός σχεδιασμός ακουστικών για τα περισσότερα ποδήλατα. Το «νήμα» στο όνομα αναφέρεται στο εξωτερικό σπείρωμα στο πάνω μέρος της κολόνας του τιμονιού. Οι επιφάνειες του ρουλεμάν πιέζονται στον σωλήνα κεφαλής ποδηλάτου. Τα ρουλεμάν, τα οποία μπορεί να είναι διαφορετικού τύπου κάθονται πάνω και κάτω από τις ασφάλειες σύσφιξης ή καπάκια. Η κορυφαία ασφάλεια (καπάκι) με ρουλεμάν έχει εσωτερικό σπείρωμα και συγκρατείται στη θέση της με σπείρωμα. Το στέλεχος του τιμονιού δεν επηρεάζει τη ρύθμιση των συνόλων κεφαλής.



Εικόνα 7.6.1:

Threaded Headset (σύνολο κεφαλής τύπου «νήματος»), παρουσιάζονται τα εξαρτήματα και η συνδεσμολογία του συστήματος σε τομή. Εικόνα από Wikimedia Commons¹⁰.

¹⁰ Threaded Headset: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Br_ahtheadset.png



Εικόνα 7.6.2:

*Headset ποδηλάτου, κλασσικό, το ίδιο σύστημα κεφαλής αποσυναρμολογημένο (αριστερά) και συναρμολογημένο (δεξιά).
Εικόνα από Wikimedia Commons¹¹.*

Υπάρχουν πολλές επιλογές τέτοιων συστημάτων, μερικά από αυτά αναφορικά:

- Conventional Threaded (συμβατικό τύπου νήματος)
- Conventional Threadless (συμβατικό χωρίς νήμα)
- Low Profile (χαμηλού σημείου συγκράτησης)
- Integrated System (γωνιώδους επαφής χωρίς καπάκια)

Όμως όλες αυτές οι επιλογές χρησιμοποιούνται κυρίως σε ποδήλατα και συμβατικά πατίνια που δεν αναδιπλώνονται. Για ηλεκτρικά πατίνια συνήθως χρησιμοποιούνται πιο απλά σύνολα κεφαλής όπως έδρανα γωνιώδους επαφής, που απλά συσφίγγονται με καπάκια που συγκρατούνται με σπείρωμα στο στέλεχος. Πολύ συνηθισμένα ακόμα είναι και τα έδρανα χωρίς δαχτυλίδια που αποτελούνται μόνο από σφαιρίδια και το κελί.

¹¹ Σύνολο κεφαλής: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Serie_sterzo.jpg



Εικόνα 7.6.3: Έδρανα Headset (συνόλου κεφαλής) ποδηλάτου, χωρίς δαχτυλίδια. Εικόνα από Park Tool¹².

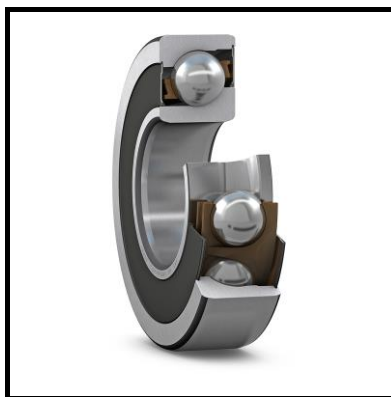
Τα συγκεκριμένα έδρανα είναι ειδικής κατηγορίας και ονομάζονται Headset Bearings (έδρανα κεφαλής), κλειστού και ανοιχτού τύπου. Λειτουργούν όπως τα κοινά έδρανα γωνιώδους επαφής αλλά έχουν μεγαλύτερη εσωτερική διάμετρο και μικρότερο πάχος σε σχέση με τα έδρανα γωνιώδους επαφής. Για το ανώτερο μέρος του σκελετού που συγκρατεί το στέλεχος ή το σωλήνα των ψαλιδιών τροχού του τιμονιού, είναι πολύ καλή επιλογή διότι είναι πολύ φθηνά και δεν δέχονται μεγάλα φορτία. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να μην έχουν ακριβά υλικά κατασκευής, αλλά χρειάζονται περισσότερη προστασία από εξωτερικό περιβάλλον ή τακτική συντήρηση (λίπανση).

Αυτά τα έδρανα παρόλο που χρησιμοποιούνται και στο κατώτερο μέρος του σκελετού που συγκρατεί το στέλεχος τροχού, και δέχεται μεγάλα φορτία, δεν έχουν μεγάλη αντοχή σε φορτία, και επίσης λόγω έλλειψης προστατευτικών δαχτυλιδιών έχουν μικρή διάρκεια ζωής ή αυξημένη συχνότητα συντήρησης. Πριν αποτύχουν τελείως κάνουν θόρυβο και αυξάνεται η αντίσταση στην περιστροφή του τιμονιού για τον αναβάτη. Επίσης λόγω του ότι είναι πιο κοντά στο έδαφος δέχονται μεγαλύτερη φθορά από το περιβάλλον και απαιτούν πολύ τακτικότερη συντήρηση από ότι τα έδρανα στο ανώτερο μέρος του σκελετού συγκράτησης του στελέχους του τιμονιού.

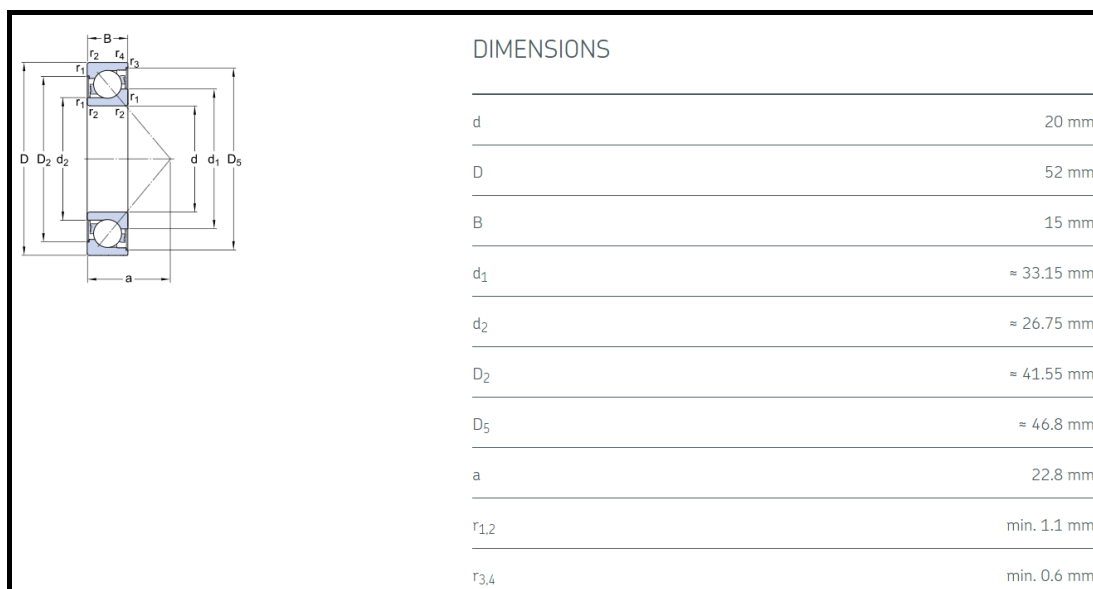
Επιλογή εδράνων

Για τους παραπάνω λόγους αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί στο κατώτερο μέρος του σκελετού, έδρανο γωνιώδους επαφής κλειστού τύπου με δαχτυλίδια. Το έδρανο αναμένεται να έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μικρότερη ή και καμία απαίτηση συντήρησης. Η συντήρηση για το έδρανο απαιτεί αποσυναρμολόγηση, κάτι αρκετά χρονοβόρο και κοπιαστικό, επίσης για μερικούς αναβάτες ίσως και αδύνατο εάν δεν έχουν τα κατάλληλα εργαλεία.

¹² Headset standards: <https://www.parktool.com/blog/repair-help/headset-standards>



Εικόνα 7.6.4: Έδρανο γωνιώδους επαφής σε τομή.



Εικόνα 7.6.5: Διαστάσεις επιλεγμένου εδράνου, για το στέλεχος τροχού, SKF¹³ γωνιώδους επαφής «7304 BE-2RZP».

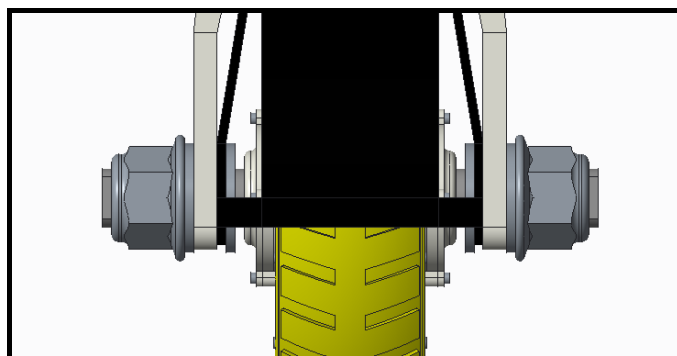
¹³ Ιστότοπος SKF <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/productid-7206%20BE-2RZP>



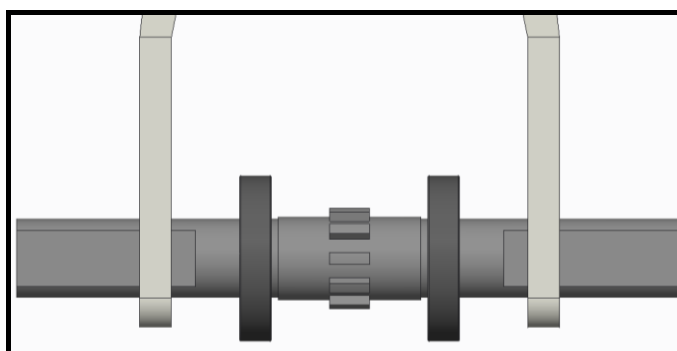
7.7. Αντιδράσεις στήριξης στην άτρακτο και στον άξονα

Το φορτίο του βάρους που χρησιμοποιήθηκε πολλαπλασιάστηκε με το συντελεστή ασφαλείας =2 και συντελεστή κρουστικών τάσεων =1.35

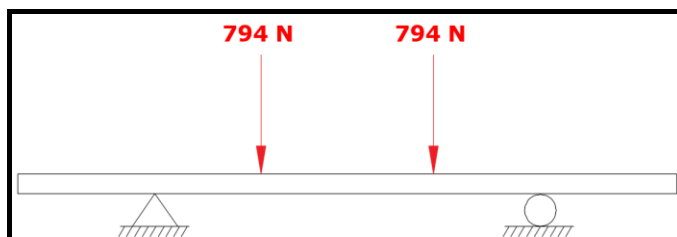
Άτρακτος



(α)



(β)



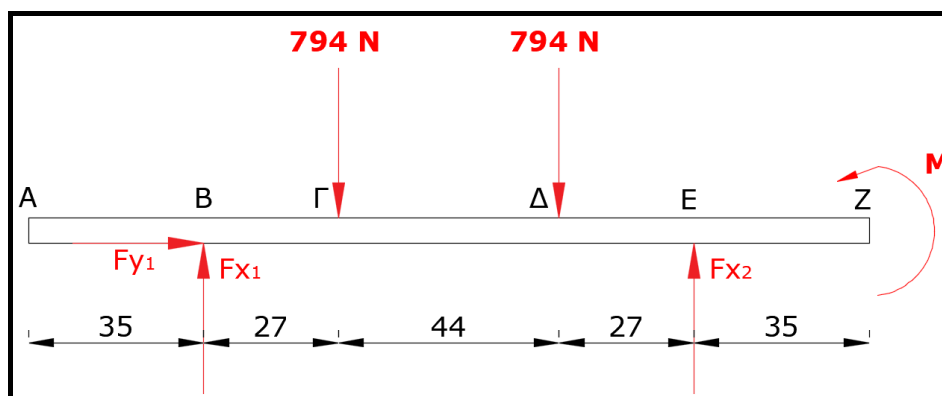
(γ)

Εικόνα 7.7.1: (α) Μπροστινός τροχός συναρμολογημένος, εικόνα από περιβάλλον λογισμικού Creo 3.0 parametric. (β) Άτρακτος έδρανα και ψαλίδι μπροστινού τροχού εικόνα από περιβάλλον λογισμικού Creo 3.0 parametric. (γ) Άτρακτος σαν δοκός με στηρίξεις και φορτία από τα έδρανα.



Η άτρακτος δέχεται φορτία από το βάρος του αναβάτη που μεταφέρονται σε αυτήν μέσω του ψαλιδιού και τα έδρανα. Τα σημεία όπου η άτρακτος έρχεται σε επαφή με το ψαλίδι ορίζονται ως στηρίξεις και τα σημεία έδρασης των ρουλεμάν ως φορτία. Το κάθε έδρανο θα ασκεί στην άτρακτο το $\frac{1}{4}$ από το ολικό φορτίο που θα ασκείται στο πατίνι από το βάρος του αναβάτη και το βάρος του σκελετού του πατινιού. Όλα τα φορτία μελετώνται ως σημειακά και όχι ως κατανεμημένα.

1. Διάγραμμα ελευθέρου σώματος



Σχήμα 7.7.1: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος ατράκτου με φορτία και αντιδράσεις στήριξης.

2. Αντιδράσεις στήριξης

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{y1} = 0$$

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 \Rightarrow F_{x1} + F_{x2} - 794 - 794 &= 0 \\ F_{x1} + F_{x2} &= 1.588 \text{ [N]} \quad (\text{σχέση 1}) \end{aligned}$$

Εφόσον οι δυνάμεις και οι αντιδράσεις βρίσκονται σε συμμετρία:

$$\begin{aligned} F_{x1} &= F_{x2} \\ F_{x1} = F_{x2} &= 1.588/2 \\ F_{x1} = F_{x2} &= 794 \text{ [N]} \end{aligned}$$



Επαλήθευση:

$$\begin{aligned}\Sigma M_E = 0 \Rightarrow & Fx_1 \times (27+44+27) - 794 \times (44+27) - 794 \times 27 \Rightarrow \\ & 98 \times Fx_1 = 56.374 + 21.438 \Rightarrow \\ & Fx_1 = 77.812 / 98 \Rightarrow \\ & Fx_1 = 794 \text{ [N]}\end{aligned}$$

Από τη σχέση 1:

$$\begin{aligned}794 + Fx_2 &= 1.588 \text{ [N]} \Rightarrow \\ Fx_2 &= 1.588 - 794 \Rightarrow \\ Fx_2 &= 794 \text{ [N]}\end{aligned}$$

3. Διάγραμμα τέμνουσων δυνάμεων

Τμήμα AB: $Q(x) = 0$

Τμήμα ΒΓ: $Q(x) = 794 \text{ [N]}$

Τμήμα ΓΔ: $Q(x) = 794 - 794 = 0$

Τμήμα ΔΕ: $Q(x) = 794 - 794 - 794 = -794 \text{ [N]}$

Τμήμα ΕΖ: $Q(x) = 794 - 794 - 794 + 794 = 0$



4. Διάγραμμα καμπτικής ροπής

Τμήμα AB: $M(x) = 0$

Τμήμα ΒΓ: $M(x) = -794(x - 35) = -794x + 27.790 \text{ [N*mm]}$

$$M(x=35) = 0$$

$$M(x=62) = 21.438 \text{ [N*mm]}$$

Τμήμα ΓΔ: $M(x) = (-794x + 27.790) + 794 \times (x - 62)$

$$M(x) = -21.438 \text{ [N*mm]}$$

Τμήμα ΔΕ: $M(x) = -21.438 + 794(x - 106)$

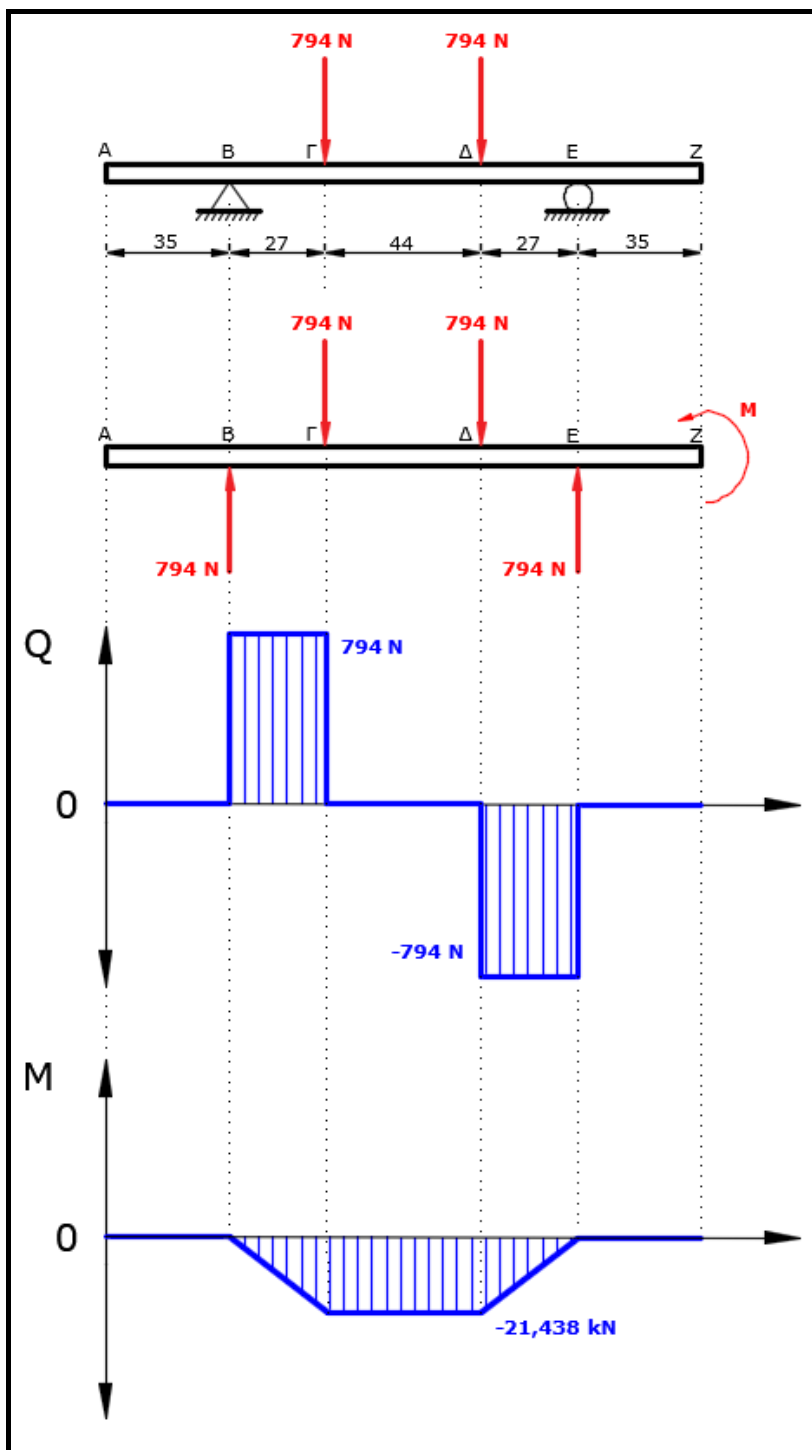
$$M(x) = +794x - 105.602 \text{ [N*mm]}$$

$$M(x=106) = -21.438 \text{ [N*mm]}$$

$$M(x=133) = 0$$

Τμήμα ΕΖ: $M(x) = (+794x - 105.602) - 794(x - 133)$

$$M(x) = 0$$



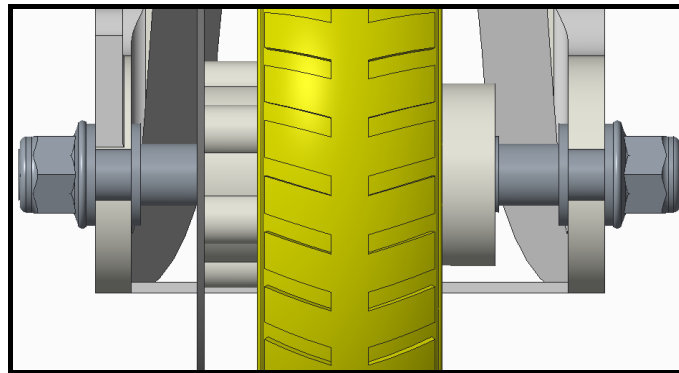
Σχήμα 7.7.2: Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών ατράκτου.

Q: τέμνουσες δυνάμεις

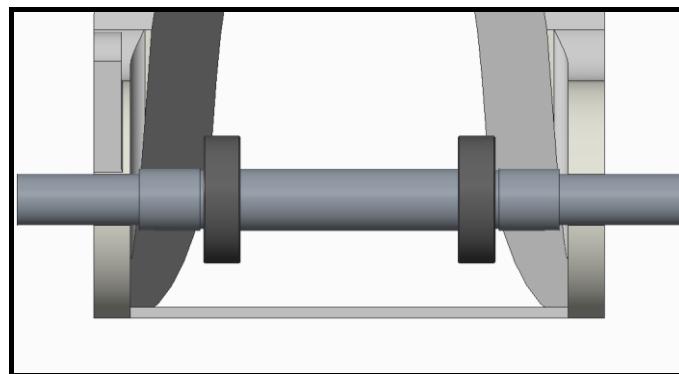
M: καμπτικές ροπές

Άξονας

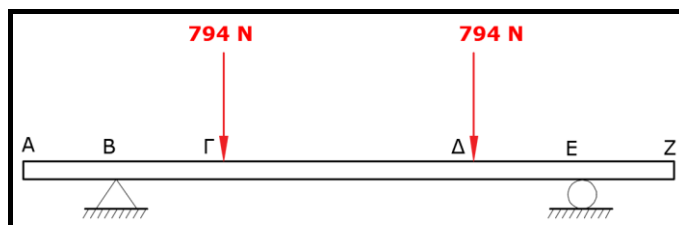
Ο άξονας δέχεται φορτία από το βάρος του αναβάτη που μεταφέρονται σε αυτόν μέσω των δοκών της πλατφόρμας και τα έδρανα. Τα σημεία όπου ο άξονας ενώνεται με τις δοκούς ορίζονται ως στηρίξεις και τα σημεία έδρασης των ρουλεμάν ως φορτία. Το κάθε έδρανο θα ασκεί στον άξονα το $\frac{1}{4}$ από το ολικό φορτίο που θα ασκείται στο πατίνι από το βάρος του αναβάτη και το βάρος του σκελετού του πατινιού. Όλα τα φορτία μελετώνται ως σημειακά και όχι ως κατανεμημένα.



(α)



(β)

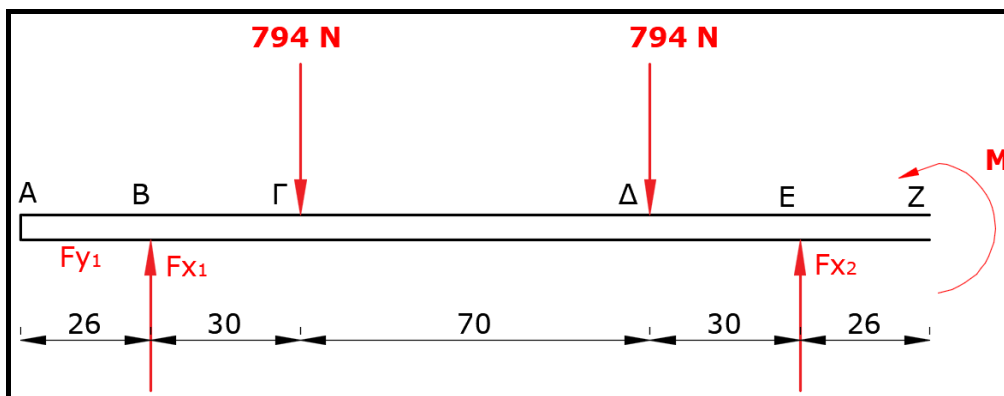


(γ)

Εικόνα 7.7.4: (α) Μπροστινός τροχός συναρμολογημένος, εικόνα από περιβάλλον λογισμικού *Creo 3.0 parametric*. (β) Ο άξονας μόνο με έδρανα και δοκούς συγκράτησης πλατφόρμας εικόνα από περιβάλλον λογισμικού *Creo 3.0 parametric*. (γ) Άτρακτος σαν δοκός με στηρίξεις και φορτία από τα έδρανα.



1. Διάγραμμα ελευθέρου σώματος



Σχήμα 7.7.3: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος με φορτία και αντιδράσεις στήριξης.

2. Αντιδράσεις στήριξης

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_{y1} = 0$$

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow F_{x1} + F_{x2} - 794 - 794 = 0$$
$$F_{x1} + F_{x2} = 1.588 \text{ [N]} \quad (\text{σχέση 1})$$

Εφόσον οι δυνάμεις και οι αντιδράσεις δρουν συμμετρικά:

$$F_{x1} = F_{x2}$$
$$F_{x1} = F_{x2} = 1588/2 \text{ [N]}$$
$$F_{x1} = F_{x2} = 794 \text{ [N]}$$

Επαλήθευση:

$$\Sigma M_E = 0 \Rightarrow F_{x1} \times (30+70+30) - 794 \times (70+30) - 794 \times 30 \Rightarrow$$
$$130 \times F_{x1} = 79.400 + 23.820 \Rightarrow$$
$$F_{x1} = 103.220 / 130 \Rightarrow$$
$$F_{x1} = 794 \text{ [N]}$$



Από τη σχέση 1:

$$794 + Fx_2 = 1.588 [N] \Rightarrow$$

$$Fx_2 = 1.588 - 794 \Rightarrow$$

$$Fx_2 = 794 [N]$$

3. Διάγραμμα τέμνουσων δυνάμεων

Τμήμα AB: $Q(x) = 0$

Τμήμα ΒΓ: $Q(x) = 794 [N]$

Τμήμα ΓΔ: $Q(x) = 794 - 794 = 0$

Τμήμα ΔΕ: $Q(x) = 794 - 794 - 794 = -794 [N]$

Τμήμα ΕΖ: $Q(x) = 794 - 794 - 794 + 794 = 0$

4. Διάγραμμα καμπτικής ροπής

Τμήμα AB: $M(x) = 0$

Τμήμα ΒΓ: $M(x) = -794(x - 26) = -794x + 20.644 [N*mm]$

$$M(x=26) = 0$$

$$M(x=56) = -23.820 [N*mm]$$

Τμήμα ΓΔ: $M(x) = (-794x + 20.644) + 794 \times (x - 56)$

$$M(x) = -23.820 [N*mm]$$

Τμήμα ΔΕ: $M(x) = -23.820 + 794(x - 126)$

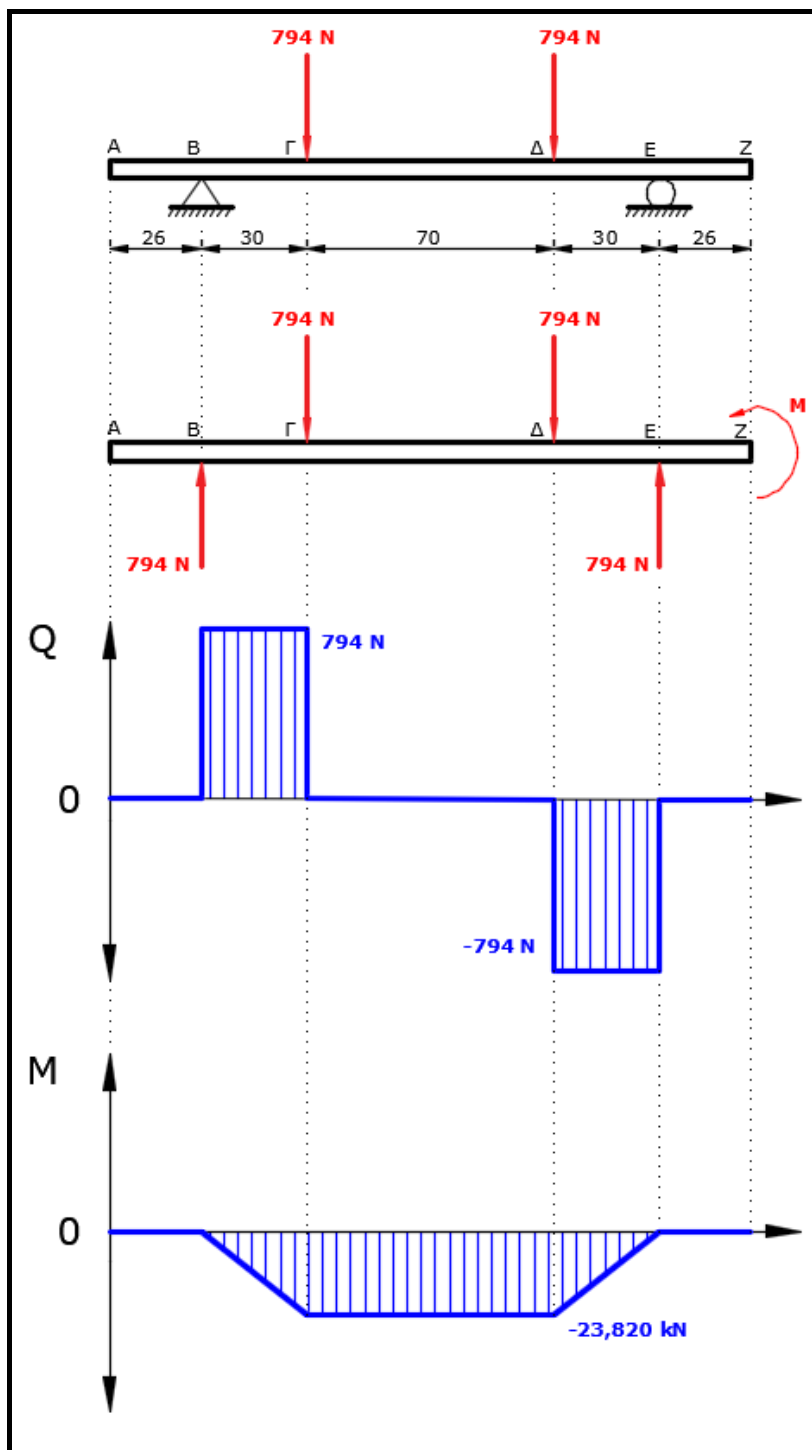
$$M(x) = +794x - 123.864 [N*mm]$$

$$M(x=126) = -23.820 [N*mm]$$

$$M(x=156) = 0$$

Τμήμα ΕΖ: $M(x) = (+794x - 123.864) - 794(x - 156)$

$$M(x) = 0$$



Σχήμα 7.7.4: Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών άξονα.

Q: τέμνουσες δυνάμεις

M: καμπτικές ροπές



Οι δυνάμεις που υπολογίστηκαν για τον άξονα χρησιμοποιήθηκαν για να μελετηθεί η αντοχή του άξονα και για την επιλογή τελικής διατομής.

Τύπος για **τάση κάμψης** (Στεργίου & Στεργίου, 2003):

$$\sigma_b [N/mm^2] = M_b / W_b$$

M_b : ροπή κάμψης σε επικίνδυνη διατομή σε Nmm

W_b : ροπή αντίστασης έναντι κάμψης στην επικίνδυνη διατομή σε mm^3 για πλήρης άξονες $W_b \approx 0.1 \times d^3$

σ_b : επιτρεπόμενη τάση κάμψης σε N/mm^2 (πίνακας 7.4.1.1)

Δεδομένα (για $d=17mm$):

M_b : 23.830 [Nmm]

W_b : 491.3 [mm^3]

σ_b : 110 [N/mm^2]

(Για $d=17mm$)

$$\sigma_b = 23.830 / 491.3 \Rightarrow$$

$$\underline{\sigma_b = 48.48 [N/mm^2]}$$

Εφόσον η τιμή που βρέθηκε ήταν αρκετά μικρή επιλέχθηκε η αμέσως μικρότερη διάμετρος άξονα =**15mm** σύμφωνα με τον περιορισμό επιλογής διαμέτρου που έχει ειπωθεί σε προηγούμενη ενότητα. Παρόλο που και με αυτή τη διάμετρο ο άξονας άντεχε τα φορτία δεν επιλέχθηκε διότι το έδρανο για αυτή τη διατομή δε ανταπεξέρχεται στις απαιτούμενες ώρες λειτουργίας (χρόνο ζωής) των εδράνων παραμόνο εάν γινόταν επιλογή **πιο ακριβού εδράνου**. Για αυτό η διάμετρος του άξονα παρέμεινε =**17mm**.



7.8. Χρόνος ζωής εδράνων

Έδρανα ατράκτου και άξονα

Τύπος για έλεγχο διάρκειας ζωής των εδράνων για 90% αξιοπιστία, (Στεργίου & Στεργίου, 2003).

$$L_{10} = (C/P)^p \quad (\text{σχέση 1})$$

$$L_{10} = (L_{10h} \times 60 \times n) / 10^6 \quad (\text{σχέση 2})$$

C: δυναμικό φορτίο του εδράνου σε N ή kN (από καταλόγους ρουλεμάν)

P: πραγματικό φορτίο στο έδρανο (ακτινικό P_r ή αξονικό P_a ή ισοδύναμο) σε N ή kN

L_{10} : διάρκεια ζωής σε εκατομμύρια στροφές

L_{10h} : διάρκεια ζωής σε ώρες

p: $p = 3$ για σφαιρικά, $p = 10/3$ για κυλινδρικά και βελονοειδή έδρανα

n: στροφές ανά λεπτό (RPM)

Το πραγματικό φορτίο P είναι το 1/4 του ολικού βάρους αναβάτη και πατινιού εφόσον τα έδρανα θα είναι 4, τα 2 στην άτρακτο και τα άλλα 2 στον άξονα. Τα έδρανα ατράκτου και άξονα θα δέχονται τις ίδιες θεωρητικά δυνάμεις, άρα το L_{10} θα υπολογιστεί μία φορά από τη σχέση 2. Η θεωρητική ή συνήθης διάρκεια ζωής για έδρανα σε πεδίο εφαρμογής μικρών κινητήρων μέχρι 4kW είναι από 8000 έως 10000 ώρες λειτουργίας, (Στεργίου & Στεργίου, 2003).

Δεδομένα:

$P = 0.795$ [kN] (λήφθηκαν υπόψη, συντελεστής ασφαλείας = 2, συντελεστής κρουστικών τάσεων = 1.35)

$n = 890$ [RPM]

$L_{10h} = 8000$ ώρες λειτουργίας

Από τη σχέση 2, (Στεργίου & Στεργίου, 2003):

$$L_{10} = (8000 \times 60 \times 890) / 10^6$$

$$\underline{L_{10} = 427 \text{ [εκατομμύρια στροφές]}}$$

Μετά από τον υπολογισμό του L_{10} και από τη σχέση 1 βρίσκεται το απαιτούμενο C που πρέπει να έχει το έδρανο.

Μετατροπή της σχέσης 1:

$$L_{10} = (C/P)^p \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_{10}^{1/p} \times P = C$$



Το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο αντοχής εδράνου σε δυναμικό φορτίο είναι:

$$C = 427^{1/3} \times 0.795$$

$$C = 5.98 [kN]$$

Τα έδρανα της ατράκτου έχουν αντοχή $C = 7.28$ (από κατάλογο SKF)

Τα έδρανα του άξονα έχουν αντοχή $C = 6.37$ (από κατάλογο SKF) άρα τα έδρανα αντέχουν για τις επιλεγμένες ώρες λειτουργίας. Εάν επιλέγονταν έδρανα σειράς διαμέτρου **15mm** που έχουν αντοχή $C = 5.85$ δε θα άντεχαν τα έδρανα στις επιθυμητές ώρες λειτουργίας.

Έδρανα στελέχους

Ουσιαστικά το ένα έδρανο θα δέχεται το μεγαλύτερο φορτίο, το έδρανο που είναι στο κατώτερο σημείο. Αυτό το έδρανο θα δέχεται το μισό φορτίο από το βάρος αναβάτη-πατινιού. Επειδή όμως το τιμόνι θα γυρίζει λίγο δεν θα είναι ολόκληρη περιστροφή γύρω από τον άξονα του, το έδρανο θα εξεταστεί σε στατικά φορτία μόνο.

Τύπος για έδρανα που φορτίζονται μόνο αξονικά, (Στεργίου & Στεργίου, 2003):

$$P_o = Y_o \times F_{ao}$$

P_o : ισοδύναμο στατικό φορτίο σε N ή kN

F_{ao} : στατικό αξονικό φορτίο σε N ή kN

Y_o : αξονικός στατικός συντελεστής (από καταλόγους ρουλιών)

Δεδομένα:

F_{ao} : 1,59 [kN] (λήφθηκαν υπόψη, συντελεστής ασφαλείας = 2, συντελεστής κρουστικών τάσεων = 1.35)

Y_o : 0.26

Άρα:

$$P_o = 0.26 \times 1.59$$

$$\underline{P_o = 0.413 [kN]}$$

Σύμφωνα με (Στεργίου & Στεργίου, 2003) λαμβάνοντας υπόψη ένα συντελεστή ασφαλείας που εξαρτάται από τις συνθήκες λειτουργίας, το απαιτούμενο στατικό φορτίο C_o θα είναι:

$$C_o = P_o \times f_s$$

f_s : συντελεστής ασφαλείας. Για λειτουργία με κρούσεις και κραδασμούς και υψηλές απαιτήσεις ακριβείας.



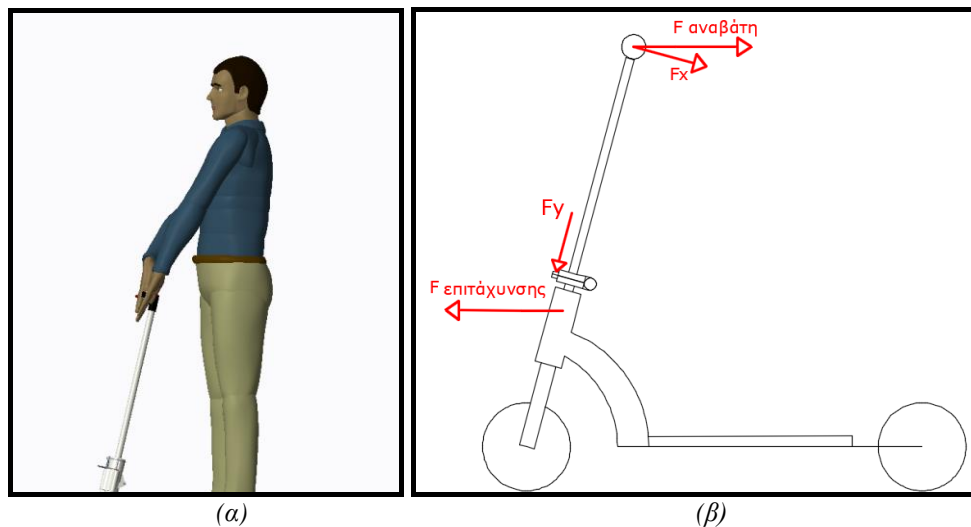
Αλλά εφόσον η δύναμη που F_{ω} έχει υπολογιστεί λαμβάνοντας ήδη μεγαλύτερους συντελεστές από το f_s , για αυτό ο συντελεστής f_s αγνοείται. Δηλαδή αυτό είναι το ελάχιστο απαιτούμενο όριο αντοχής σε φορτίο αξονικής τάσης του ρουλεμάν:

$$C_o = P_o$$

Η **αντοχή για το έδρανο γωνιώδους επαφής** είναι $C_o = 9.5$ [kN], άρα το έδρανο αντέχει τις φορτίσεις.

7.9. Φορτία στο μηχανισμό αναδίπλωσης

Κατά την επιτάχυνση του πατινιού ο αναβάτης για να παραμείνει στο πατίνι και να μην πέσει πίσω λόγω της αδράνειας του σώματός του μπορεί να βάλει τα πόδια του με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να προβάλει ίση και αντίθετη δύναμη προς το πατίνι. Αυτή η αντίδραση όμως όσο αποτελεσματική κι αν είναι δεν είναι η μοναδική. Ο αναβάτης αντιδράει με μία ακόμα κίνηση, τραβώντας το τιμόνι προς τα πίσω. Αυτή η αντίδραση δημιουργεί ροπή στρέψης στο μηχανισμό προς τη μεριά που κλείνει, η μόνη ροπή που την αντισταθμίζει ($\Sigma M=0$) είναι η δύναμη σύμπλεξης του μηχανισμού αναδίπλωσης (τριπλός πίσος).



Εικόνα 7.9.1: (α) Εικονικός άνθρωπος που στέκεται επάνω στο πατίνι, από περιβάλλον σχεδιασμού Creo 3.0 parametric. (β) Αναπαράσταση δυνάμεων που ασκούνται στο πατίνι από τον οδηγό κατά την εκκίνηση.

Ο κινητήρας έχει υπολογιστεί να έχει συγκεκριμένη ισχύ για συγκεκριμένη απαιτούμενη επιτάχυνση και βάρος αναβάτη. Με αυτά τα δεδομένα υπολογίστηκε η δύναμη που θα ασκεί ο κινητήρας στο σύνολο πατίνι-αναβάτη για να κινηθούν με επιτάχυνση 1.54 m/s^2 . Ο αναβάτης για να παραμείνει πάνω στο πατίνι χρησιμοποιεί κυρίως τη δύναμη της τριβής που δημιουργείται μεταξύ της σόλας των παπουτσιών και της πλατφόρμας του πατινιού. Όμως για λόγους ασφαλείας μελετάται αν αυτή η δύναμη είναι η μισή της απαιτούμενης για να παραμείνει πάνω στο πατίνι και η υπόλοιπη είναι αυτή που ασκεί στο τιμόνι, αν αντέχει ο μηχανισμός στα φορτία που θα αναπτυχθούν.

Η δύναμη που ασκείται για να κινηθεί το πατίνι λαμβάνεται υπόψη και γίνεται:

$$F_{av} [N] = (- F_{\varepsilon\pi} + F_{\pi}) / 2$$

F_{av} : δύναμη που ασκεί ο αναβάτης στο τιμόνι, αντίθετης φοράς προς τη δύναμη του κινητήρα

$F_{\varepsilon\pi}$: δύναμη κινητήρα

F_{π} : απαιτούμενη δύναμη για να κινηθεί μόνο το πατίνι, αντίθετης φοράς προς τη δύναμη του κινητήρα

Όπου:



$$F_{\pi} [N] = m * \alpha$$

m : μάζα πατινιού [kg]

a : επιτάχυνση πατινιού [m/s²]

Βρίσκεται η δύναμη F_{π} :

$$20 * 1.54 = 30.8 [N]$$

Βρίσκεται η δύναμη F_{av} :

$$(-184.8 + 30.8) / 2 = 77 [N]$$

Για να μελετηθεί η αντοχή του μηχανισμού, πρέπει να βρεθεί συνιστώσα της δύναμης που ασκεί ο αναβάτης στο τιμόνι, η συνιστώσα της δύναμης κάθετα στον πίρο που επιτρέπει τη περιστροφή του στελέχους στο άνοιγμα και το κλείσιμο του μηχανισμού. Η γωνία μεταξύ των F_{av} και F_x είναι ίση με τη γωνία που αφαιρέθηκε από την ορθή γωνία του σωλήνα κεφαλής και πλατφόρμας.

$$\text{Γωνία } \beta = 90^{\circ} - 80^{\circ} = 10^{\circ}$$

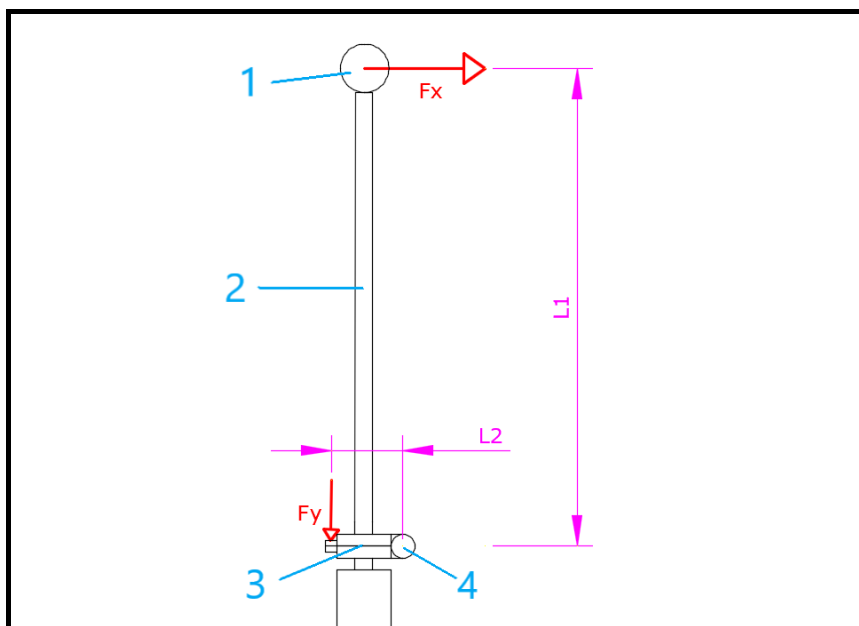
Βρίσκεται η F_x :

$$F_{av} * \cos(\beta) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 77 * \cos(10) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{F_x = 75.83 [N]}$$

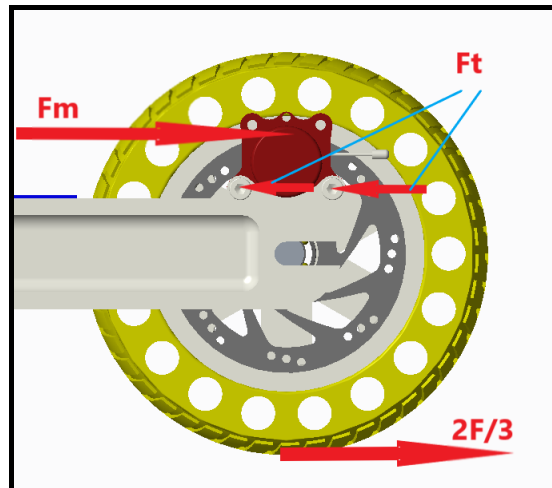
Η δύναμη αυτή δημιουργεί τη ροπή στρέψης του στελέχους, ως προς τον πίρο που συγκρατεί το 2 κομμάτια του μηχανισμού αναδίπλωσης. Άρα για να ισχύει $\Sigma M_{\pi} = 0$, πρέπει η ροπή ροπής στρέψης που ασκεί ο μηχανισμός να είναι ίση και αντίθετη της ροπής που ασκεί η F_x , ως προς τον πίρο που συγκρατεί το 2 κομμάτια του μηχανισμού αναδίπλωσης.



Σχήμα 7.9.1: Διάγραμμα μηχανισμού αναδίπλωσης.
1) τιμόνι
2) στέλεχος
3) μηχανισμός αναδίπλωσης
4) πείρος συγκράτησης (πείρος περιστροφής)

7.10. Φορτία στο μηχανισμό φρένου

Το φορτίο που ασκείται στο πατίνι κατά την πέδηση που υπολογίστηκε σε προηγούμενη ενότητα ασκείται όταν χρησιμοποιούνται και τα δύο φρένα. Η δύναμη που θα ασκείται στο μηχανισμό θα είναι λίγο μεγαλύτερη από το μισό της δύναμης πέδησης διότι το δισκόφρενο είναι πιο αποτελεσματικό σαν φρένο από το ηλεκτρικό άρα θα ασκεί μεγαλύτερη δύναμη πέδησης. Λόγω του ότι δε γίνεται να βρεθεί αυτή η δύναμη θα υποθεθεί ότι ασκεί δύναμη ίση με τα $2/3$ της δύναμης πέδησης.



Σχήμα 7.10.1: Διάγραμμα δυνάμεων στο μηχανισμό πέδησης.

Η δύναμη που θα αντιστέκεται στη δύναμη $2F/3$ θα είναι η δύναμη F_m του μηχανισμού πέδησης. Η δύναμη F_m θα δημιουργεί ροπής στρέψης ίση και αντίστροφη της δύναμης $2F/3$ ($F = 416$ [N]), άρα θα χρειαστεί η απόσταση της $2F/3$ από τον άξονα και η απόσταση F_m από τον άξονα περιστροφής του τροχού. Οι δυνάμεις F_i είναι το ζητούμενο, όπου $F_m = 2F_i$. Η απόσταση της $2F/3$ είναι με την ακτίνα του τροχού, $0.12m$. Η απόσταση της F_m είναι ίση με την ακτίνα του δίσκου των φρένων, $0.07m$.

Σχέση:

$$2F/3 \times 0.12 = F_m \times 0.07 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_m = (F \times 2/3 \times 0.12) / 0.07 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_m = (416 \times 2/3 \times 0.12) / 0.07 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_m = 33.28 / 0.07 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \underline{F_m = 475.42 \text{ [N]}}$$



8. Διαμόρφωση εξαρτημάτων πατινιού

8.1. Δομή διαμόρφωσης

Όπως έχει ειπωθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο ο σχεδιασμός ξεκίνησε από κάτω προς τα πάνω. Τα πρώτα στοιχεία που σχεδιάστηκαν είναι οι τροχοί και η πλατφόρμα, ο μπροστά τροχός σχεδιάστηκε με τις ίδιες διαστάσεις ζάντας ενός άλλου πατινιού, ο λόγος εξηγείται παρακάτω. Μετά και αφού βρέθηκαν οι τελικές διαστάσεις της πλατφόρμας και εξετάστηκε η αντοχή της σε φορτία με ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, έγινε επιλογή εδράνων του σωλήνα κεφαλής που συγκρατεί το στέλεχος τιμονιού και το στέλεχος του τροχού, επίσης έγινε επιλογή εδράνων των ατράκτων που εφαρμόζουν οι τροχοί.

Ακολούθησε ο σχεδιασμός τη βάσης της μπαταρίας μετά που εξετάστηκε η απαιτούμενη χωρητικότητα της και ο όγκος της. Για να είναι ξεκάθαρος ο όγκος που απαιτείται για να μπορεί να χωρέσει εντός της πλατφόρμας. Το μέγεθος της μπαταρίας όρισε την τελική διαμόρφωση της πλατφόρμας.

Μετά βρέθηκαν και εξετάστηκαν κάποιες βελτιώσεις στη μορφολογία του σκελετού για καλύτερη συμπεριφορά του οχήματος σε εμπόδια και για μεγαλύτερη ασφάλεια του αναβάτη.

Ο μηχανισμός αναδίπλωσης που έχει βρεθεί η μορφολογία του σε προηγούμενο κεφάλαιο αλλά η τελική γεωμετρία βρίσκεται μετά από το έδρανο που έχει τυποποιημένες διαστάσεις. Μετά ακολουθεί η διαμόρφωση του στελέχους και του τιμονιού. Στο τέλος διαμορφώνονται τα περιφερειακά συστήματα όπως τα φώτα η καλωδίωση και η διαμόρφωση της βάσης που φέρει τη μπαταρία και το μικροελεγκτή.



8.2. Κινητήρας BLDC

8.2.1. Ανατομία ηλεκτρικών κινητήρων

Αρχικά να γίνει ξεκάθαρο από τι αποτελείται ένα ηλεκτρικός κινητήρας και έπειτα γίνεται ο σχεδιασμός του.

Στροφέιο ή ρότορας

Σε έναν ηλεκτροκινητήρα, το κινούμενο μέρος είναι ο ρότορας, ο οποίος περιστρέφει τον άξονα για να παραδώσει τη μηχανική ισχύ. Ο ρότορας συνήθως έχει αγωγούς που φέρουν ρεύματα, τα οποία αλληλεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο του στάτορα για τη δημιουργία των δυνάμεων που περιστρέφουν τον άξονα. Εναλλακτικά, ορισμένοι ρότορες φέρουν μόνιμους μαγνήτες και ο στάτορας κρατά τους αγωγούς.



Εικόνα 8.2.1.1:

Επιλογές διαφόρων στροφείων κινητήρα στο εργαστήριο του Ινστιτούτου Εκπαίδευσης Χημικών Βιομηχανιών, Palash, Narshingdi. Εικόνα από Wikimedia Commons¹⁴.

Μηχανική κατασκευή

Κανένα ρεύμα δεν τροφοδοτείται, ούτε προκαλείται, στους ρότορες που είναι κατασκευασμένοι από μόνιμους μαγνήτες ή σίδηρο και που σύρονται γύρω από το περιστρεφόμενο πεδίο. Χωρίς ρεύματα στους ρότορες αυτές οι μηχανές δεν έχουν απώλειες I^2R . Χωρίς τους μηχανικούς μετατροπείς ηλεκτρικού ρεύματος και τις περιελίξεις του ρότορα, οι κινητήρες έχουν χαμηλή αδράνεια ρότορα που επιτρέπει πολύ υψηλότερες ταχύτητες και με την εξάλειψη αυτού του μηχανικού διακόπτη υψηλού ρεύματος, εξαλείφεται επίσης την πηγή σπινθήρων και RFI. Οι περιελίξεις στάτη είναι, εύκολες στην κατασκευή και εγκατάσταση, περιελίξεις μασούρι.

¹⁴ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Various_motor_rotor_TICI.jpg



Επειδή όλα τα κυκλώματα παραγωγής θερμότητας βρίσκονται στο στάτορα, ο έλεγχος της απαγωγής θερμότητας είναι ευκολότερος και επιτυγχάνονται επίσης υψηλότερα ρεύματα και ισχύς κινητήρα. Ορισμένοι κινητήρες χωρίς ψήκτρες παρέχονται με τα ηλεκτρονικά στοιχεία ελέγχου ενσωματωμένα στο σώμα του κινητήρα.

Μετατροπέας

Ο μετατροπέας είναι ένας περιστροφικός ηλεκτρικός διακόπτης σε ορισμένους τύπους ηλεκτρικών κινητήρων και ηλεκτρικών γεννητριών που αντιστρέφει περιοδικά την τρέχουσα κατεύθυνση ρεύματος μεταξύ του ρότορα και του εξωτερικού κυκλώματος. Αποτελείται από έναν κύλινδρο που αποτελείται από πολλαπλά μεταλλικά τμήματα επαφής στον περιστρεφόμενο οπλισμό του μηχανήματος. Οι περιελίξεις (πηνία σύρματος) στον οπλισμό συνδέονται με τα τμήματα του μετατροπέα.

Ο μετατροπέας αποτελείται από ένα σετ ράβδων επαφής στερεωμένο στον περιστρεφόμενο άξονα μιας μηχανής και συνδεδεμένο με τις περιελίξεις οπλισμού. Καθώς ο άξονας περιστρέφεται, ο μετατροπέας αντιστρέφει τη ροή του ρεύματος σε μια περιέλιξη. Για μια περιέλιξη με έναν οπλισμό, όταν ο άξονας έχει κάνει τη μισή πλήρη στροφή, η περιέλιξη είναι τώρα συνδεδεμένη έτσι ώστε το ρεύμα να ρέει μέσω αυτού στην αντίθετη από την αρχική κατεύθυνση.

Σε έναν κινητήρα, το ρεύμα οπλισμού προκαλεί το σταθερό μαγνητικό πεδίο να ασκήσει μια περιστροφική δύναμη, ή μια ροπή, στην περιέλιξη για να το κάνει να γυρίσει. Σε μια γεννήτρια, η μηχανική ροπή που εφαρμόζεται στον άξονα διατηρεί την κίνηση του οπλισμού που τυλίγεται μέσω του σταθερού μαγνητικού πεδίου, προκαλώντας ένα ρεύμα στην περιέλιξη. Και στην περίπτωση του κινητήρα και της γεννήτριας, ο μετατροπέας αντιστρέφει περιοδικά την κατεύθυνση της ροής ρεύματος μέσω της περιέλιξης, έτσι ώστε η ροή ρεύματος στο κύκλωμα έξω από το μηχανήμα να συνεχίζεται σε μία μόνο κατεύθυνση.

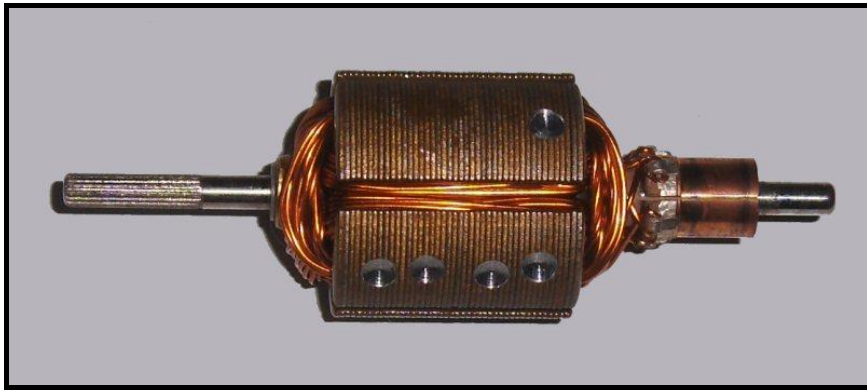
Οπλισμός

Στην ηλεκτρολογία, ο οπλισμός είναι το στοιχείο μιας ηλεκτρικής μηχανής που φέρει εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι περιελίξεις οπλισμού μεταφέρουν εναλλασσόμενο ρεύμα ακόμη και σε μηχανήματα DC, λόγω της μετακίνησης (η οποία αντιστρέφει περιοδικά την κατεύθυνση ρεύματος) ή λόγω ηλεκτρονικής μετακίνησης, όπως σε κινητήρες DC χωρίς ψήκτρες. Ο οπλισμός μπορεί να βρίσκεται είτε στον ρότορα (περιστρεφόμενο μέρος) είτε στον στάτορα (στάσιμο μέρος), ανάλογα με τον τύπο της ηλεκτρικής μηχανής.

Οι περιελίξεις οπλισμού αλληλεπιδρούν με το μαγνητικό πεδίο (μαγνητική ροή) στο διάκενο αέρα. Το μαγνητικό πεδίο παράγεται είτε από μόνιμους μαγνήτες είτε από ηλεκτρομαγνήτες που σχηματίζονται από ένα αγωγικό πηνίο. Ο οπλισμός πρέπει να φέρει ρεύμα, επομένως είναι πάντα ένας αγωγός ή ένα αγωγικό πηνίο, προσανατολισμένο κανονικά τόσο στο πεδίο όσο και στην κατεύθυνση κίνησης, ροπής (περιστρεφόμενη μηχανή) ή δύναμης (γραμμική μηχανή). Ο ρόλος του οπλισμού είναι διττός. Ο πρώτος είναι να μεταφέρει ρεύμα σε όλο το πεδίο, δημιουργώντας έτσι ροπή άξονα σε περιστρεφόμενη μηχανή ή δύναμη σε γραμμική μηχανή. Ο δεύτερος ρόλος είναι να δημιουργηθεί μια ηλεκτροκινητική δύναμη (EMF).



Στο σπλισμό, μια ηλεκτροκινητική δύναμη δημιουργείται από τη σχετική κίνηση του σπλισμού και του πεδίου. Όταν το μηχάνημα ή ο κινητήρας χρησιμοποιείται ως κινητήρας, αυτό το EMF αντιτίθεται στο ρεύμα σπλισμού και ο σπλισμός μετατρέπει την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική ισχύ με τη μορφή ροπής και τη μεταφέρει μέσω του άξονα. Όταν το μηχάνημα χρησιμοποιείται ως γεννήτρια, ο σπλισμός EMF οδηγεί το ρεύμα σπλισμού και η κίνηση του άξονα μετατρέπεται σε ηλεκτρική ισχύ. Σε μια γεννήτρια επαγωγής, η παραγόμενη ισχύς αντλείται από τον στάτορα.



Εικόνα 8.2.1.2:

Ένας ρότορας από έναν μικρό κινητήρα ανεμιστήρα DC. Στο κέντρο είναι το τύλιγμα του σπλισμού, τυλιγμένο στο χάλυβα μαγνητικό σπλισμό. Ο σπλισμός του κινητήρα έχει 6 πόλους. Στα δεξιά βρίσκεται ο μεταγωγέας που παρέχει ρεύμα για τις περιελίξεις. Οι μικρές οπές στο εξωτερικό του σπλισμού είναι για μηχανική εξισορρόπηση, εικόνα από Wikimedia Commons¹⁵.

Ρουλεμάν

Ο ρότορας υποστηρίζεται από ρουλεμάν, τα οποία επιτρέπουν στον ρότορα να ενεργοποιήσει τον άξονα του. Τα ρουλεμάν στηρίζονται στη συνέχεια από το περίβλημα του κινητήρα. Ο άξονας του κινητήρα εκτείνεται μέσω των ρουλεμάν στο εξωτερικό του κινητήρα, όπου εφαρμόζεται το φορτίο. Επειδή οι δυνάμεις του φορτίου ασκούνται πέρα από το εξώτατο ρουλεμάν, το φορτίο λέγεται ότι προεξέχει.

¹⁵ Ρότορας: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dc_armature.jpg



Εικόνα 8.2.1.3: Ένσφαιρο ρουλεμάν, εικόνα από Wikimedia Commons¹⁶

Οι μαγνήτες

Ανάλογα με το μέγεθος του κινητήρα, οι μαγνήτες μπορούν να τοποθετηθούν ως μαγνήτης πλήρους δακτυλίου, ως ακτίνες, ή ενσωματωμένοι στον πυρήνα του ρότορα. Οι προτιμώμενοι μαγνήτες κατασκευάζονται από το στοιχείο σπάνιων γαιών Neodymium σε κράμα με σίδηρο και βόριο για την παραγωγή των ισχυρότερων μόνιμων μαγνητών που διατίθενται σήμερα. (Οι περισσότερες από τις παγκοσμίως γνωστές προμήθειες Neodymium βρίσκονται στην Κίνα). Ένα μειονέκτημα των μηχανών μόνιμου μαγνήτη είναι ότι οι μαγνήτες είναι ευαίσθητοι σε επιπλοκές υψηλής θερμοκρασίας και απώλεια μαγνητισμού πάνω από τη θερμοκρασία Curie¹⁷.

Στάτωρ ή στάτης

Ο στάτης είναι το σταθερό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού κυκλώματος του κινητήρα και συνήθως αποτελείται είτε από περιελίξεις είτε από μόνιμους μαγνήτες. Ο πυρήνας του στάτορα αποτελείται από πολλά λεπτά μεταλλικά φύλλα, που ονομάζονται πλαστικοποιήσεις. Οι πλαστικοποιήσεις χρησιμοποιούνται για τη μείωση των απωλειών ενέργειας που θα προκύψουν εάν χρησιμοποιήθηκε ένας συμπαγής πυρήνας. Οι κινητήρες με ρητίνη, που χρησιμοποιούνται σε πλυντήρια και κλιματιστικά, χρησιμοποιούν τις ιδιότητες απόσβεσης της ρητίνης (πλαστικό) για τη μείωση του θορύβου και των κραδασμών.

¹⁶ Ένσφαιρο ρουλεμάν: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ball_Bearing2.jpg

¹⁷ Θερμοκρασία Curie: η θερμοκρασία πάνω από την οποία ένας σιδηρομαγνήτης και ορισμένα άλλα υλικά υφίστανται απότομη αλλαγή στις μαγνητικές τους ιδιότητες χάνοντας την ικανότητά τους να κατέχουν καθαρό αυθόρμητο ή απομακρυσμένο μαγνητισμό απουσία εξωτερικού μαγνητικού πεδίου.



Εικόνα 8.2.1.4: Στάτωρ κινητήρα DC χωρίς ψήκτρες από ανεμιστήρα ψύξης υπολογιστή. Εικόνα από Wikimedia Commons¹⁸.

Κενό αέρα

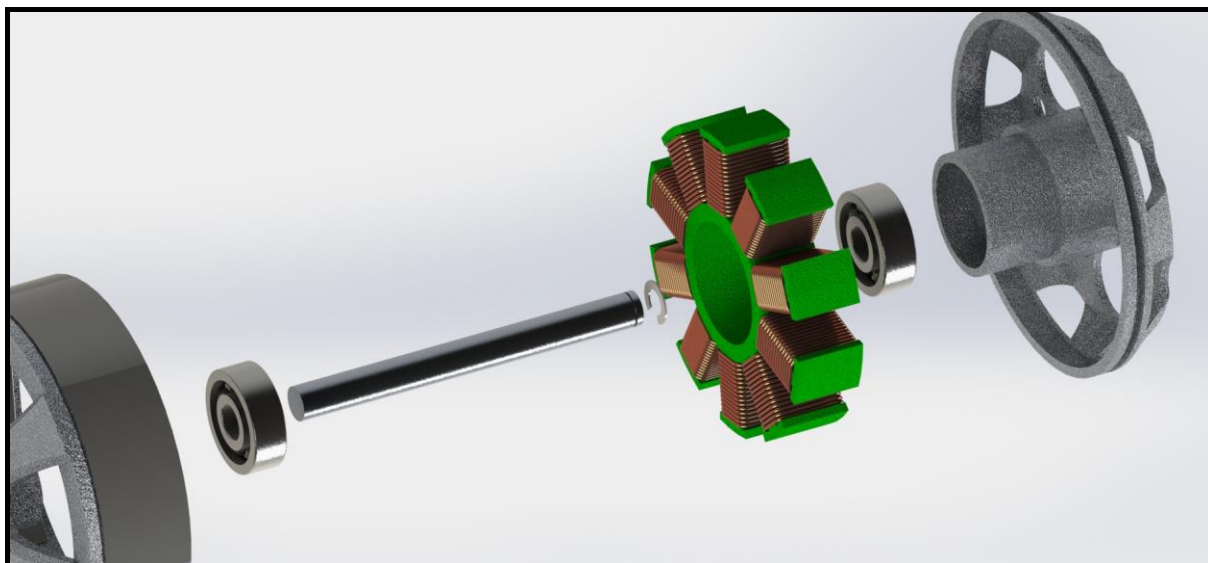
Η απόσταση μεταξύ του ρότορα και του στάτορα ονομάζεται διάκενο αέρα. Το διάκενο αέρα έχει σημαντικά αποτελέσματα και είναι γενικά όσο το δυνατόν μικρότερο, καθώς ένα μεγάλο κενό έχει ισχυρή αρνητική επίδραση στην απόδοση. Είναι η κύρια πηγή του συντελεστή χαμηλής ισχύος στον οποίο λειτουργούν οι κινητήρες. Το μαγνητικό ρεύμα αυξάνεται με το κενό αέρα. Για το λόγο αυτό, το κενό αέρα πρέπει να είναι ελάχιστο. Πολύ μικρά κενά μπορεί να δημιουργήσουν μηχανικά προβλήματα εκτός από θόρυβο και απώλειες ισχύος.

Τύλιγμα

Οι περιελίξεις είναι σύρματα που τοποθετούνται σε σπείρες, συνήθως τυλιγμένα γύρω από έναν μαγνητικό πυρήνα από μαλακό στρωματοποιημένο σίδηρο έτσι ώστε να σχηματίζουν μαγνητικούς πόλους όταν ενεργοποιούνται με ρεύμα. Οι ηλεκτρικές μηχανές διατίθενται σε δύο βασικές διαμορφώσεις πόλων μαγνητικού πεδίου: διαμορφώσεις πόλου και μη-πολωνικού. Στη μηχανή με πόλο προεξοχής, το μαγνητικό πεδίο του πόλου παράγεται από μια περιέλιξη γύρω από τον πόλο κάτω από την επιφάνεια του πόλου.

Στο πόλο χωρίς προεξοχή, ή στο καταναμημένο πεδίο, ή στο στρογγυλό ρότορα, η περιέλιξη κατανέμεται σε υποδοχές πρόσωσης πόλου. Ορισμένοι κινητήρες έχουν αγωγούς που αποτελούνται από παχύτερο μέταλλο, όπως ράβδους ή φύλλα μετάλλου, συνήθως χαλκό, εναλλακτικά αλουμίνιο. Αυτά τροφοδοτούνται συνήθως από ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

¹⁸ Στάτης: [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Various_Electronic_Components_\(14292852079\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Various_Electronic_Components_(14292852079).jpg)



Εικόνα 8.2.1.5: *Κινητήρας BLDC σε αποσυναρμολόγηση, εικόνα από GrabCAD Community¹⁹.*

¹⁹ Κινητήρας BLDC: <https://grabcad.com/library/brushless-dc-motor-4>, σχέδιο από Raian Nur Islam.



8.2.2. Διαστάσεις και μορφή του κινητήρα BLDC

Εφόσον προσδιορίστηκε η ισχύς εξόδου και τα άλλα χαρακτηριστικά του κινητήρα-τροχού άρχισε η διαδικασία σχεδιασμού του. Το βασικό για τη σχεδίαση του κινητήρα και των στοιχείων είναι οι διαστάσεις. Επειδή ο σχεδιασμός εκ νέου ενός κινητήρα με αυτά τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά που βρέθηκαν σε προηγούμενη ενότητα θα ήταν χρονοβόρος και πολύπλοκος, θεωρήθηκε φρόνιμο να γίνει επιλογή διαστάσεων ενός έτοιμου κινητήρα από αυτούς που κυκλοφορούν ήδη στην αγορά και λειτουργούν σε ηλεκτρικά πατίνια.

Τα ουσιαστικά δεδομένα για την επιλογή του κινητήρα-τροχού ήταν η ισχύς λειτουργίας και η εξωτερική διάμετρος ελαστικού και η μέγιστη ταχύτητα. Η ισχύς βρέθηκε να είναι 400 Watt, η απαιτούμενη εξωτερική διάμετρος ελαστικού είναι να είναι άνω των 20 cm και η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ίση με 25 km / ώρα.

Εκτός από το κινητήρα πολύ βασικό είναι να βρεθούν και οι διαστάσεις της ζάντας. Έχει σημασία και το είδος των ελαστικών που επιλέχθηκε για το σχεδιασμό αλλά τα περισσότερα μοντέλα δεν πωλούνται με ελαστικά τύπου κηρήθρας. Όμως υπάρχουν στην αγορά έτοιμα ελαστικά τύπου κηρήθρας συμβατά με κάποια μοντέλα e-scooter, δηλαδή μπορεί να ελεγχθεί και το αν για τα μοντέλα που θα βρίσκονταν να υπάρχει και η δυνατότητα να μπορούν να λειτουργήσουν με ελαστικά τύπου κηρήθρας χωρίς αλλαγή ζάντας.

Ο κινητήρας-τροχός που βρέθηκε να έχει όμοια χαρακτηριστικά με τα ζητούμενα ήταν του μοντέλου Segway Ninebot Max. Το συγκεκριμένο μοντέλο λειτουργεί με έναν κινητήρα τροχό που έχει ισχύ 350 Watt (δε ξεκαθαρίζεται κάπου αν είναι η ισχύς εξόδου η εισόδου), έχει εξωτερική διάμετρο τροχού ίση με 25,4 cm και έχει τελική ταχύτητα 28.7 km / ώρα. Ένα ακόμα θετικό του είναι ότι δέχεται ελαστικά τύπου κηρήθρας και είναι πιο εύκολο να σχεδιαστεί με όλα τα δεδομένα αυτά εκτός από το κινητήρα αλλά και η ζάντα του τροχού.

Όμως με εκτενή αναζήτηση βρέθηκε ότι οι κατασκευαστές δεν δίνουν περιγραφή και διαστάσεις του κινητήρα ούτε της ζάντας. Ενώ βρίσκεται ξεχωριστά ο γνήσιος τροχός του συγκεκριμένου μοντέλου στις περιγραφές του δεν αναφέρονται οι διαστάσεις του κινητήρα παρά μόνο της εξωτερικής διαμέτρου του ελαστικού. Αυτό οδήγησε στην απόφαση να βρεθεί η διάμετρος πρώτα της ζάντας η οποία ούτε αυτή είναι κάπου ξεκάθαρη η διάμετρος και το πάχος της εκτός της διαμόρφωσης της. Χάρη στις διαστάσεις του ελαστικού βρέθηκαν οι διαστάσεις της ζάντας για να αρχίσει ο σχεδιασμός του κινητήρα-τροχού.



Εικόνα 8.2.2.1:

Ελαστικό τύπου κηρήθρας και οι διαστάσεις του, συμβατό με το μοντέλο Segway Ninebot Max²⁰.

Παρόλα αυτά οι υπόλοιπες διαστάσεις που είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό της ζάντας αλλά και του κινητήρα που είναι και το πιο βασικό, δεν βρίσκονταν, έτσι αποφασίστηκε να βρεθεί ο κινητήρας και να μετρηθεί δια ζώσης. Οι διαστάσεις που χρειάζονται είναι μόνο η εσωτερική διάμετρος της ζάντας στην οποία θα εφαρμοστούν οι μαγνήτες, η εσωτερική διάμετρος του στάτορα και ο αριθμός των πόλων. Ουσιαστικά ο κινητήρας δε χρειάζεται να σχεδιαστεί με αυστηρότητα ως προς τις διαστάσεις διότι δεν είναι απαραίτητο.



Εικόνα 8.2.2.2:

Γνήσιο σετ κινητήρα BLDC, ζάντα και ελαστικό από μοντέλο Segway Ninebot Max.

²⁰ Ελαστικό τύπου κηρήθρας, ιστοσελίδα καταστήματος JOOM:
<https://www.joom.com/en/products/5e797738921a380101f998f9>



Στην εικόνα (8.2.2.2) φαίνεται ο γνήσιος κινητήρας που βρέθηκε για να μετρηθούν οι διαστάσεις του. Έχει βγει το ένα καπάκι για να βρεθούν τα εξαρτήματα και τα στοιχεία του, άξονας περιστροφής, πόλοι, σύνδεση τροφοδοσίας κ.α. Οι πόλοι μετρήθηκαν 27 και οι κοχλίες συγκράτησης των προστατευτικών καπακιών μετρήθηκαν 7.

Στοιχείο κινητήρα τροχού	Διαστάσεις
Εσωτερική διάμετρος ζάντας	92 mm
Πάχος μαγνητών	2.5 mm
Κενό αέρος	1 mm
Εξωτερική διάμετρος κυλίνδρου των πόλων	58 mm
Εσωτερική διάμετρος κυλίνδρου των πόλων	50 mm
Πάχος κυλίνδρου πόλων	40 mm
Διάμετρος άξονα περιστροφής στο σημείο σφήνα	16 mm

Πίνακας 8.2.2.1:

Διαστάσεις κινητήρα BLDC από μοντέλο Segway Ninebot Max.

Πρόσθετα εξαρτήματα κινητήρα-τροχού

Εφόσον βρέθηκαν οι διαστάσεις για να σχεδιαστεί ο κινητήρας-τροχός μελετήθηκε η βελτίωση της προστασίας του κινητήρα από το εξωτερικό περιβάλλον. Οι περισσότεροι κινητήρες μοντέλων εκτός της 4^{ης} τάξεως κόστους είναι εύκολα αποσυναρμολογούμενη και έχουν ελάχιστη προστασία από το εξωτερικό περιβάλλον και ειδικά από το νερό και τις λάσπες του δρόμου. Τα περισσότερα μοντέλα που υπάρχουν στην αγορά δεν διαθέτουν τσιμούχες για τη προστασία του κινητήρα. Έτσι αποφασίστηκε να εισαχθούν στο κέλυφος του κινητήρα και τσιμούχες.



8.3. Διαμόρφωση πλατφόρμας

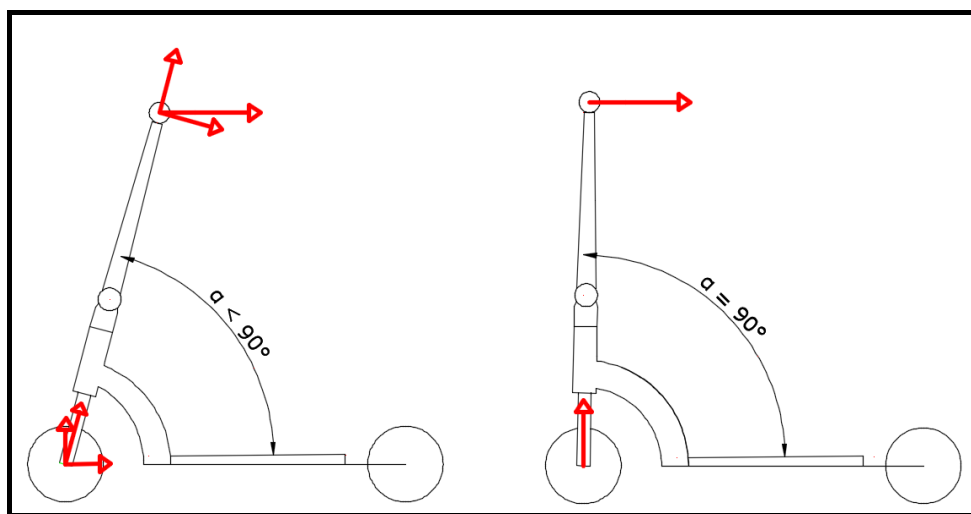
Η μορφολογία της πλατφόρμας είναι γνωστή και οι προδιαγραφές λένε ότι είναι επιθυμητό οι διαστάσεις της βάσης στήριξης να είναι 17cm x 45cm. Εφόσον οι πλατφόρμα θα φέρει τη μπαταρία και λόγω της μεγάλης αυτονομίας που απαιτείται να έχει το όχημα θα έχει μεγάλο όγκο (η μπαταρία) υπήρχαν οι δύο επιλογές για τις 2 δοκούς που στηρίζουν τον αναβάτη:

- Μεγάλο πάχος και μικρό πλάτος
- Μεγάλο πλάτος και μικρό πάχος

Επιλέχθηκε να έχουν μεγάλο πλάτος διότι θα έχουν καλύτερη αντίδραση σε καμπικά φορτία χωρίς να μεγαλώσει ο όγκος υλικού και βάρους. Εφόσον οι δοκοί θα φέρουν τον άξονα του τροχού έπρεπε η απόστασή τους να δίνει επαρκή χώρο και για το δισκόφρενο, το δισκόφρενο θα είναι μόνο από τη μία πλευρά αλλά για λόγους συμμετρίας και οι δύο δοκοί θα έχουν ίδια απόσταση από το κέντρο του πατινιού. Έτσι εφόσον βρέθηκε ο απαιτούμενος όγκος για το δισκόφρενο που πωλείται ήδη στην αγορά και έχει συγκεκριμένες διαστάσεις αλλά και ο μηχανισμός που δημιουργεί το δυναμικό τριβής (τακάκια) που απαιτεί κι αυτός κάποιο όγκο για τον χρόνο που δεν δημιουργεί δυναμικό τριβής και το πατίνι κινείται βρέθηκε η ελάχιστη απόσταση των εσωτερικών πλευρών των δοκών της πλατφόρμας. Η απόσταση αυτή πήρε την τελική της τιμή από τον απαιτούμενο όγκο της μπαταρίας και του μικροελεγκτή.

8.4. Σωλήνας κεφαλής

Κατά τη διαμόρφωση της πλατφόρμας και του σωλήνα κεφαλής που συνδέει τη πλατφόρμα και το στέλεχος αποφασίστηκε να δημιουργείται μία οξεία γωνία μεταξύ του στελέχους και της πλατφόρμας. Αυτό αυξάνει την αντοχή του σωλήνα κεφαλής διότι μικραίνει το μήκος τόξου του (εφόσον αποφασίστηκε να είναι τόξο κι όχι ευθύς σωλήνας), επηρεάζει επίσης σημαντικά και άλλα φορτία. Όπως φαίνεται και στο σχήμα () οι δυνάμεις με γωνία 90 μοιρών είναι καθαρές και είναι μόνο στον άξονα X (οριζόντιος), δίνοντας κλίση οι δυνάμεις στον άξονα X μικραίνουν διότι μεγαλώνουν οι δυνάμεις στον άξονα Y (κάθετος). Οι δυνάμεις στον άξονα X είναι πιο σημαντικές διότι είναι οι δυνάμεις που προκαλούν την ροπή στρέψης του στελέχους και του μηχανισμού αναδίπλωσης.



Σχήμα 8.4.1: Αριστερά σωλήνα κεφαλής να σχηματίζει οξεία γωνία, δεξιά σωλήνας κεφαλής δημιουργεί γωνία 90 μοιρών.

Η γωνία θα έχει ως ελάχιστη τιμή τις 80 μοίρες για να μην μειώνεται ο χώρος του αναβάτη. Εάν μειωθεί κι άλλο η γωνία θα χρειαστεί πιο μεγάλο μήκος στελέχους και μήκος πλατφόρμας επίσης. Αυτό σημαίνει περισσότερο βάρος, δηλαδή δυσκολότερη μεταφορά, επίσης μεγαλύτερος όγκος, δηλαδή απαιτείται μεγαλύτερος χώρος στάθμευσης. Όμως ένα ακόμα μεγάλο όφελος από την κλίση που δίνεται στο στέλεχος μειώνοντας το τόξο σωλήνα κεφαλής, είναι ότι γίνεται πιο δύσκολη η ανάβαση για δεύτερο αναβάτη, δηλαδή για δύο αναβάτες ταυτόχρονα.

Κίνδυνοι που υπάρχουν με δύο αναβάτες ταυτόχρονα:

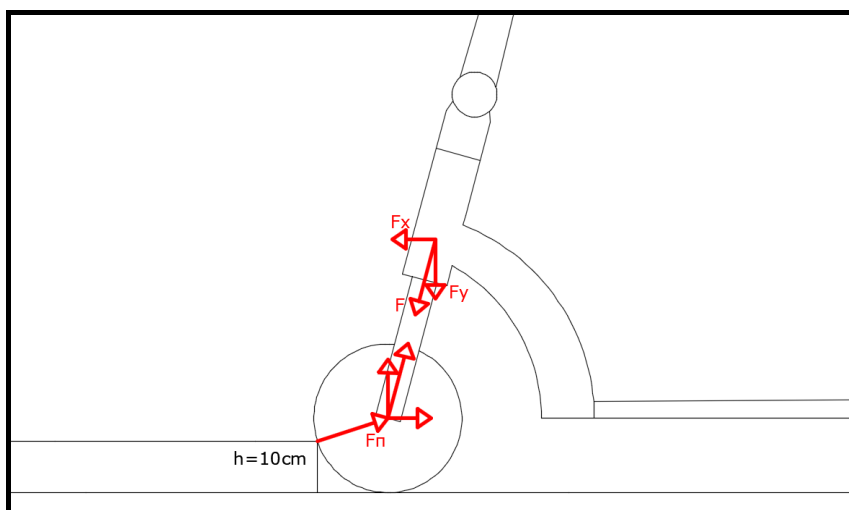
- Περιορίζονται οι κινήσεις του οδηγού-αναβάτη από τον όγκο του συνεπιβάτη.
- Μεγαλύτερη διανύσασα απόσταση μέχρι να σταματήσει τελείως το πατίνι λόγω του αυξημένου βάρους.
- Το πατίνι μπορεί να σπάσει εύκολα λόγω του διπλού βάρους.
- Μικρότερη αυτονομία λόγω μεγαλύτερου βάρους.
- Αυξάνεται η ένταση λειτουργίας του κινητήρα σε μεγάλο βαθμό και κινδυνεύει να καεί.



Πλεονεκτήματα της οξείας γωνίας:

- μικρότερα φορτία στο στέλεχος τιμονιού
- μικρότερα φορτία στο μηχανισμό αναδίπλωσης
- μικρότερα φορτία στο σωλήνα κεφαλής
- πιο ομαλός έλεγχος κατά τη διάρκεια στροφών της διαδρομής
- μικρότερος κίνδυνος ανατροπής του πατινιού με τον αναβάτη σε περίπτωση εμποδίων
- περισσότερη άνεση, ο αναβάτης προεκτείνει λιγότερο τα χέρια του προς το τιμόνι
- μεγαλύτερη ασφάλεια, λόγω πιο άνετης θέσης κατά την πέδηση για τον αναβάτη

Αν και στη περίπτωση που η γωνία σωλήνα κεφαλής είναι 90 μοίρες οι δυνάμεις φαίνονται ως κάθετες μόνο και ότι δεν χρειάζεται περισσότερη προσοχή, δεν είναι η πραγματικότητα. Σε περίπτωση που το πατίνι θα πρέπει να περάσει πάνω από ένα εμπόδιο που να μπορεί φυσικά με την δύναμη του κινητήρα να το περάσει, οι δυνάμεις που θα του ασκηθούν είναι όπως στο σχήμα (...). Σε μία τέτοια περίπτωση η ανατροπή του αναβάτη είναι πολύ πιθανή ειδικά εάν το πατίνι είχε αναπτύξει μεγάλη ταχύτητα. Όμως το μικρότερο τόξο σωλήνα κεφαλής κάνει τις δυνάμεις που ασκούνται στο ψαλίδι του μπροστινού τροχού περισσότερο κάθετες και ίδιας διεύθυνσης με το μήκος του ψαλιδιού και λιγότερο δυνάμεις στρέψεως. Δηλαδή το ψαλίδι δέχεται μικρότερα κρίσιμα φορτία σε περιπτώσεις κρούσεων.



Σχήμα 8.4.2: Γραφική αναπαράσταση μπροστινού τροχού σε περίπτωση εμφάνισης εμποδίου 10cm.



8.5. Συγκράτηση στελέχους τιμονιού και στελέχους τροχού

Τα έδρανα εφόσον χρειάζεται να συσφίγγονται (συγκρατιόνται) θα ήταν περιττό και κοστοβόρο να συγκρατούνται μόνο αυτά και με άλλο τρόπο να συγκρατιόνται τα στελέχη. Αποφασίστηκε λοιπόν να συγκρατιόνται όλα με ένα κοχλία συναρμογής DIN 609 από το ένα στέλεχος στο άλλο, ενδιάμεσα τους θα βρίσκονται τα έδρανα και ο σωλήνας κεφαλής, όπως στην εικόνα (8.3.1.1).

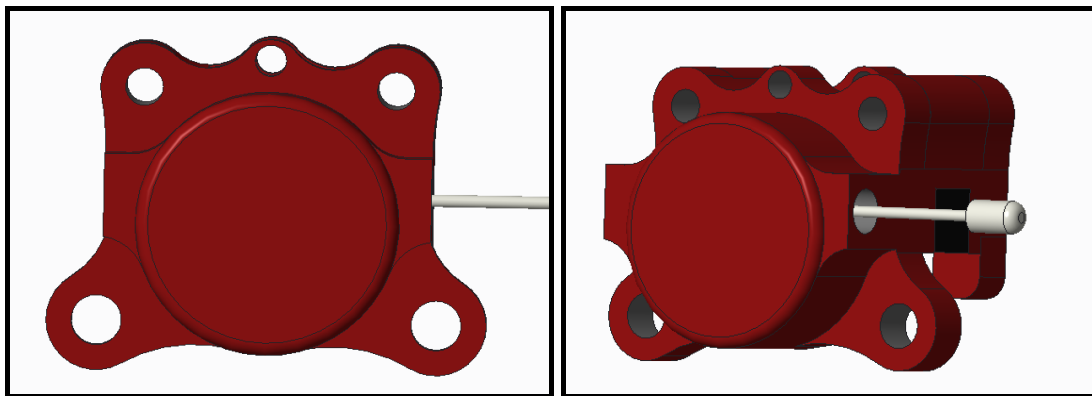
8.6. Συγκράτηση μηχανισμού πέδησης

Ο μηχανισμός του φρένου στα περισσότερα πατινία συναρμολογείται και συγκρατείται σε ένα στοιχείο που συγκολλείται πάνω στη δοκό στήριξης των τροχών. Αυτό το στοιχείο πρέπει να έχει την κατάλληλη γεωμετρία ώστε να ταιριάζει με τη γεωμετρία του μηχανισμού, διότι οι μηχανισμοί μεταξύ τους έχουν διαφορές στη.

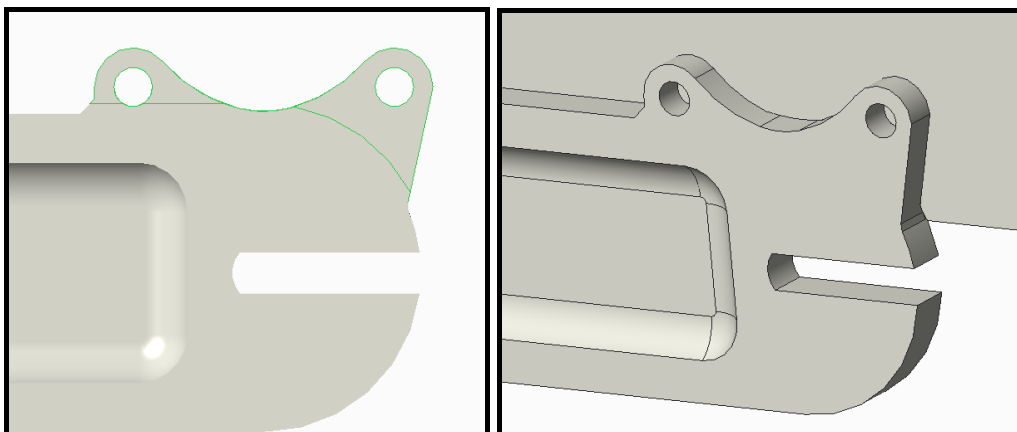


Σχήμα 8.6.1: Δισκόφρενο, μοντέλο Xiaomi Mi M365.

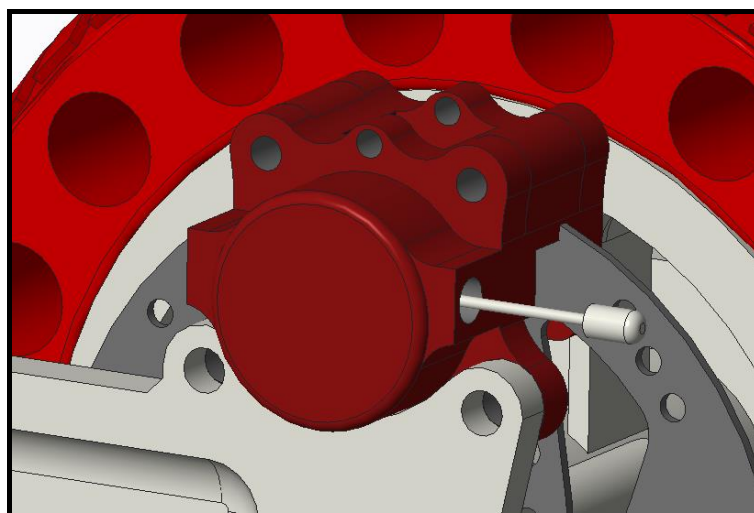
Για να συναρμολογείται σωστά ο μηχανισμός το στοιχείο πάνω στο οποίο θα συγκρατείται βρέθηκε και σχεδιάστηκε ο μηχανισμός του φρένου. Ο μηχανισμός σχεδιάστηκε βάση των πιο κοινών μηχανισμών που υπάρχουν στο εμπόριο.



Σχήμα 8.6.2: Μηχανισμός πέδησης, τρισδιάστατο σχέδιο από CAD λογισμικό, Creo 3.0.



Σχήμα 8.6.3: Στοιχείο συγκράτησης μηχανισμού πέδησης, τρισδιάστατο σχέδιο από CAD λογισμικό, Creo 3.0.



Σχήμα 8.6.4: Μηχανισμός εφαρμοσμένος πάνω στο στοιχείο συγκράτησης, τρισδιάστατο σχέδιο από CAD λογισμικό, Creo 3.0.



9. PTC Creo Parametric 3.0 και η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

Το Creo Parametric 3.0 είναι μια οικογένεια ή μια σειρά εφαρμογών σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) που υποστηρίζουν το σχεδιασμό προϊόντων για διακριτούς κατασκευαστές και έχει αναπτυχθεί από την PTC. Η ποικιλία αποτελείται από εφαρμογές, καθεμία από τις οποίες προσφέρει ένα ξεχωριστό σύνολο δυνατοτήτων για ρόλο χρήστη στην ανάπτυξη προϊόντων.

Το Creo εκτελείται σε Microsoft Windows και παρέχει εφαρμογές για 3D παραμετρικές δυνατότητες μοντελοποίησης, άμεση μοντελοποίηση 3D, ορθογραφικές προβολές 2D, Ανάλυση και προσομοίωση πεπερασμένων στοιχείων, σχηματικός σχεδιασμός, τεχνικές εικόνες και προβολή και οπτικοποίηση.

Τα Creo Elements και το Creo Parametric ανταγωνίζονται άμεσα με τα CATIA, Siemens NX / Solidedge και SolidWorks. Η σουίτα εφαρμογών Creo αντικαθιστά και αντικαθιστά τα προϊόντα της PTC που παλαιότερα ήταν γνωστά ως Pro / ENGINEER, CoCreate και ProductView. Η Creo έχει πολλές διαφορετικές λύσεις και δυνατότητες πακέτων λογισμικού. Το Creo Illustrate είναι ένα καλό παράδειγμα.

Εκτός από τον σχεδιασμό τεμαχίων όμως το Creo παρέχει και την δυνατότητα του ελέγχου και ανάλυσης της συμπεριφοράς του τεμαχίου σε φορτία, με το Creo Simulate και Creo Mechanism. Η ανάλυση και ο έλεγχος γίνεται με την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (FEA, Finite Element Analysis). Πολύ απλά ο χρήστης μετά το σχεδιασμό του τεμαχίου ορίζει τις δυνάμεις που θα ασκούνται στο τεμάχιο, ορίζει το υλικό του τεμαχίου, και μετά το πρόγραμμα μετά από ανάλυση που «τρέχει» το ίδιο εμφανίζει δεδομένα όπως σημείο και τιμή μέγιστης τάσης, παράμόρφωση κ.α..

Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEA)

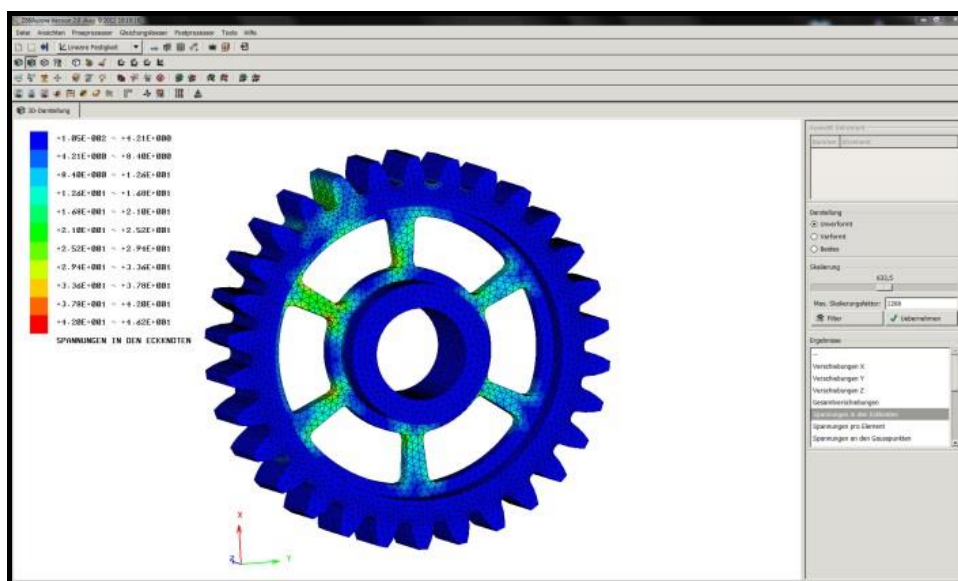
Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος (δηλ. μέθοδος υπολογισμού με χρήση H/Y) για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων. Η αναλυτική λύση των εξισώσεων με τις οποίες περιγράφονται τα διάφορα τεχνικά προβλήματα είναι δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι καταπονήσεις και τα γεωμετρικά σχήματα είναι πάρα πολύ απλά. Όμως, υπήρχε η ανάγκη να λυθούν και πιο σύνθετα προβλήματα και γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν διάφορες προσεγγιστικές μέθοδοι.

Μία τέτοια μέθοδος είναι και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή η μέθοδος είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, ιδίως όταν εφαρμόζεται σε σύνθετα μοντέλα. Αυτό όμως το μειονέκτημα ξεπεράστηκε τα τελευταία χρόνια χάρη στη ραγδαία ανάπτυξη των υπολογιστών. Η επιτυχία αυτής της μεθόδου ήταν τόσο μεγάλη, που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται στην έρευνα και στην βιομηχανία για τον υπολογισμό και τη μελέτη διάφορων κατασκευών.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μία εξέλιξη των μητρωϊκών μεθόδων αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων και έγινε από διάφορους σπουδαίους επιστήμονες όπως ο Ιωάννης Αργύρης, ο Ρέι Κλαφ, ο Βάλτερ Ριτς, ο Μπόρις Γκαλέρκιν και άλλοι.

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων απαιτούνται τα εξής στάδια:

1. Εισάγεται η γεωμετρία της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.
2. Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία και αφού ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και εισάγονται τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται. Παραδείγματος χάριν, αν επιλεγεί να λυθεί το μοντέλο σε στατική καταπόνηση θα πρέπει να δοθούν τα δεδομένα για τις δυνάμεις και τις στηρίξεις. Αυτή η διαδικασία γίνεται με προγράμματα που αποκαλούνται pre processor.
3. Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.
4. Όταν τελειώσει η επίλυση, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.



Εικόνα 9.1: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων υπολογιστικής ανάλυσης των τάσεων σε οδοντωτό τροχό (γρανάζι) με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (εικόνα από Z88 Aurora)²¹.

²¹ Από Bal 79 - Έργο αυτού που το ανεβάζει, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=22418267>

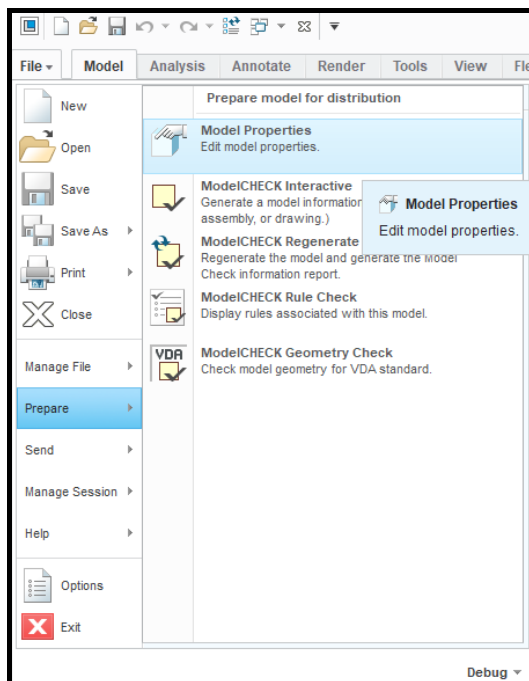


9.1. Διαδικασία εφαρμογής FEA στο Creo 3.0

1. Ορισμός υλικού

Για να γίνει η ανάλυση πρέπει πρώτα να οριστεί το υλικό του τεμαχίου. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, ένας από αυτούς είναι από τη καρτέλα «File».

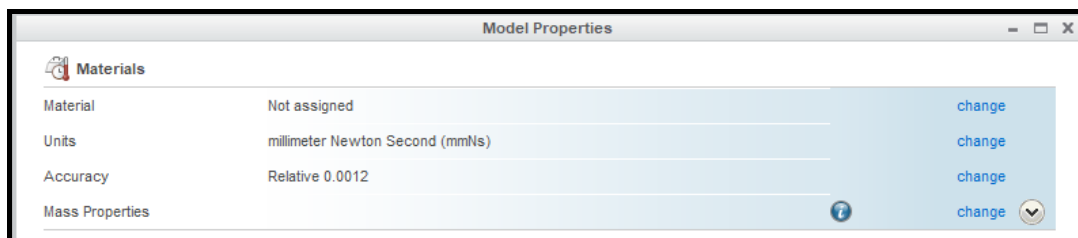
Βήματα: **File > Prepare > Model properties**



Εικόνα 9.1.1: «File» μενού, εκεί που βρίσκεται το «model properties».

Στο «Material» αναφέρεται ως «Not assigned» διότι δεν έχει οριστεί υλικό.

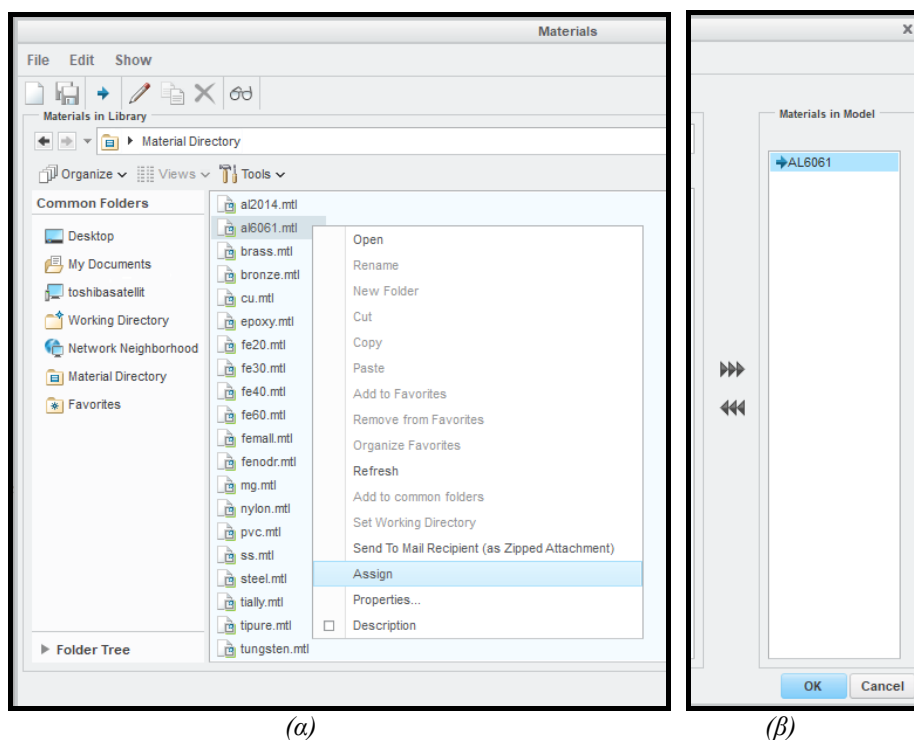
Βήματα: **change > επιλέγεται το υλικό > δεξί κλικ > assign > ok**



Εικόνα 9.1.2: Μενού ρυθμίσεων του «model properties», φαίνεται ότι δεν έχει οριστεί υλικό.

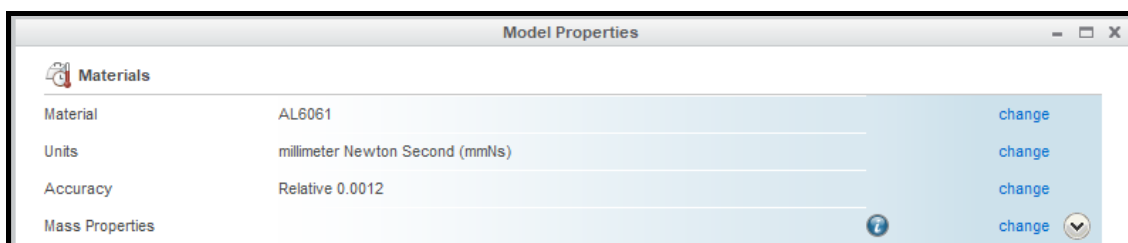


Αφού οριστεί το υλικό, εμφανίζεται στο «**Materials in Model**» με ένα μπλε βελάκι στα δεξιά του υλικού.



Εικόνα 9.1.3: Μενού «Materials», εμφανίζονται τα υλικά που είναι διαθέσιμα.

Έχει οριστεί το υλικό του τεμαχίου και αναφέρεται στο «**Material**», **AL6061**.



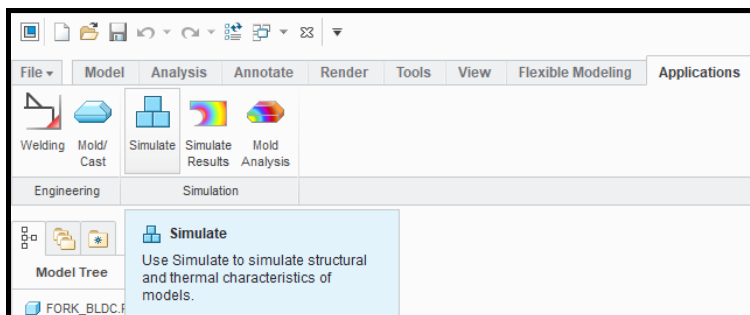
Εικόνα 9.1.4: Μενού ρυθμίσεων του «model properties», φαίνεται ότι έχει οριστεί υλικό «AL6061».



2. Περιβάλλον ανάλυσης (simulation)

Βήματα:

Applications > Simulate



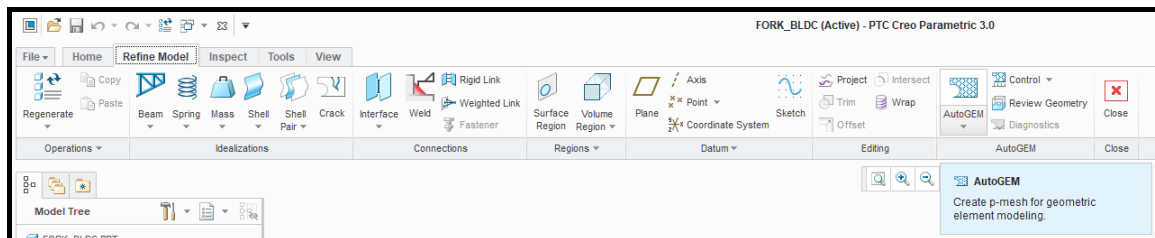
Εικόνα 9.1.5: Καρτέλα «Applications», εκεί που βρίσκεται η επιλογή «Simulate».

3. Δημιουργία πλέγματος

Έπειτα δημιουργείται το «πλέγμα» γεωμετρίας του τεμαχίου, αυτό γίνεται αυτόματα από το λογισμικό **PTC Creo 3.0**.

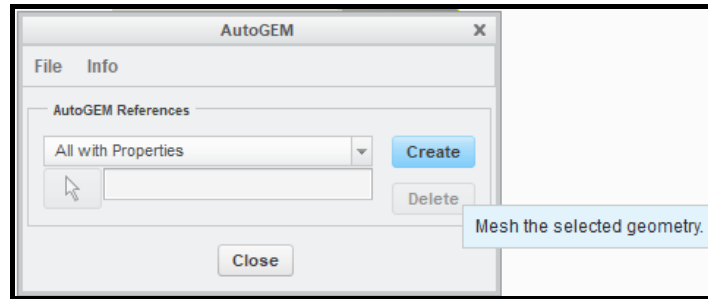
Βήματα:

Refine model > AutoGEM



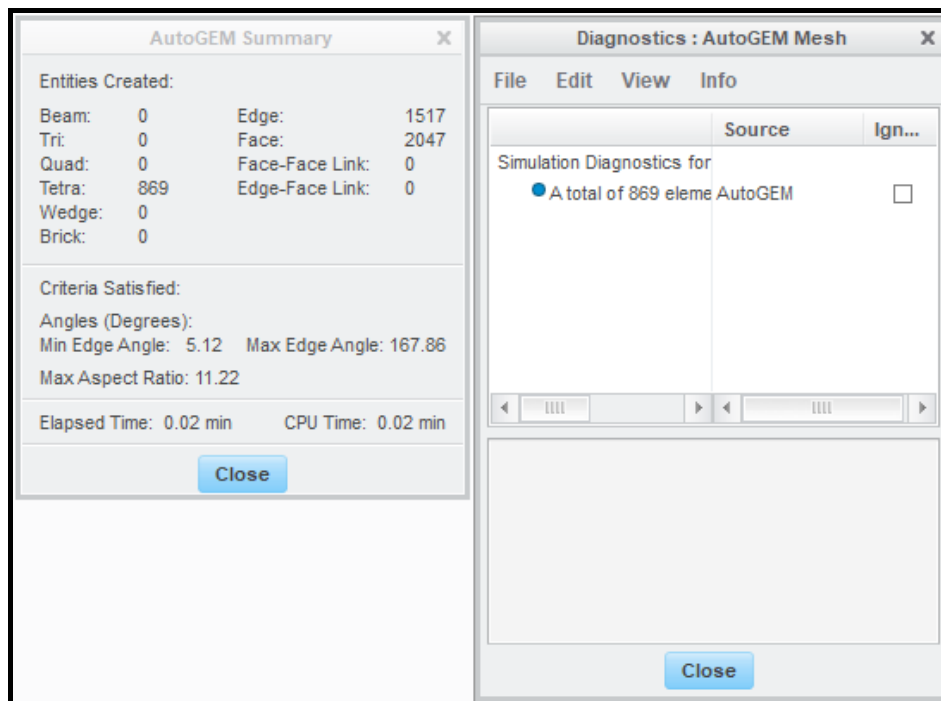
Εικόνα 9.1.6: Περιβάλλον «Simulate», φαίνεται η καρτέλα «Refine Model».

Εμφανίζεται το «παράθυρο» με το μενού του «**AutoGEM**». Πατώντας «**Create**» δημιουργείται ξεκινάει η αυτόματη διαδικασία της δημιουργίας πλέγματος. Μπορεί να πάρει κάποιο χρόνο μέχρι να ολοκληρωθεί, εξαρτάται από τη γεωμετρία του τεμαχίου.

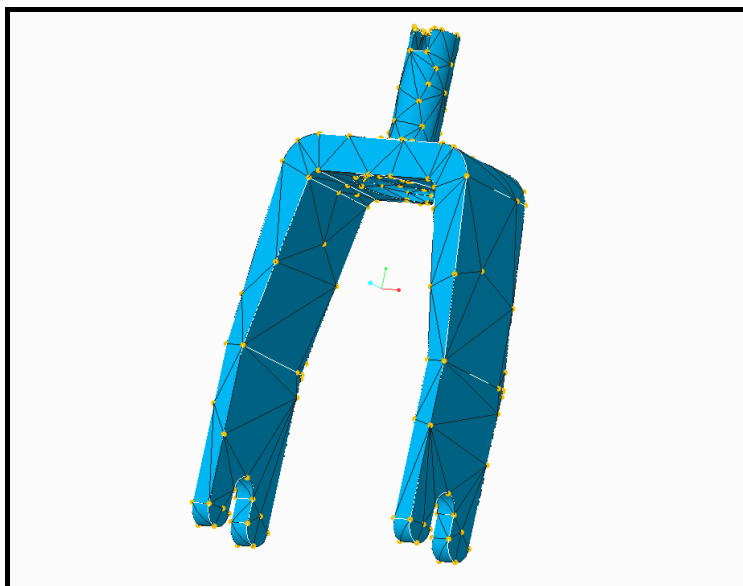


Εικόνα 9.1.7: Αναδύομενο παράθυρο «AutoGEM».

Μόλις τελειώσει η διαδικασία εμφανίζονται 2 παραθυράκια, το ένα είναι το «**Diagnostics: AutoGEM Mesh**» στο οποίο αναφέρεται ο αριθμός των στοιχείων του πλέγματος που δημιουργήθηκαν, και το άλλο είναι το «**AutoGEM Summary**» στο οποίο αναφέρεται ο χρόνος ολοκλήρωσης της διαδικασίας και ο αριθμός των στοιχείων που δημιουργήθηκαν. Πατώντας το «**Close**» στο παραθυράκι «**AutoGEM Summary**» τελειώνει η διαδικασία δημιουργίας πλέγματος.



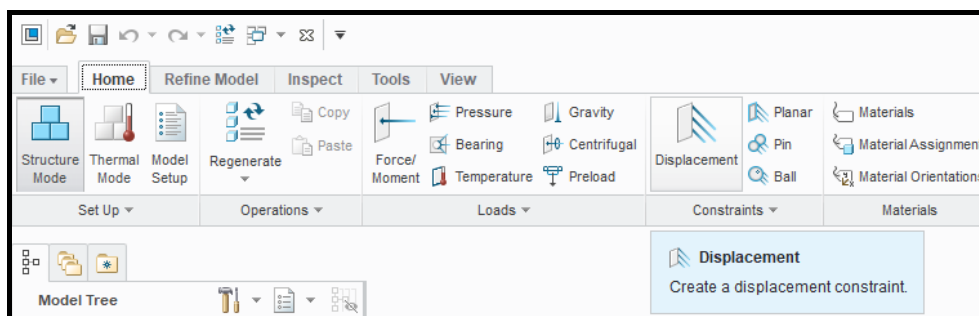
Εικόνα 9.1.8: Αναδύομενα παράθυρα «AutoGEM Summary» και «Diagnostics:AutoGEM Mesh ».



Εικόνα 9.1.9: Η μορφή που έχει το πλέγμα που έχει δημιουργηθεί στο τεμάχιο.

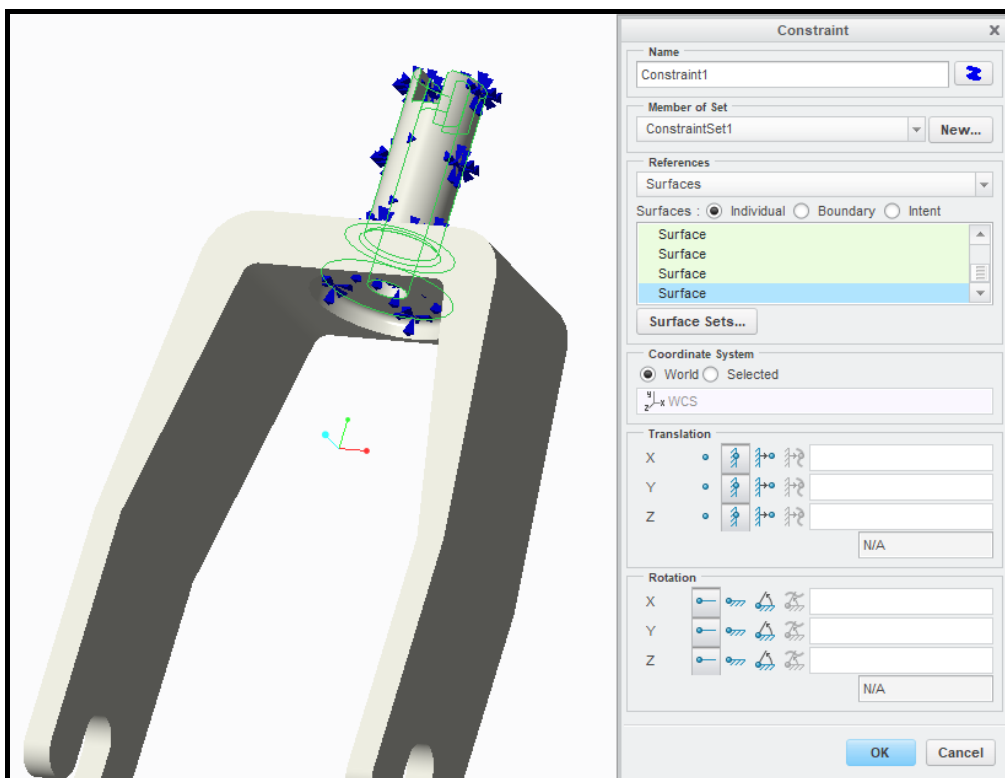
4. Ορισμός στηρίξεων-πακτώσεων (περιορισμών)

Οι στηρίξεις ορίζονται από τη καρτέλα «**Home**» και το μενού «**Constraints**» στο οποίο επιλέγεται το «**Displacement**».



Εικόνα 9.1.10: Καρτέλα «Home» στο περιβάλλον «Simulate».

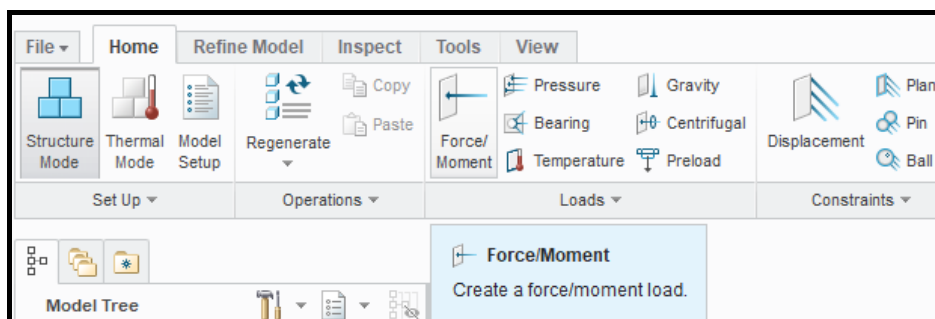
Εμφανίζεται σε παραθυράκι το μενού ρυθμίσεων του «**Displacement**», έπειτα επιλέγονται οι πλευρές που θα λειτουργούν ως στηρίξεις. Είναι τα σταθερά σημεία του τεμαχίου. Εμφανίζονται με μπλε χρώμα επάνω στο τεμάχιο και στο «**Surfaces**» πλαίσιο εμφανίζονται οι επιφάνειες. Πατώντας «**ok**» εφόσον ορισθούν όλες οι επιφάνειες των «**Constraint**» τελειώνει η διαδικασία.



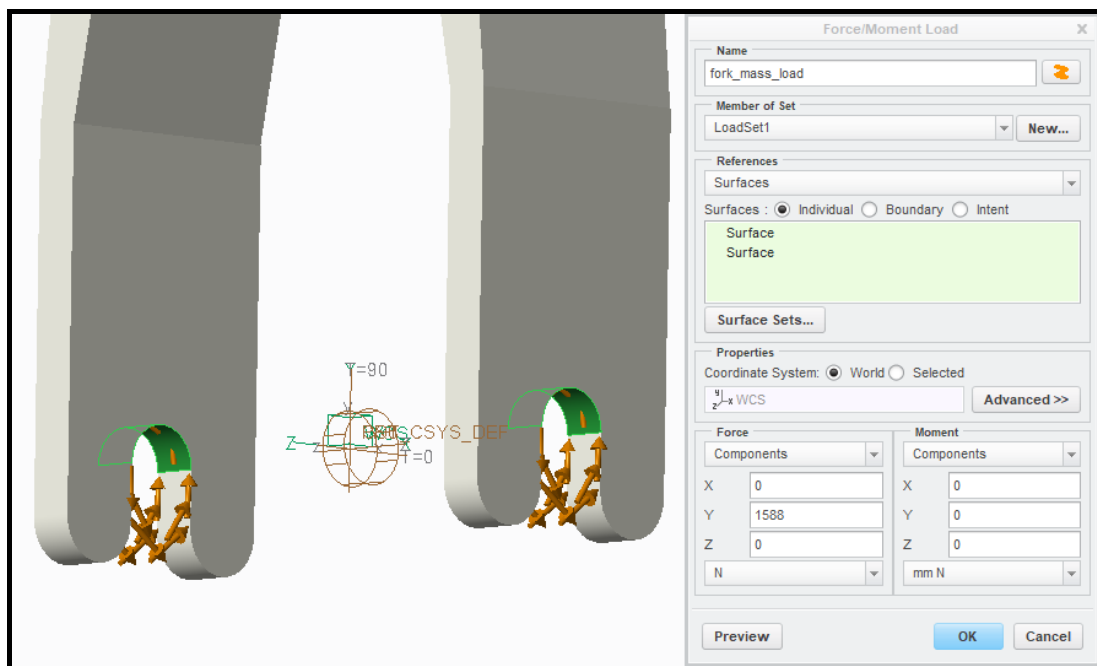
Εικόνα 9.1.11: Αναδυόμενο παράθυρο «Constraint» στο οποίο ορίζονται οι στηρίξεις, και επιλεγμένες επιφάνειες επάνω στο τεμάχιο με βέλη μπλε χρώματος.

5. Εισαγωγή φορτίων

Τα φορτία εισάγονται στη καρτέλα «**Home**» και το μενού «**Loads**». Επιλέγοντας το επιθυμητό φορτίο εμφανίζεται ένα παράθυρο με το μενού ρυθμίσεων της φόρτισης. Από εκεί ορίζεται το είδος, η τιμή, και το σημείο ή επιφάνεια φόρτισης. Οι επιφάνειες που επιλέγονται εμφανίζονται με πράσινο χρώμα και οι φορτίσεις εμφανίζονται πατώντας «**Preview**» ή εφόσον κλείσει το μενού ρυθμίσεων των φορτίσεων.



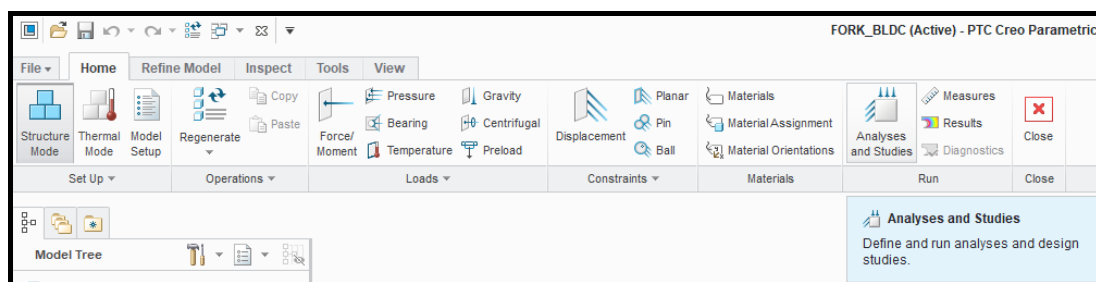
Εικόνα 9.1.12: Μενού «Loads» από τη καρτέλα «Home».



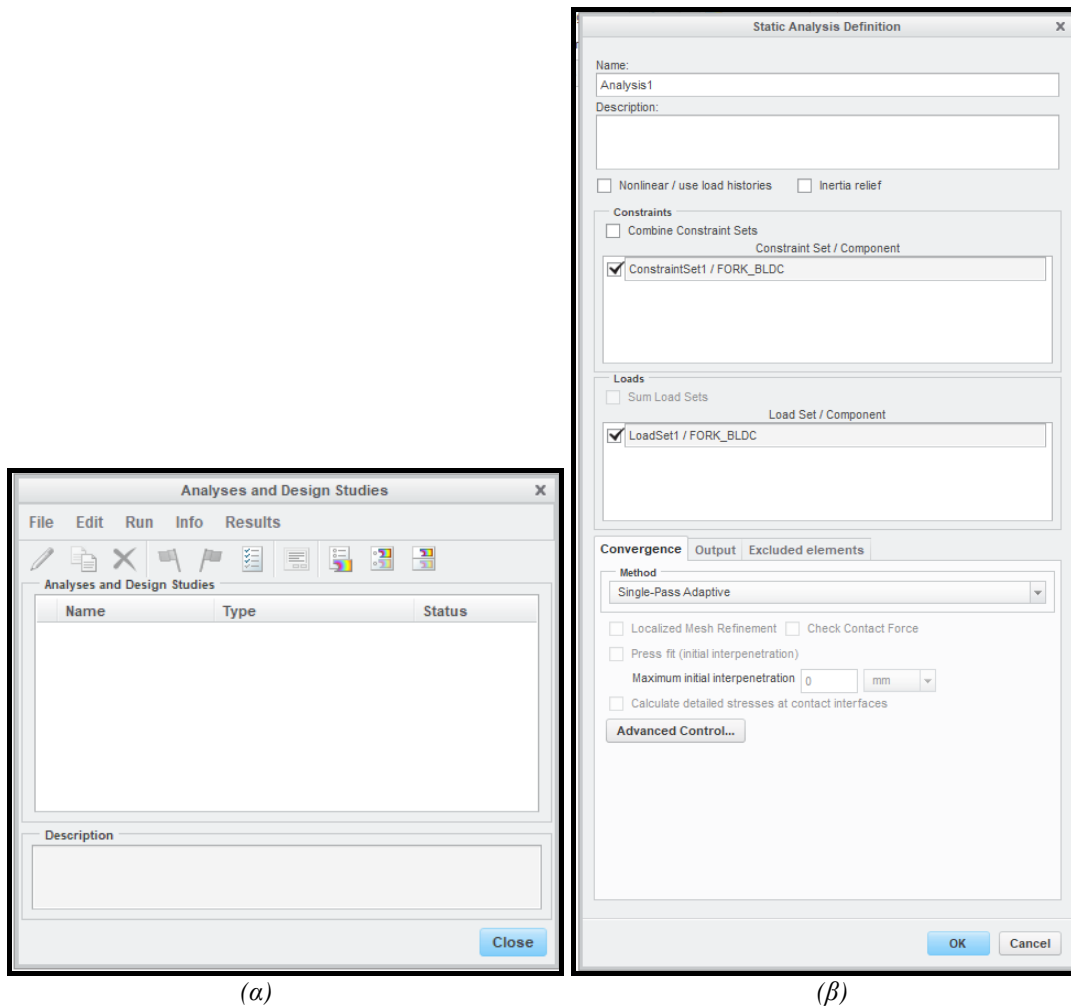
Εικόνα 9.1.13: Αναδύομενο παράθυρο «Force/Moment Load», και επιλεγμένες επιφάνειες του τεμαχίου με χρώμα πράσινο, επίσης φαίνεται η τιμή του φορτίου που εισάγεται στο μενού παραμέτρων του «Force» από το παράθυρο «Force/Moment Load».

6. Ορισμός ανάλυσης

Εφόσον έχουν ορισθεί οι δυνάμεις, οι στηρίξεις και έχει δημιουργηθεί το πλέγμα επιλέγεται από τη καρτέλα «Home» στο μενού «Run» το «Analyses and Studies». Εμφανίζεται το παραθυράκι «Analyses and Design», εμφανίζεται κενό και οι περισσότερες επιλογές του μενού να είναι απενεργοποιημένες. Πατώντας στο «New Static» από την καρτέλα «File» στο παραθυράκι «Analyses and Design», εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο «Static Analysis Definition» από το οποίο ορίζουμε τις παραμέτρους της ανάλυσης (νέας) που θα «τρέξει» το λογισμικό.

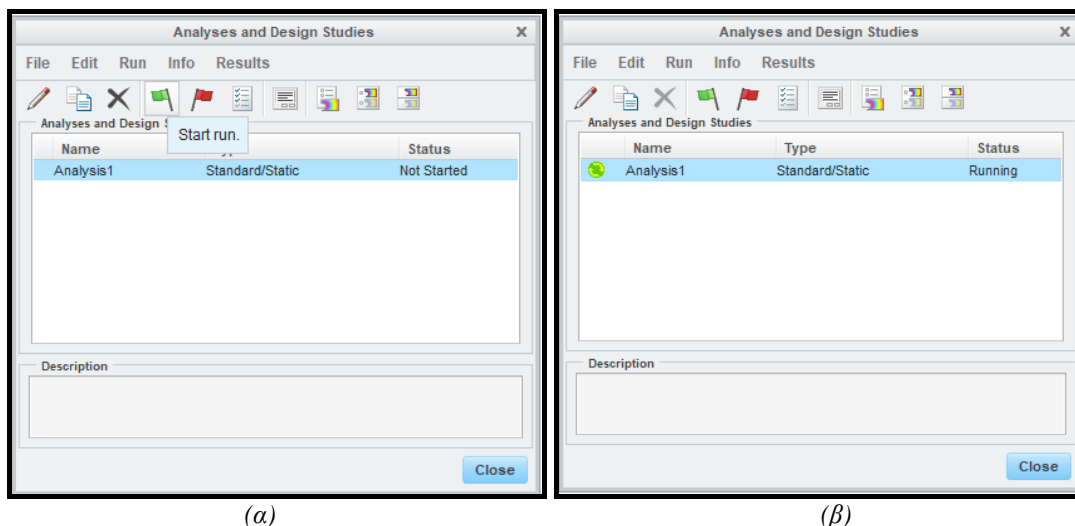


Εικόνα 9.1.15: Μενού «Loads» από τη καρτέλα «Home».

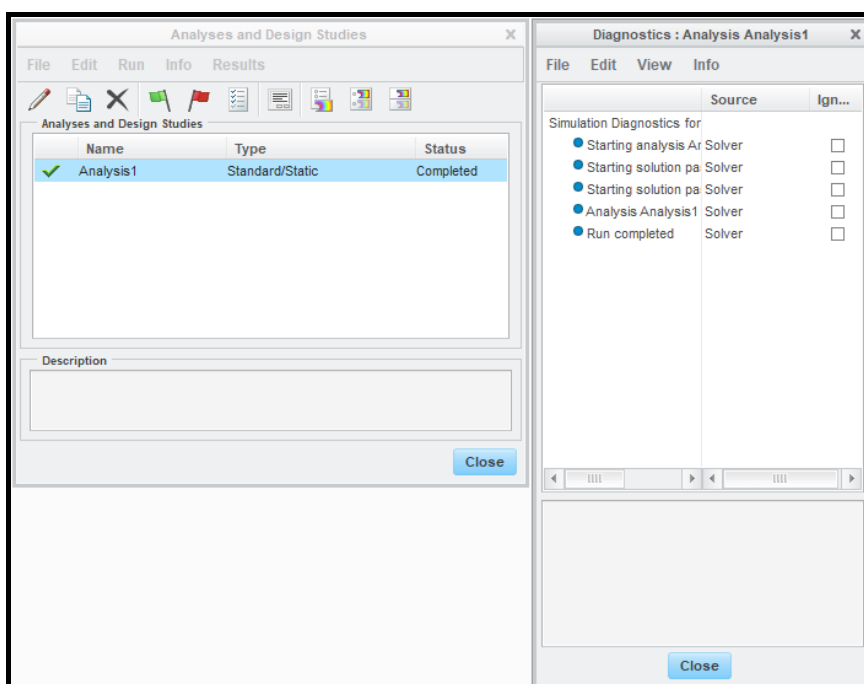


Εικόνα 9.1.16: (α) Αναδύομενο παράθυρο «Analysis and Design Studies». (β) Αναδύομενο παράθυρο «Static Analysis Definition» με τις ρυθμίσεις των παραμέτρων της ανάλυσης.

Πατώντας «ok» στο παράθυρο «Static Analysis Definition» εμφανίζεται το νέο αρχείο (μη αποθηκευμένο) στο παράθυρο «Analyses and Design» με το σχόλιο «Not Started» στη στήλη «Status» (κατάσταση), επίσης οι επιλογές του μενού είναι ενεργοποιημένες (με χρώματα). Πατώντας «Start Run» (πράσινο σημαϊάκι) αρχίζει να «τρέχει» η ανάλυση, εμφανίζοντας το σχόλιο «Running» στη στήλη «Status» (κατάσταση), μόλις τελειώσει η ανάλυση εμφανίζεται το σχόλιο «Completed» στη στήλη «Status» (κατάσταση), και ένα ακόμα παραθυράκι «Diagnostics: Analysis (όνομα αρχείου ανάλυσης)», η ανάλυση έχει ολοκληρωθεί και στο σημείο αυτό ζητείται να πραγματοποιηθεί διαγνωστικός έλεγχος για τυχόν λάθη και παραλείψεις στο αντικείμενο. Έτσι εμφανίζεται το παράθυρο «Diagnostics» και διεξάγεται έλεγχος. Εφόσον δεν διαπιστωθούν λάθη, γίνεται «Close». Κλείνοντας το παραθυράκι «Diagnostics: Analysis (όνομα αρχείου ανάλυσης)» τελειώνει η διαδικασία.



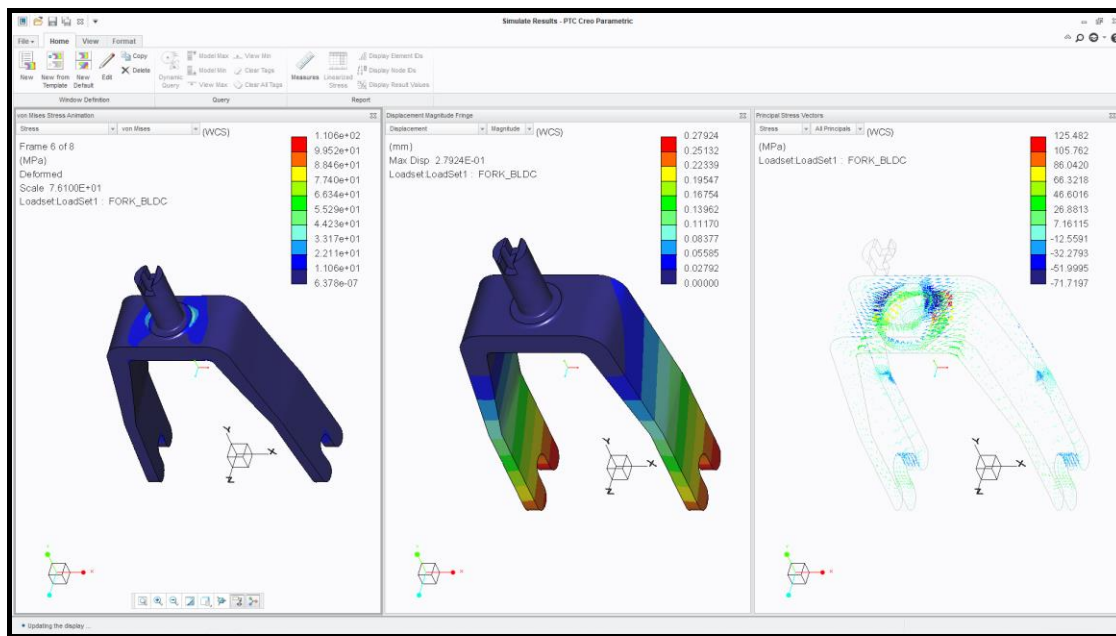
Εικόνα 9.1.17: (α) Αναδύομενο παράθυρο «Analysis and Design Studies», τα εικονίδια-επιλογές του μενού είναι ενεργοποιημένα, το αρχείο ανάλυσης είναι «Not Started». (β) Η ανάλυση έχει τεθεί σε λειτουργία «τρέχει», στο «Status» γράφει «Running».



Εικόνα 9.1.18: Η ανάλυση έχει ολοκληρωθεί.

7. Αποτελέσματα ανάλυσης

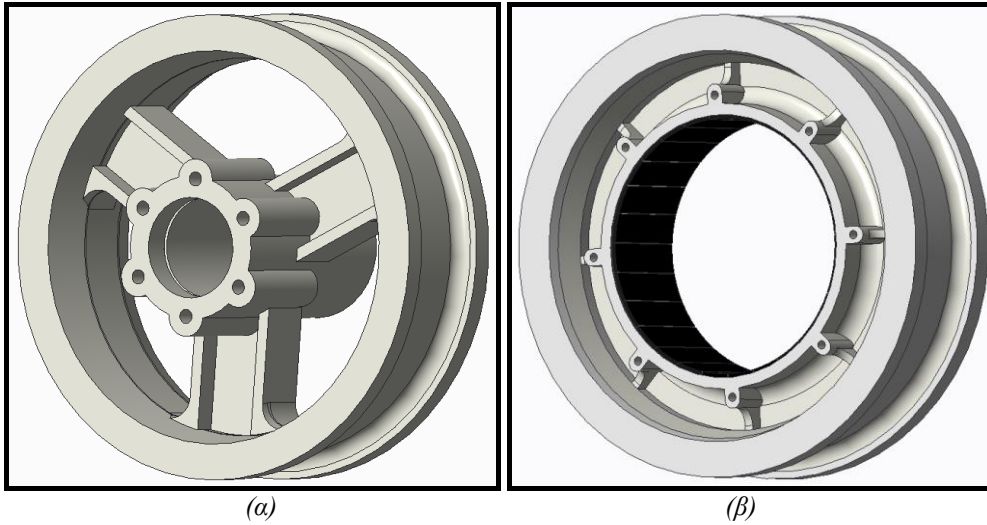
Στο παράθυρο «Analyses and Design» και με την ανάλυση χαρακτηρισμένη ως «Completed» μπορούν να εμφανιστούν τα αποτελέσματα. Επιλέγοντας από το μενού το τελευταίο εικονίδιο «Review results of a design study from default template» εμφανίζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.



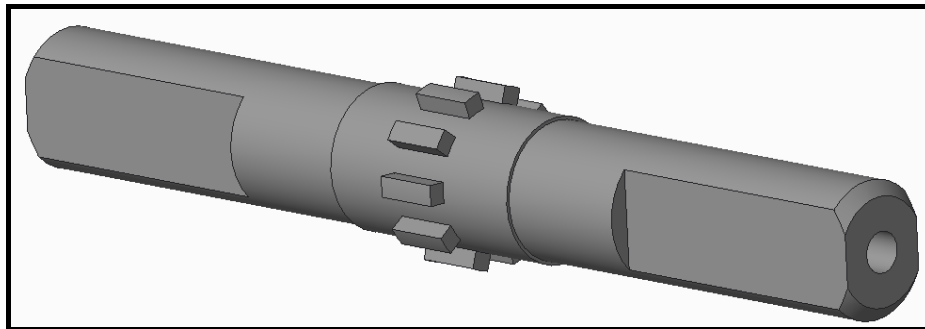
Εικόνα 9.1.19:

Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων υπολογιστικής ανάλυσης των τάσεων σε τεμάχιο (ψαλίδι) με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, εικόνα από PTC Creo 3.0 Parametric.

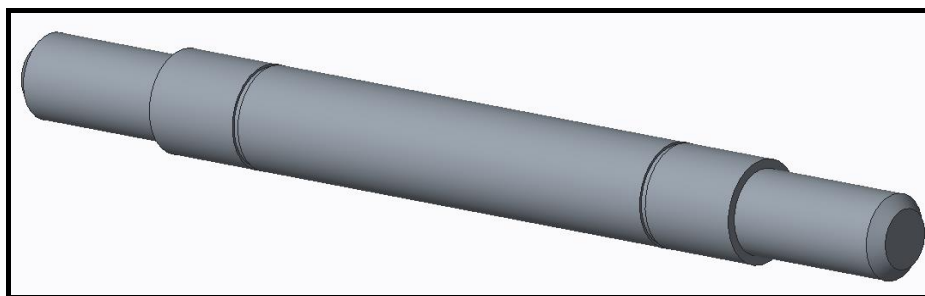
10. Τρισδιάστατα σχέδια



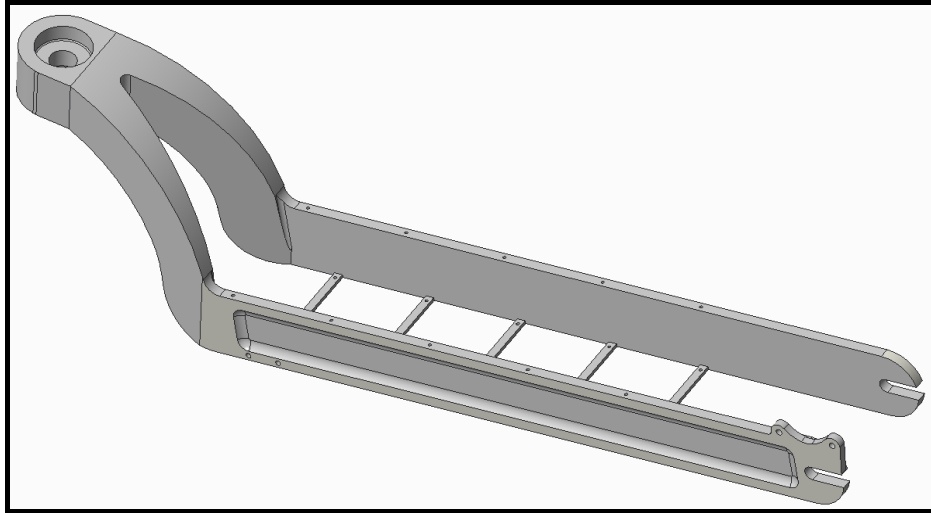
Εικόνα 10.1: (α) Ζάντα πίσω τροχού. (β) Ζάντα-ρότορας κινητήρα.



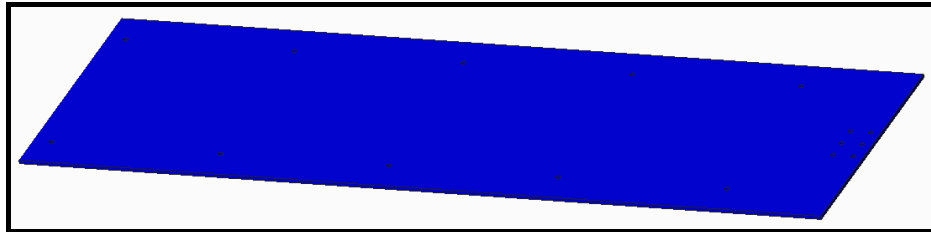
Εικόνα 10.2: Άτρακτος.



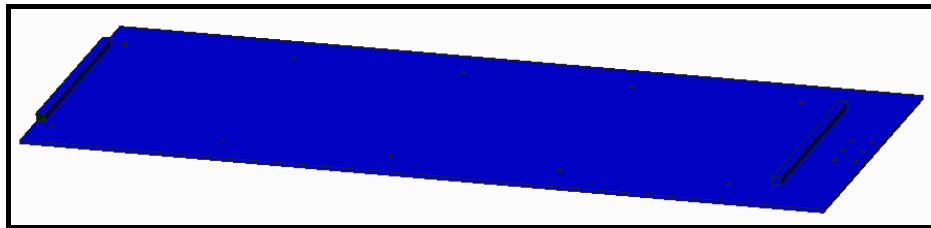
Εικόνα 10.3: Άξονας.



Εικόνα 10.4: Πλατφόρμα.

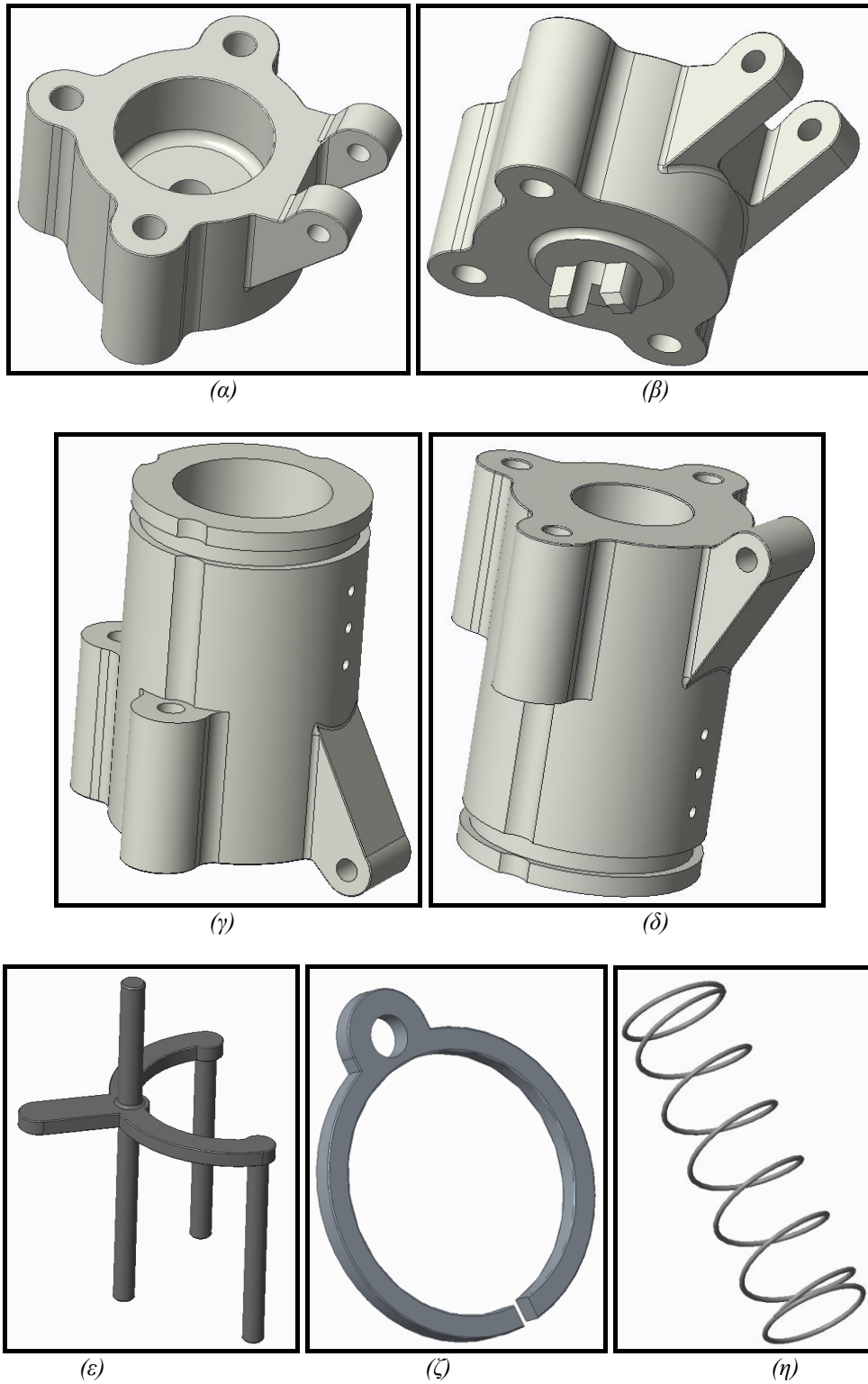


(α)



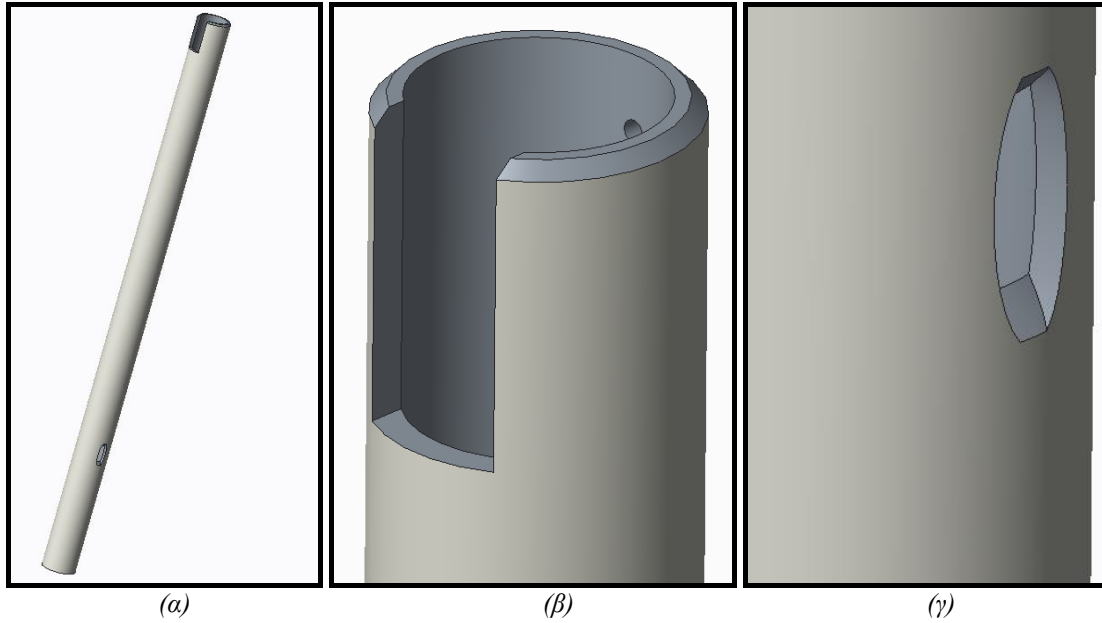
(β)

Εικόνα 10.5: Κατάστρομα.

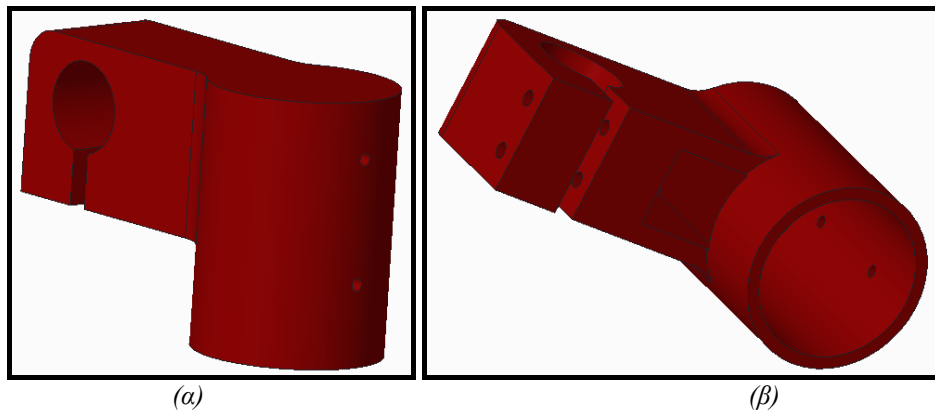


Εικόνα 10.6:

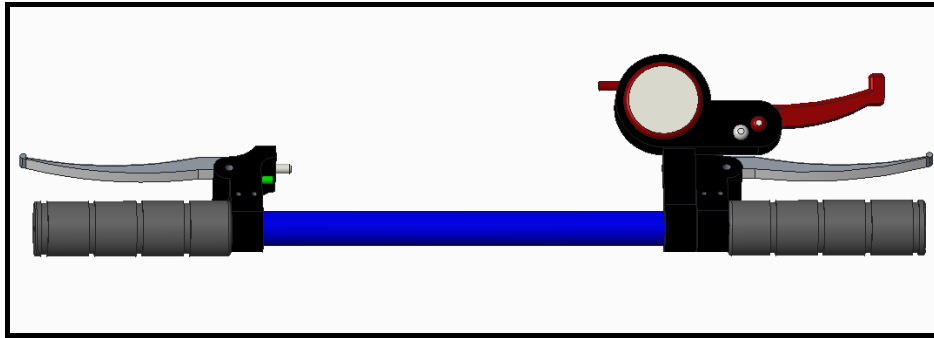
(α) (β) Κάτω κύλινδρος. (γ) (δ) Άνω κύλινδρος. (ε) Τριπλός πείρος. (ζ) Δαχτυλίδι ασφαλείας πείρου. (η) Ελατήριο.



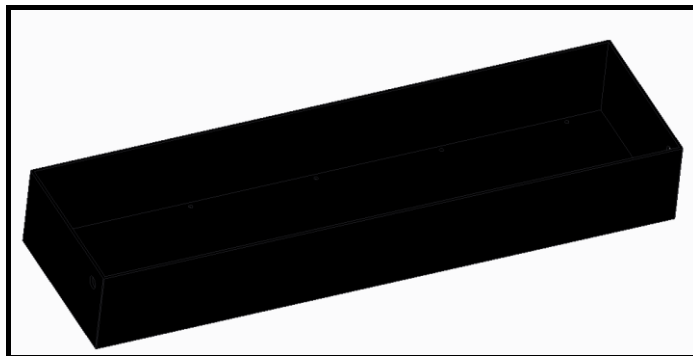
Εικόνα 10.7: (α) Στέλεχος τιμονιού. (β) Αφαιρεμένο υλικό για να περνάνε τα καλώδια. (γ) Οπή για να περνάνε τα καλώδια.



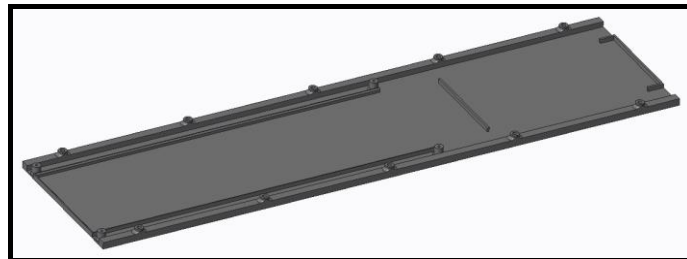
Εικόνα 10.8: Στοιχείο συγκράτησης τιμονιού.



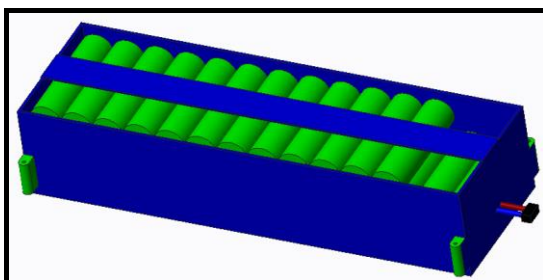
Εικόνα 10.9: Τιμόνι και περιφερειακά εξαρτήματα.



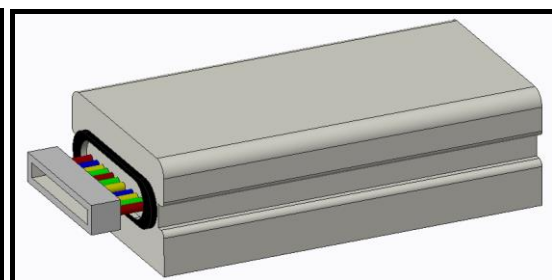
(α)



(β)

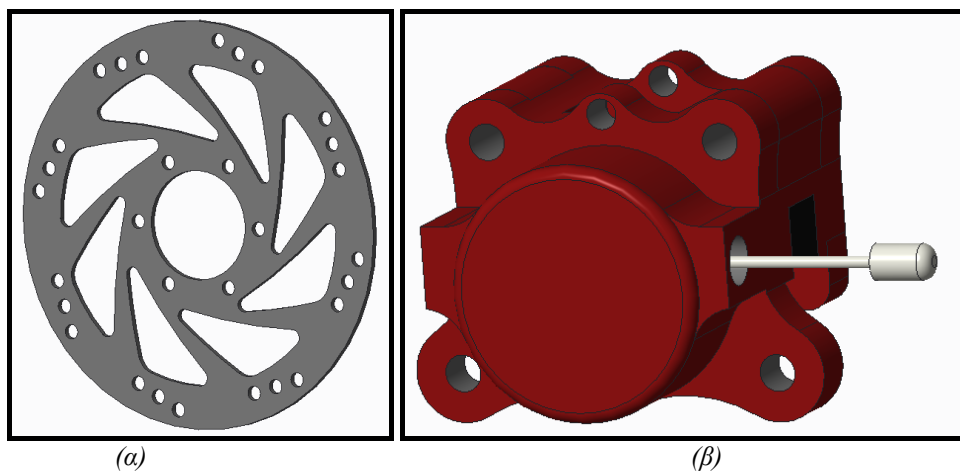


(γ)



(δ)

Εικόνα 10.10: (α) Πλατφόρμα μπαταρίας. (β) Πλαστική πλατφόρμα μπαταρίας. (γ) Μπαταρία. (δ) Μικροελεγκτής (controler).

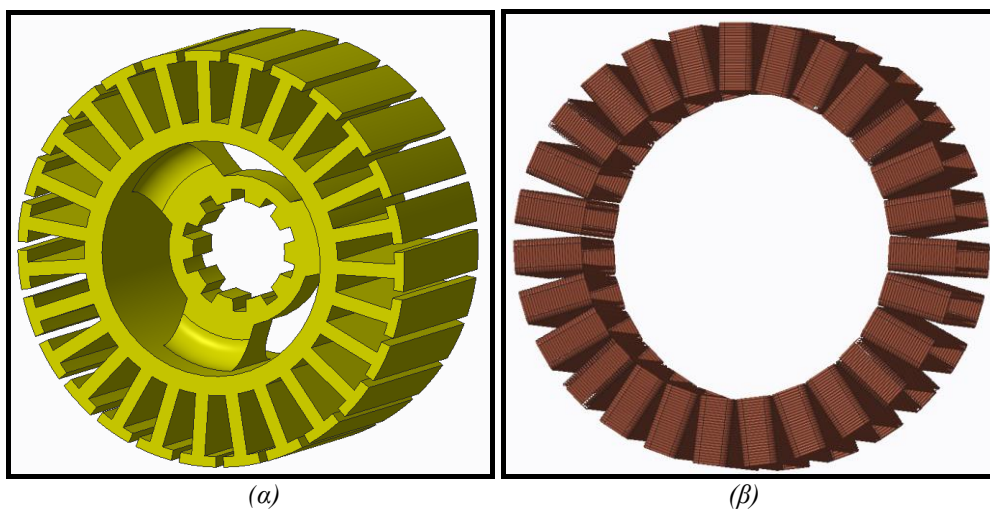


(α)

(β)

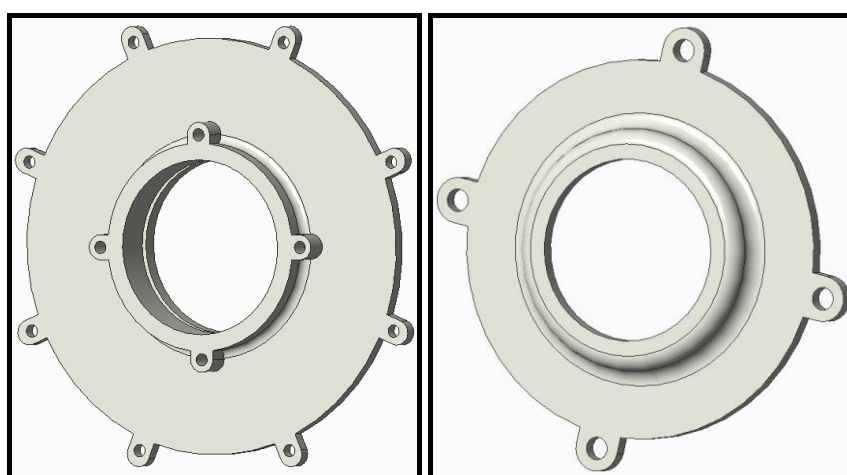
Εικόνα 10.11:

(α) Δίσκος φρένου. (β) Μηχανισμός φρένου.



(α)

(β)



(γ)

(δ)

Εικόνα 10.11:

Εξαρτήματα κινητήρα. (α) Στάτωρ κινητήρα. (β) Περιελήξεις. (γ) Καπάκι κινητήρα. (δ) Καπάκι τσιμούχας.



11. Συναρμολόγηση

Για να γίνει πιο εύκολη η διαδικασία συναρμολόγησης, η όλη συναρμογή χωρίζεται σε κομμάτια/ομάδες. Πιο συγκεκριμένα το κάθε κομμάτι αποτελείται από κάποια στοιχεία/τεμάχια, πρώτα θα συναρμολογηθούν τα κομμάτια, και μετά θα πραγματοποιηθεί η τελική ένωση των κομματιών και θα προκύψει το τελικό συναρμολογημένο πατίνι. Για την σύνδεση/συγκράτηση των παραπάνω εξαρτημάτων είναι απαραίτητη η χρήση λυόμενων συνδέσεων οι αναφέρονται παρακάτω πριν τη διαδικασία συναρμολόγησης.

Επίσης τα στοιχεία μηχανών όπως τα έδρανα, οι ασφάλειες εδράνων, οι τσιμούχες και τα στοιχεία λυόμενης σύνδεσης δε παρουσιάζονται στην ενότητα με τα τρισδιάστατα σχέδια, διότι είναι τυποποιημένα στοιχεία μηχανών και μπορούν να βρεθούν έτοιμα από τις εταιρίες πώλησής τους.



11.1. Ομάδες και στοιχεία μηχανών

Ομάδες εξαρτημάτων

- Μηχανισμός αναδίπλωσης
- Κινητήρας τροχός
- Πίσω τροχός
- Τιμόνι και περιφερειακών τιμονιού

Στοιχεία μηχανών

- 2 έδρανα κύλισης, «**16004**» μονόσφαιρου τριβέα.
- 2 έδρανα κύλισης, «**6003-2RSL**» μονόσφαιρου τριβέα.
- 2 έδρανα κύλισης, γωνιώδους επαφής «**7304 BE-2RZP**».

Στοιχεία λυόμενων συνδέσμων

Κοιλίας συναρμογής **DIN 609**:

- 1 × M10x1.5x100

Κοιλίας με εσωτερικό εξάγωνο κυλινδρική κεφαλή **ISO 7380**:

- 2 × M3x8
- 3 × M3x14
- 10 × M3x8
- 6 × M3x10
- 6 × M5x10

Κοιλίας με εσωτερικό εξάγωνο **DIN 912**:

- 2 × M4x30
- 6 × M3x20
- 2 × M6x25
- 8 × M2x6
- 4 × M2x5
- 6 × M2x20

Περικόγλιο φλάντζα αυτοασφαλιζόμενο με οδόντωση **DIN 6926**:

- 2 × M20
- 2 × M14

Εξάγωνο περικόγλιο **DIN 934**:

- 6 × M3
- 2 × M6



Εξάγωνο περικόγλιο (DIN 555) ISO 4032

- $2 \times M10 \times 1.5$

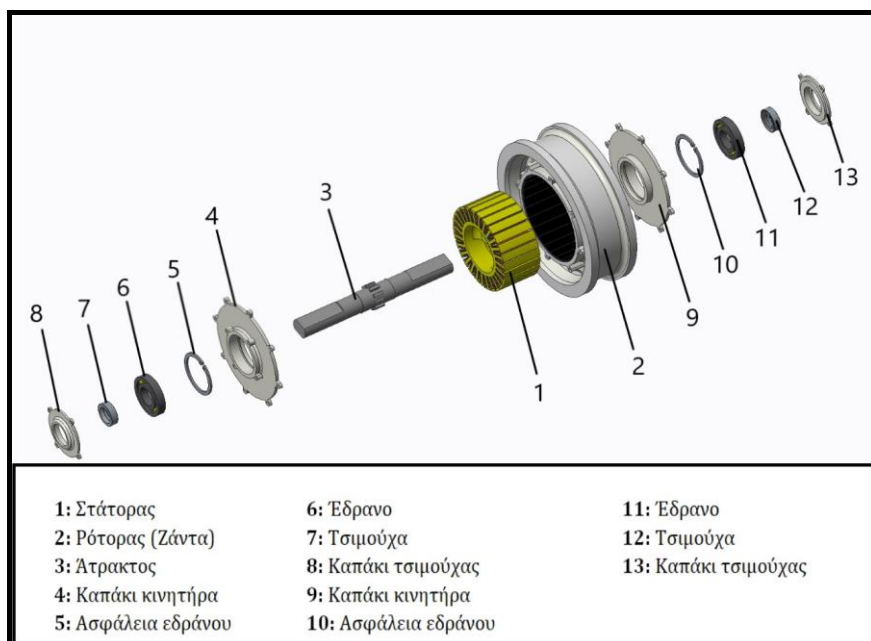
Ροδέλα ISO 7089:

- $2 \times M14$
- $2 \times M6$
- $6 \times M3$
- $2 \times M20$

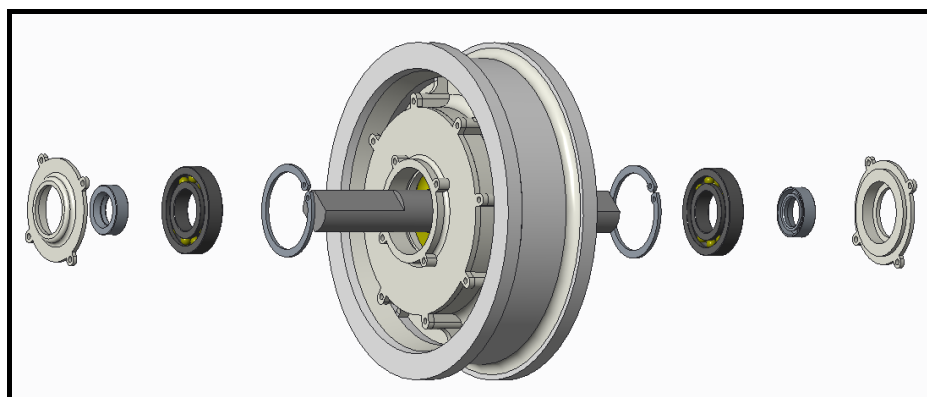
Ροδέλα ISO 7093:

- $2 \times M10$

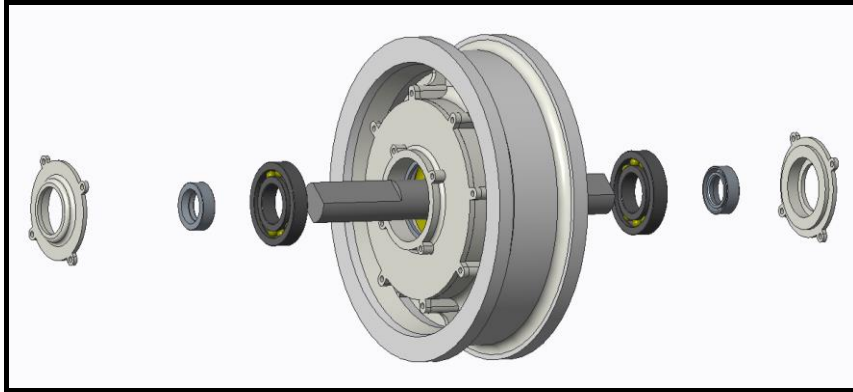
11.2. Συναρμολόγηση κινητήρα-τροχού



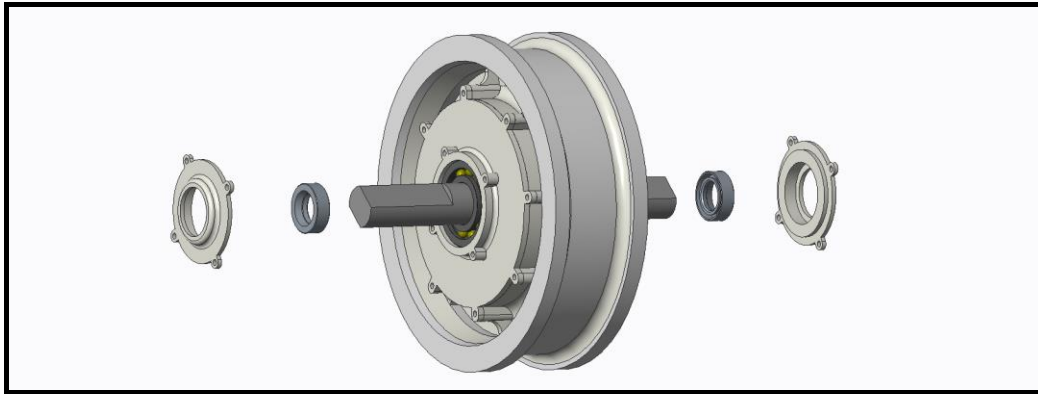
Εικόνα 11.2.1: Εξαρτήματα συναρμολόγησης κινητήρα-τροχού.



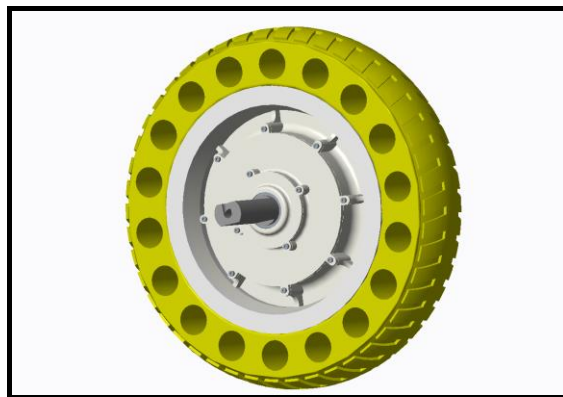
Εικόνα 11.2.2: Εισαγωγή του στάτορα στο εσωτερικό της ζάντας και κάλυψη με τα καπάκια.



Εικόνα 11.2.3: Εφαρμογή των εξωτερικών ασφαλειών DIN 472 στα καπάκια του κινητήρα.

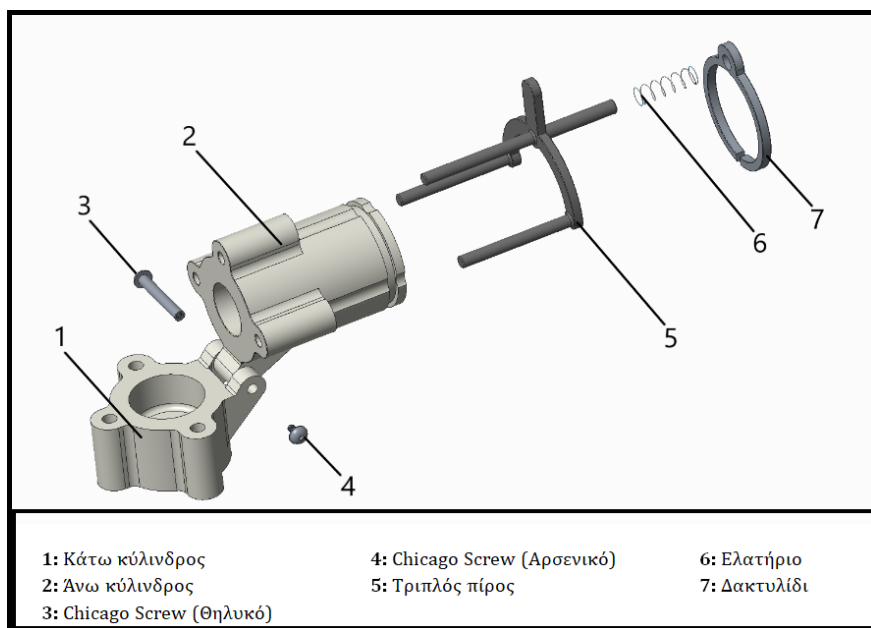


Εικόνα 11.2.4: Εισαγωγή των εδράνων 16004 στην άτρακτο.

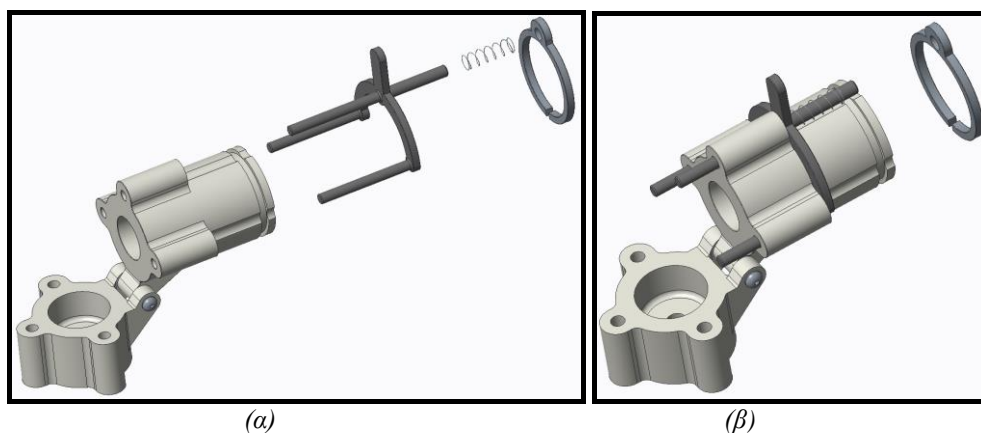


Εικόνα 11.2.5: Εισαγωγή τσιμούχων και κλείσιμο με τα καπάκια τσιμούχων, λυόμενες συνδέσεις με κοχλίες DIN 912 M2.

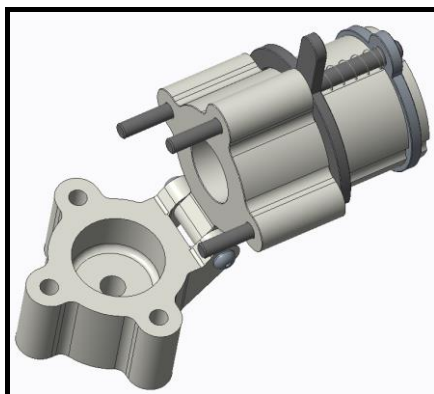
11.3. Συναρμολόγηση μηχανισμού αναδίπλωσης



Εικόνα 11.3.1: Εξαρτήματα συναρμολόγησης μηχανισμού αναδίπλωσης.



Εικόνα 11.3.2: (α) Ένωση των 2 κυλίνδρων και βίδωμα βίδας-πίρου Chicago (sex bolt). (β) Ένωση τριπλού πίσου με άνω κύλινδρο και εισαγωγή ελατηρίου στο τριπλό πίσο.

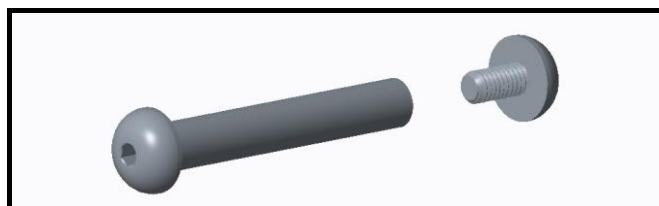


Εικόνα 11.3.3:

Εφαρμογή του δακτυλίου ασφαλείας συγκράτησης του ελατηρίου και του τριπλού πύρου .



(α)

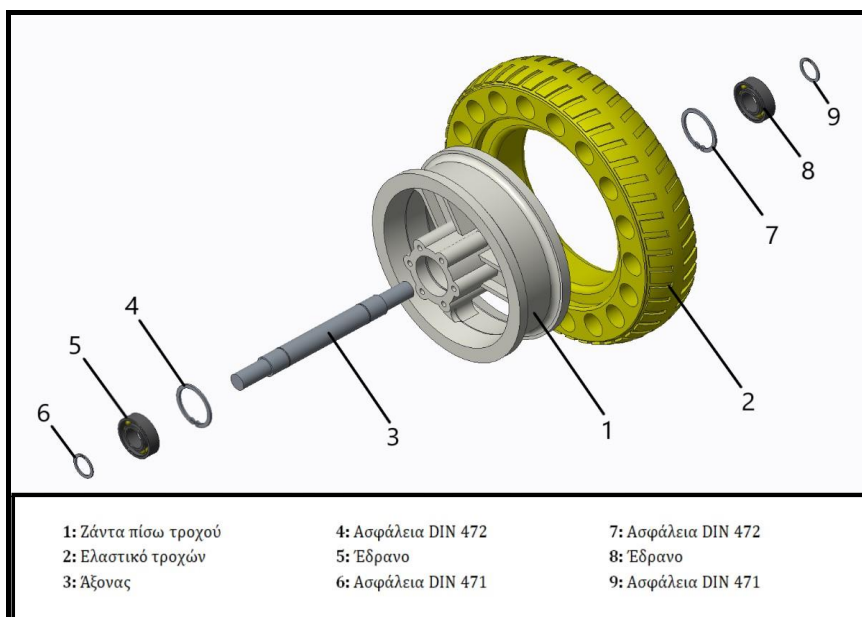


(β)

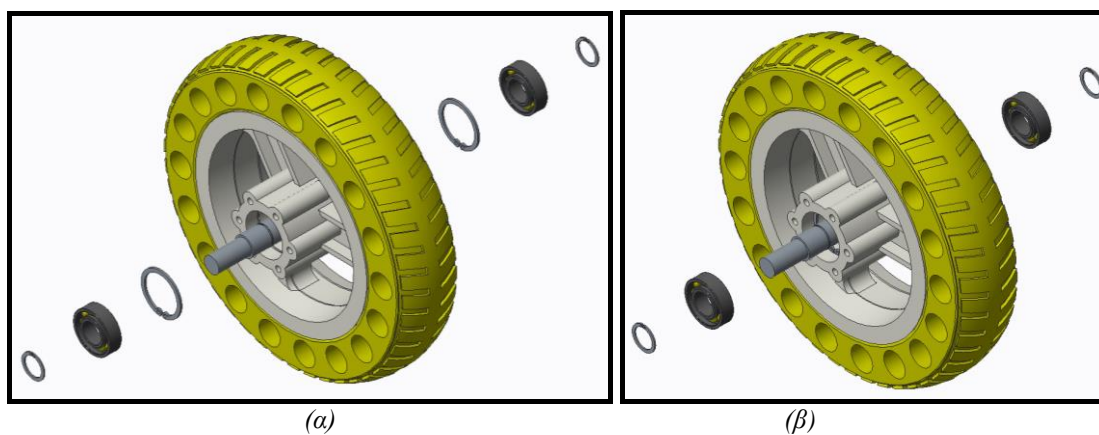
Εικόνα 11.3.4:

Πύρος-βίδα «Chicago screw» ή «sex bolt».

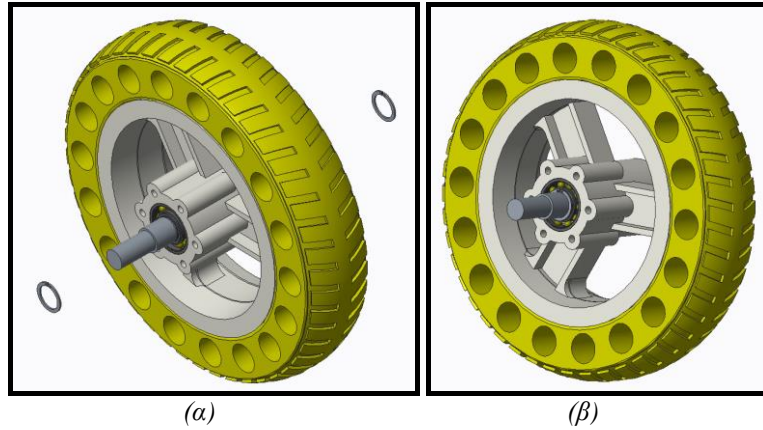
11.4. Συναρμολόγηση πλατφόρμας και πίσω τροχού



Εικόνα 11.4.1: Εξαρτήματα συναρμολόγησης μηχανισμού αναδίπλωσης.

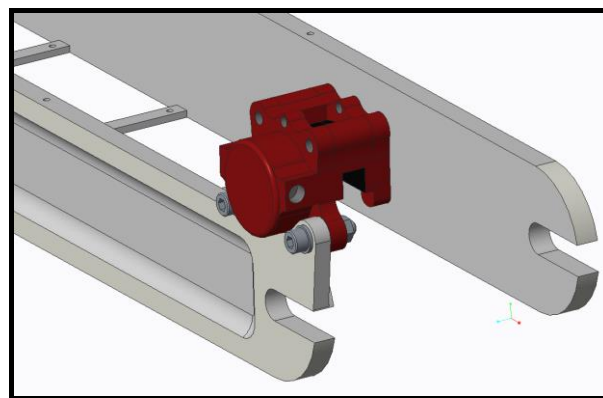
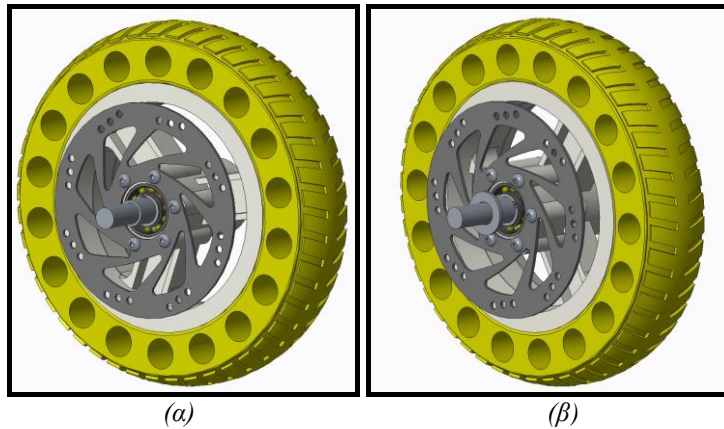


Εικόνα 11.4.2: (α) Εισαγωγή ζάντας στο ελαστικό και άξονα στο κέντρο της ζάντας. (β) Εφαρμογή των εξωτερικών ασφαλειών DIN 472 στη ζάντα.



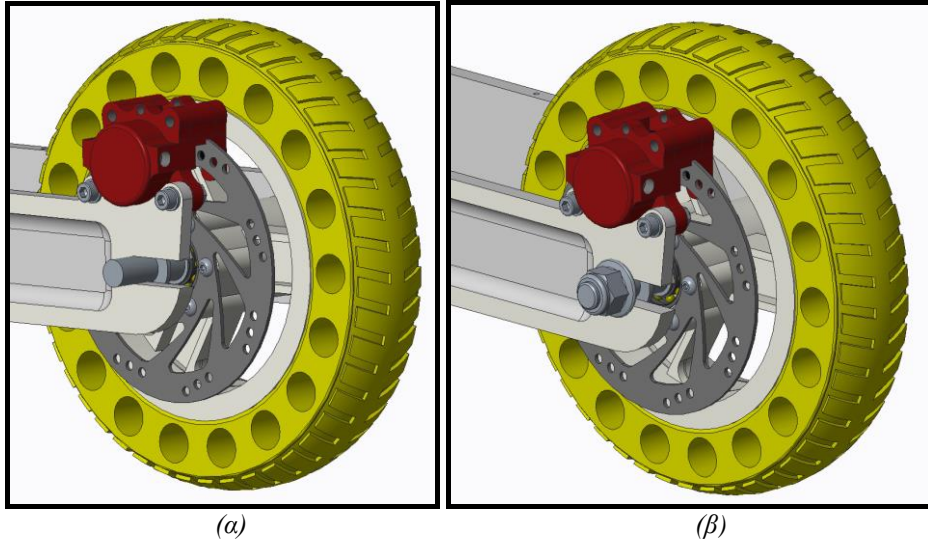
Εικόνα 11.4.3:

(α) Εισαγωγή εδράνων κύλισης στον άξονα. (β) Εφαρμογή των εσωτερικών ασφαλειών DIN 471 στον άξονα.



Εικόνα 11.4.4:

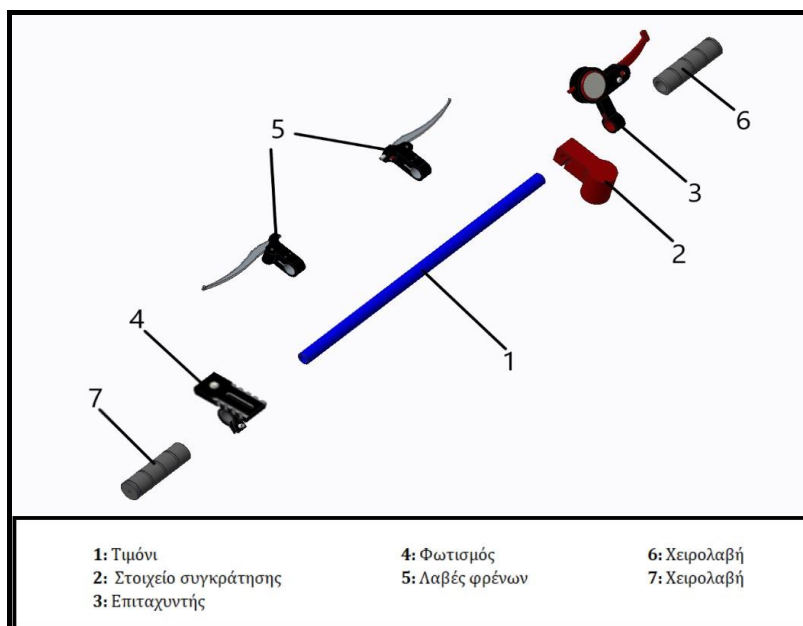
(α) Εφαρμογή δισκόφρενου στη ζάντα και συγκράτηση με κοχλίες ISO 7380 M5. (β) Εισαγωγή ροδέλων ISO 7089 M14 στον άξονα. (γ) Συναρμογή μηχανισμού πέδησης στη πλατφόρμα.



Εικόνα 11.4.5:

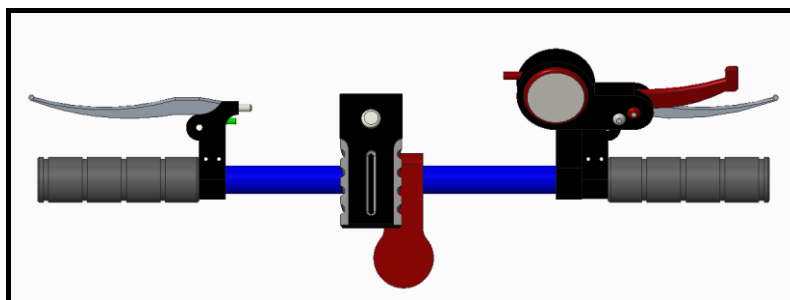
(α) Ένωση άξονα και πλατφόρμας. (β) Συγκράτηση άξονα με κοχλίες DIN 6926 M14.

11.5. Συναρμολόγηση τιμονιού και περιφερειακών τιμονιού



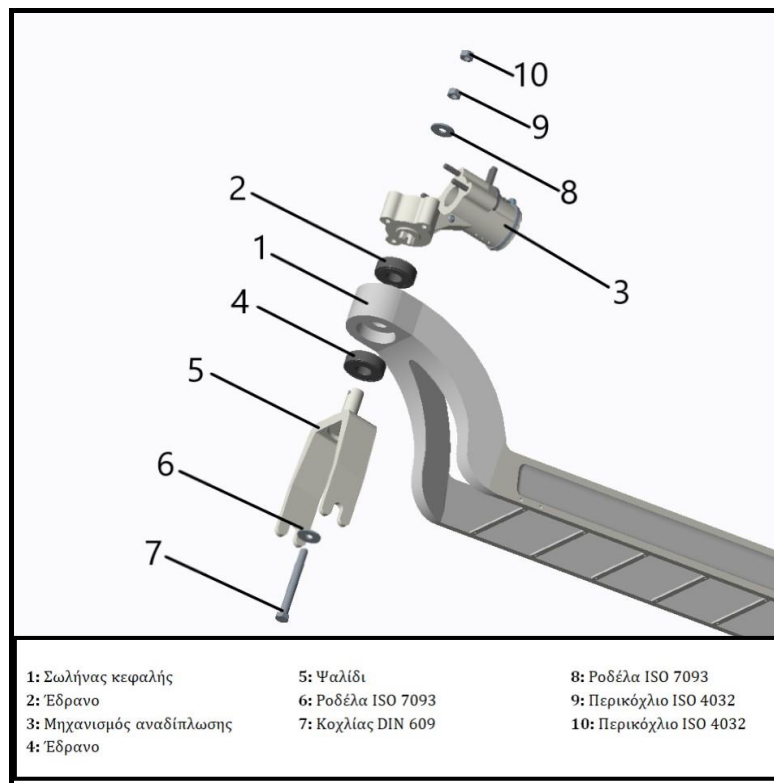
Εικόνα 11.5.1: Εξαρτήματα συναρμολόγησης του τιμονιού.

Επειδή το τιμόνι συναρμολογείται εύκολα δεν παρουσιάζεται με λεπτομέρειες η συναρμολόγηση του.

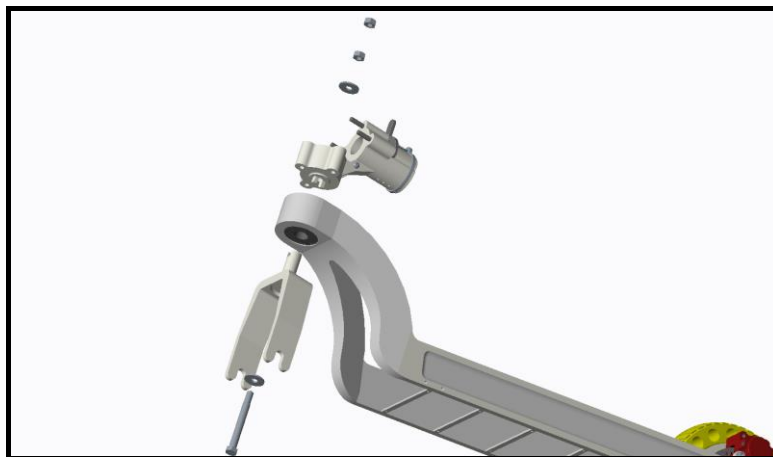


Εικόνα 11.5.2: Συναρμολογημένο τιμόνι με τα περιφερειακά του.

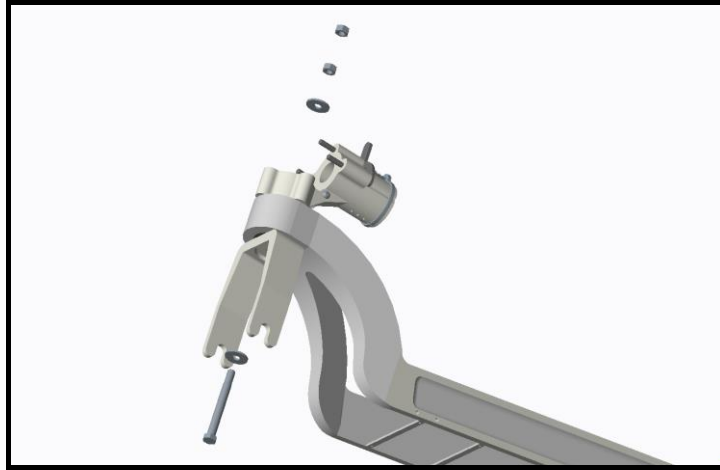
11.6. Συναρμολόγηση υπόλοιπων εξαρτημάτων



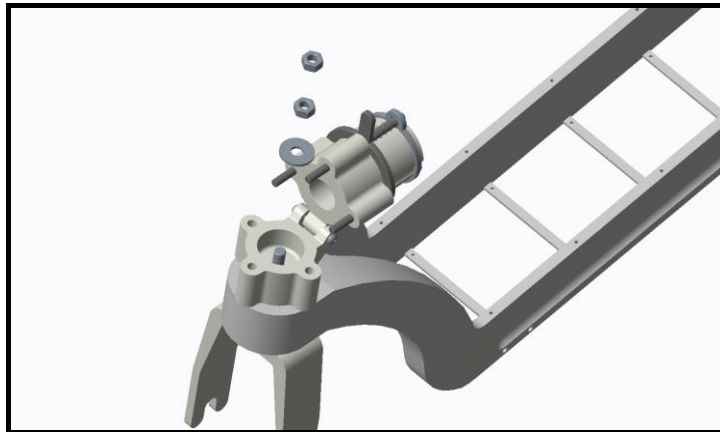
Εικόνα 11.6.1: Εξαρτήματα συναρμολόγησης πλατφόρμας, μηχανισμού αναδίπλωσης και ψαλιδιού.



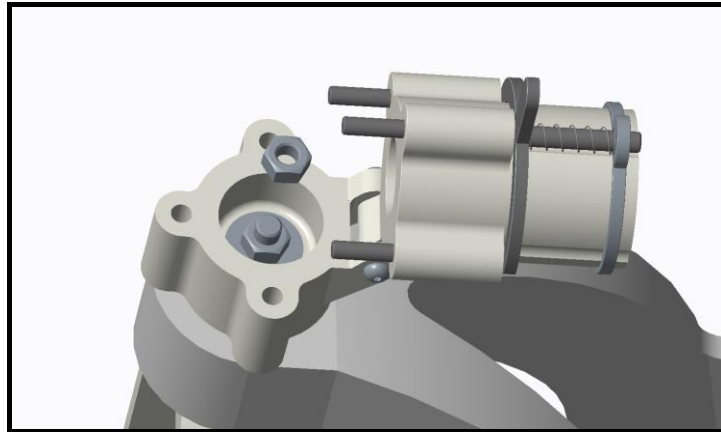
Εικόνα 11.6.2: Εφαρμογή των ρουλεμάν γωνιώδους επαφής στον σωλήνα κεφαλής.



Εικόνα 11.6.3: Εφαρμογή του ψαλιδιού και του μηχανισμού στο αντίστοιχο ρουλεμάν.

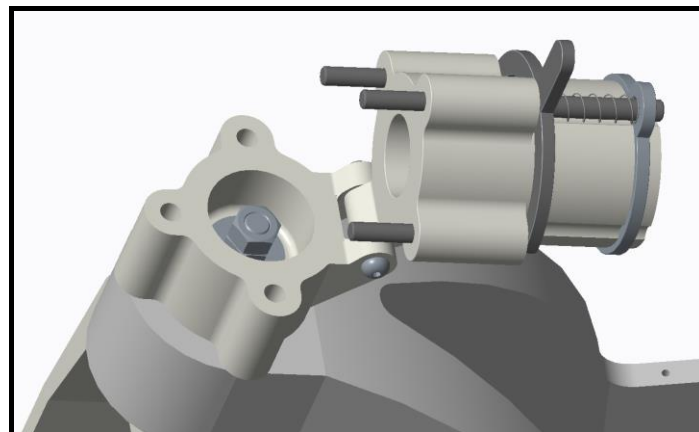


Εικόνα 11.6.4: Φαίνεται η προεξοχή του κοχλία συναρμογής DIN 609 η οποία φέρει το σπείρωμα.



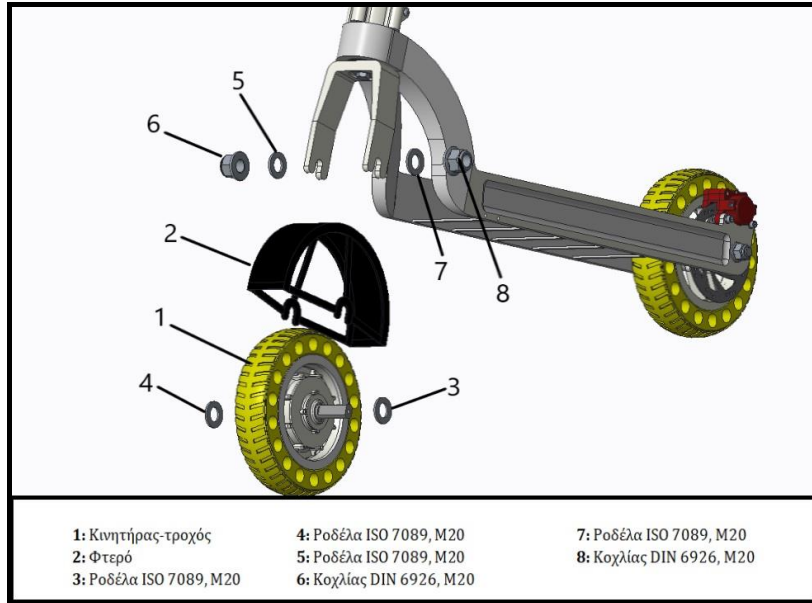
Εικόνα 11.6.5: Εφαρμογή της ροδέλας και βίδωμα του πρώτου κοχλία.

Η καλύτερη λύση που βρέθηκε για να ασφαλιζεται το περικόχλιο και να μη στριφογυρίζει είναι να χρησιμοποιηθεί αντιπερικόχλιο.

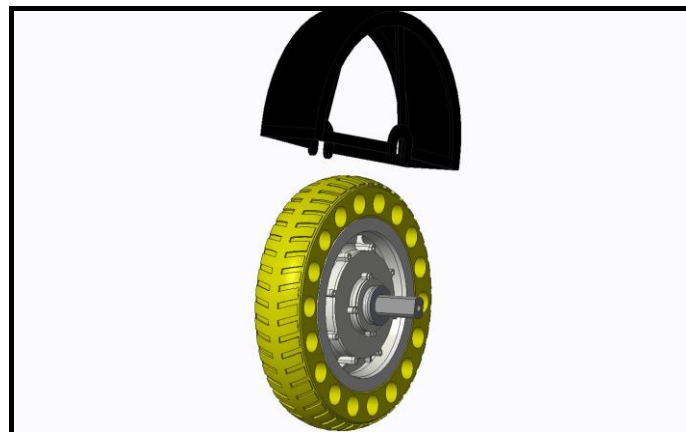


Εικόνα 11.6.6: Βίδωμα του αντιπερικόχλιου.

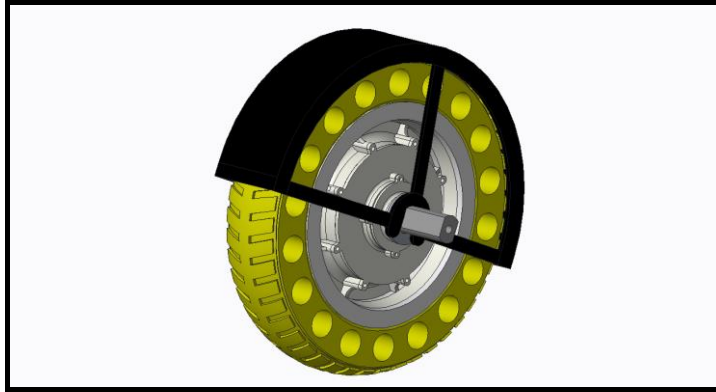
Η ροδέλες επιλέχθηκε κατά ISO 7093 για να μεγαλώσει η επιφάνεια που ασκείται η τάση από τον κοχλία συναρμογής στα εξαρτήματα που είναι από υλικό μικρότερης αντοχής από τον κοχλία.



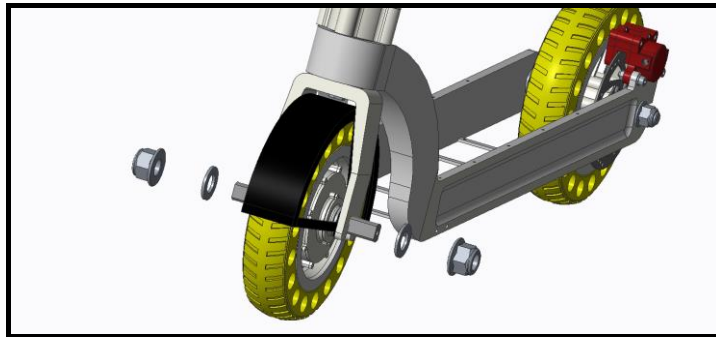
Εικόνα 11.6.7: Εξαρτήματα συναρμολόγησης πλατφόρμας-κινητήρα.



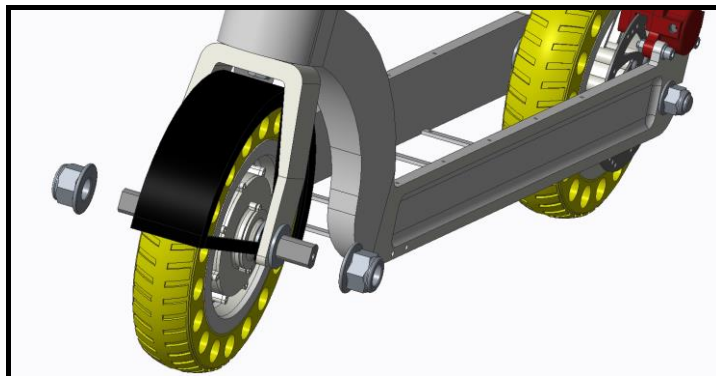
Εικόνα 11.6.8: Εισαγωγή των ροδελών στην άτρακτο.



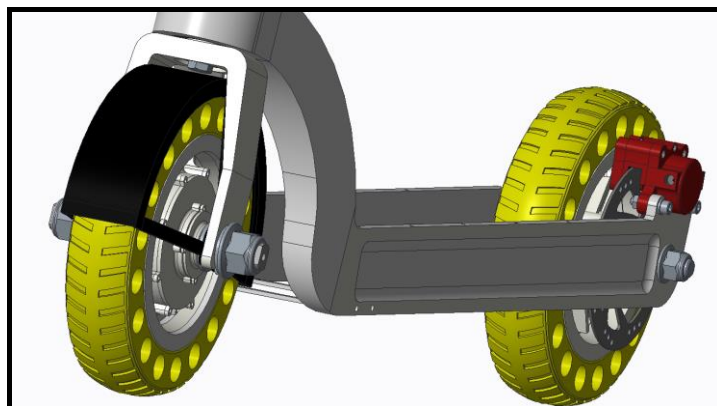
Εικόνα 11.6.9: Εφαρμογή του φτερού στην άτρακτο.



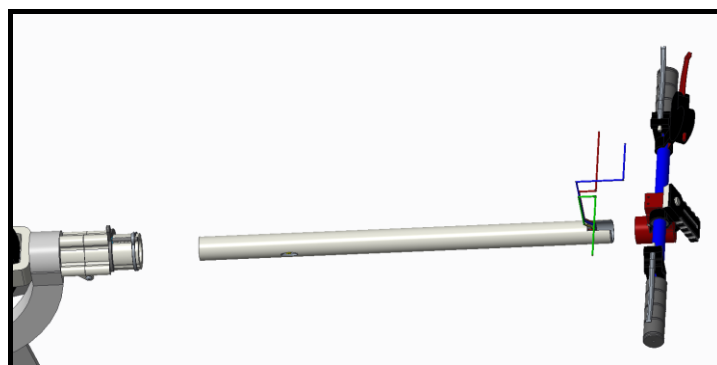
Εικόνα 11.6.10: Ένωση κινητήρα και ψαλιδιού.



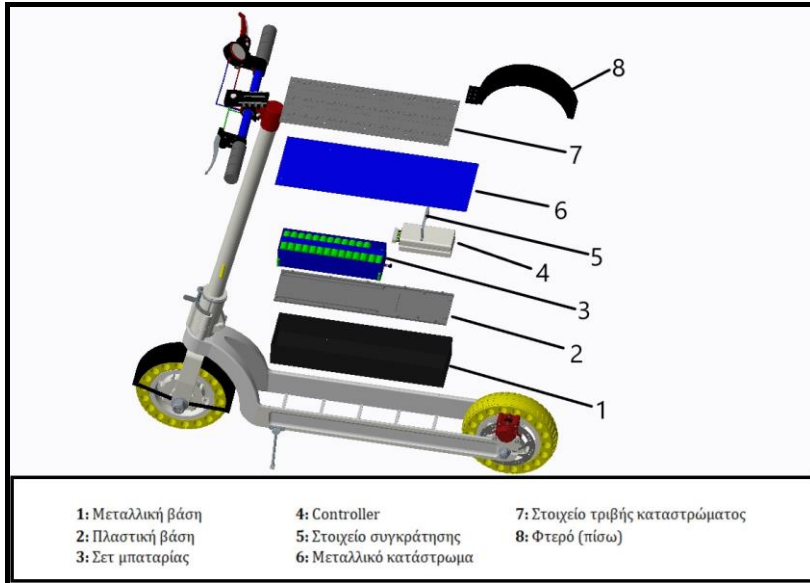
Εικόνα 11.6.11: Εισαγωγή των ροδελών στην άτρακτο, εξωτερικά των άκρων του ψαλιδιού.



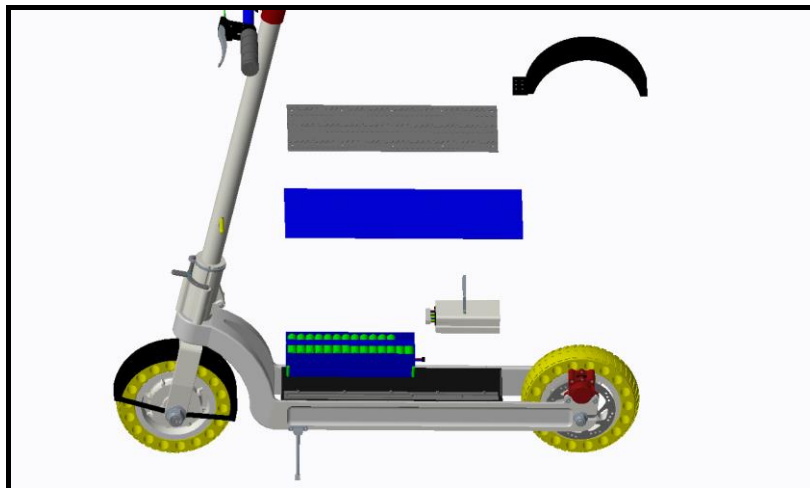
Εικόνα 11.6.12: *Βίδωμα των κοχλιών DIN 6926, M20 στην άτρακτο.*



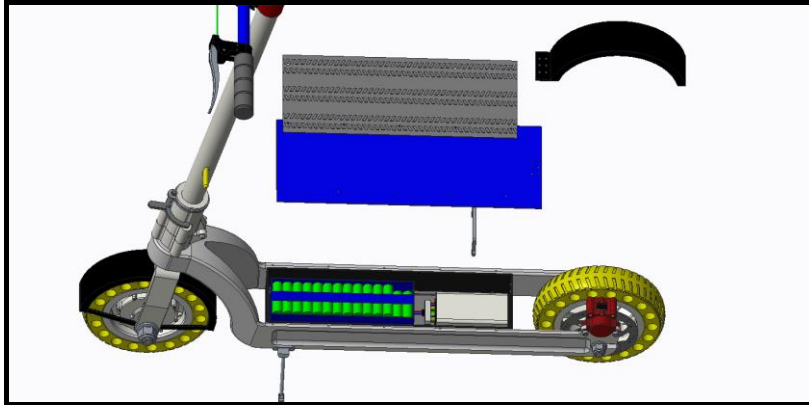
Εικόνα 11.6.13: *Συναρμολόγηση μηχανισμού αναδίπλωσης, στελέχους και τιμονιού. Πριν όμως ενωθεί το τιμόνι με το στέλεχος περνάει η καλωδίωση και τα σύρματα των φρένων μέσα από το στέλεχος.*



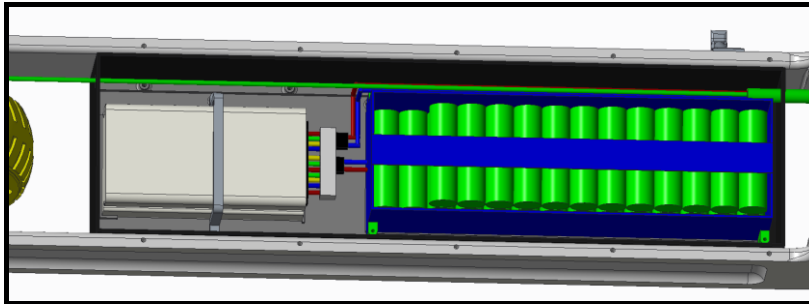
Εικόνα 11.6.14: Εξαρτήματα συναρμολόγησης πλατφόρμας ενέργειας.



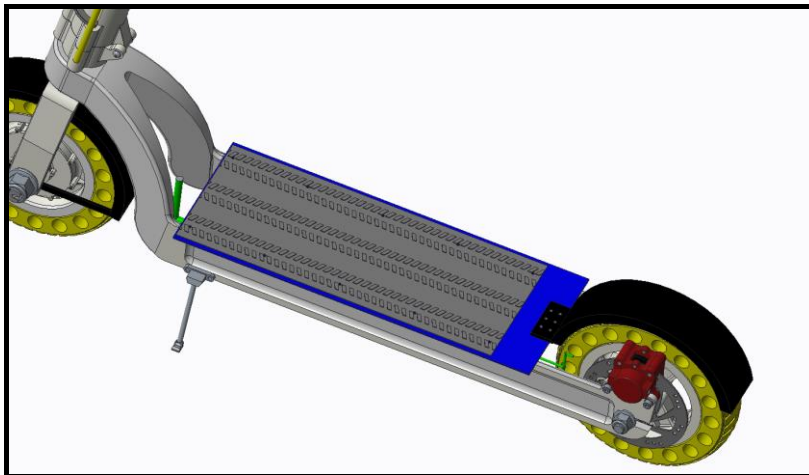
Εικόνα 11.6.15: Εισαγωγή μεταλλικής βάσης στο σκελετό και εισαγωγή της πλαστικής βάσης στο εσωτερικό της μεταλλικής βάσης.



Εικόνα 11.6.16: Εισαγωγή του σετ μπαταριών και του controller επί της πλαστικής βάσης, στα προκαθορισμένα σημεία.



Εικόνα 11.6.17: Εισαγωγή του στοιχείου συγκράτησης controller και καλωδίωση.



Εικόνα 11.6.18: Τελικό βήμα συναρμολόγησης η ένωση του καταστρώματος, να τοποθετηθεί το κατάστρωμα και το φτερό.

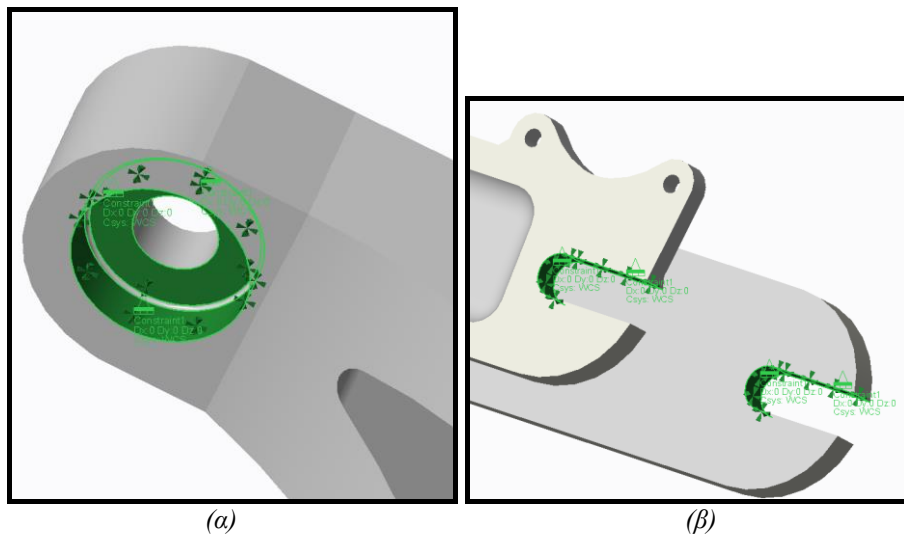


12. Αποτελέσματα από FEA για τα εξαρτήματα

Η μελέτη των εξαρτημάτων με FEA (finite element analysis) έγινε μετά τη συναρμολόγηση για να είναι πιο ξεκάθαρα τα σημεία και η φορά εφαρμογής των φορτίων. Τα τεμάχια που μελετήθηκαν με FEA (finite element analysis) είναι αυτά που η γεωμετρία τους βρέθηκε και διαμορφώθηκε κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και δεν μοιάζει με στοιχεία άλλων μοντέλων (ζάντες, σωλήνας τιμονιού κ.α.). Επίσης δεν μελετήθηκαν με FEA στοιχεία όπως η άτρακτος και ο άξονας διότι έχει μελετηθεί η αντοχή τους με άλλη μέθοδο σε προηγούμενη ενότητα.

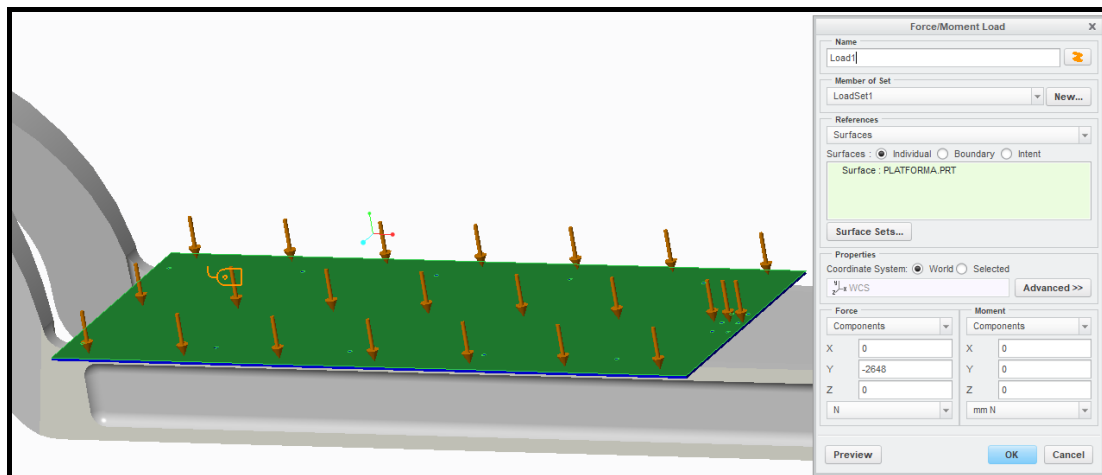
12.1. Πλατφόρμα και κατάστρωμα

Το φορτίο που ασκείται επάνω στη πλατφόρμα και στο κατάστρωμα είναι το βάρος του αναβάτη 981 [N]. Η ανάλυση γίνεται ταυτόχρονα στη πλατφόρμα και το κατάστρωμα, η επαφή μεταξύ τους είναι ορισμένη ως «**Bonded**». Λαμβάνεται υπόψη συντελεστής ασφαλείας =2 και συντελεστής κρουστικών τάσεων =1.35. Άρα το φορτίο που θα οριστεί στην ανάλυση είναι **2648 [N]**.



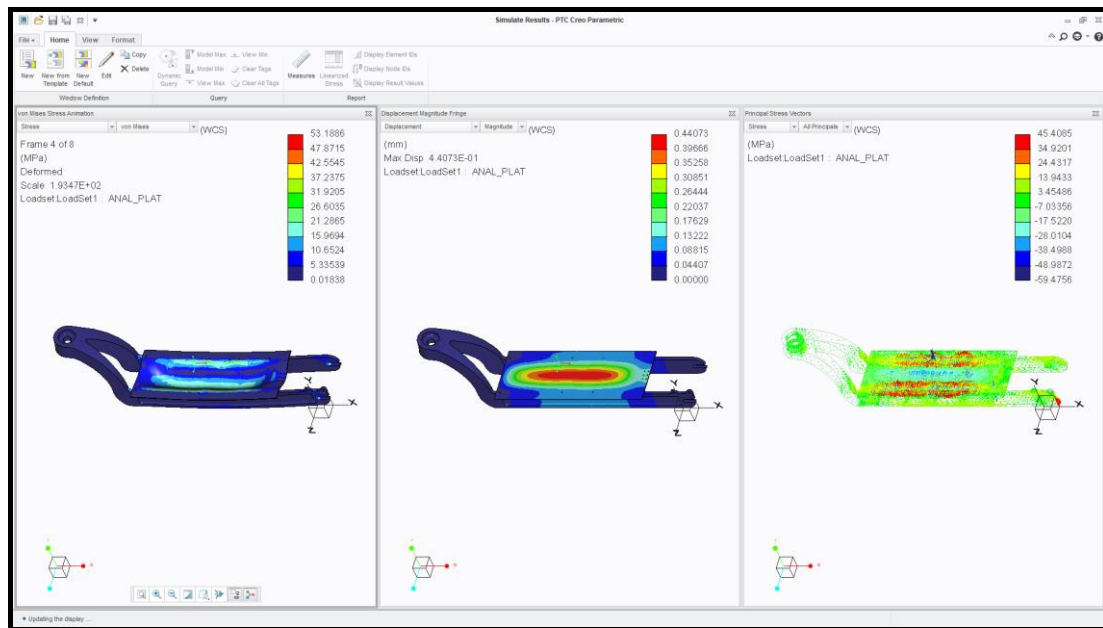
Εικόνα 12.1.1:

Ορισμός στηρίξεων πλατφόρμας.



Εικόνα 12.1.2:

Ορισμός φόρτισης πλατφόρμας καταστρώματος.



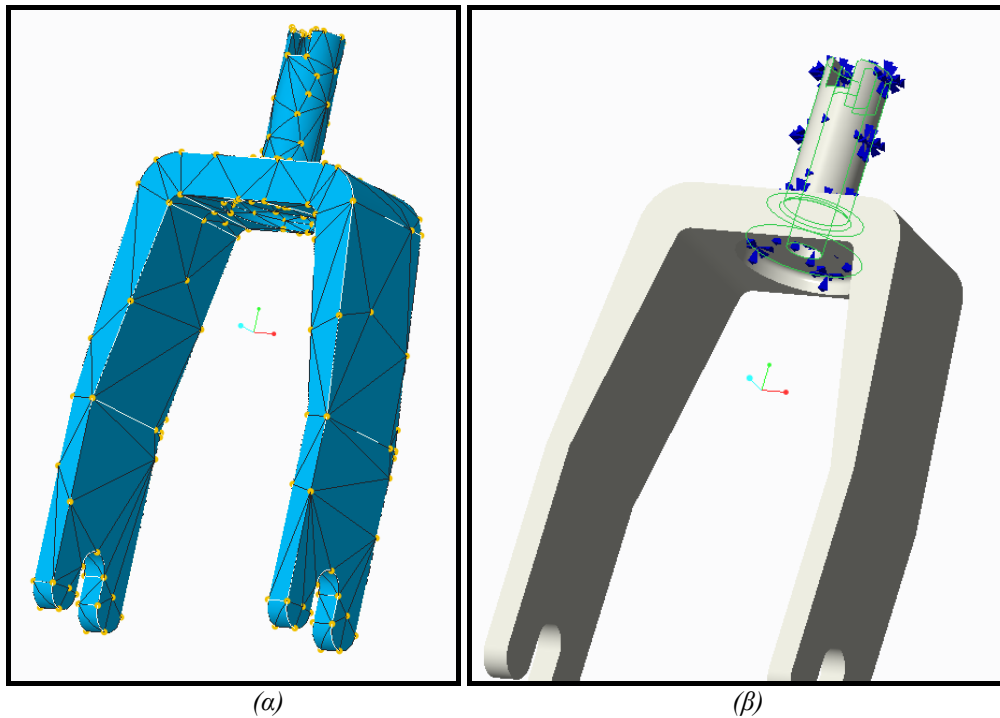
Εικόνα 12.1.3: Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων ανάλυσης για τη πλατφόρμα και το κατάστρωμα.

Δεδομένα και αποτελέσματα	
Υλικό	Αλουμίνιο 6061 T6
Αντοχή υλικών	120 [Mpa]
Μέγιστη τάση	53.18 [Mpa]
Μέγιστη μετατόπιση	0.44 [mm]

Πίνακας 12.1.1: Δεδομένα και αποτελέσματα ανάλυσης για τη πλατφόρμα και το κατάστρωμα.

12.2. Ψαλίδι

Το ψαλίδι συγκρατείται με κοχλία στο έδρανο γωνιώδους επαφής και συγκρατεί την άτρακτο άρα τα σημεία που θα επικοινωνούν με το έδρανο γωνιώδους επαφής και το κοχλία ορίζονται ως στηρίξεις και τα φορτία θα οριστούν στα σημεία επαφής με την άτρακτο. Η δύναμη που θα ασκείται στο ψαλίδι από το βάρος του αναβάτη λόγω της κλίσης του σωλήνα κεφαλής μπορεί να χωριστεί σε συνιστώσες, όμως επειδή η γωνία είναι ελάχιστα μικρότερη των 90 μοιρών η διαίρεση σε συνιστώσες μπορεί να μην γίνει.

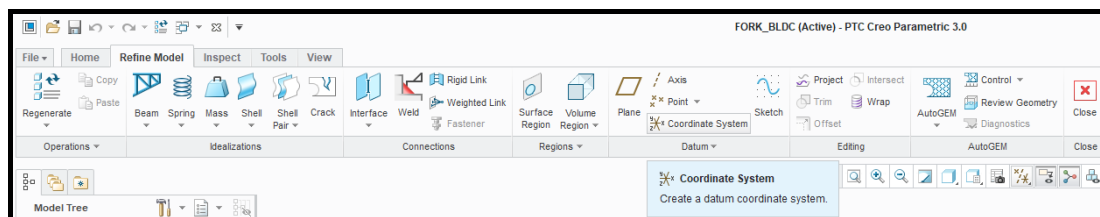


Εικόνα 12.2.1: (α) Δημιουργημένο πλέγμα ψαλιδιού. (β) Ορισμός στηρίξεων ψαλιδιού.

Για να οριστεί σωστά η στρεπτική ροπή που θα ασκείται στο ψαλίδι από την άτρακτο δημιουργήθηκε ένα σύστημα συντεταγμένων «**Cylinder**» επίσης ορίστηκε ένα σημείο στο κέντρο αυτών των συντεταγμένων. Αυτά ήταν απαραίτητα διότι ο τύπος του φορτίου δεν είναι κοινός όπως στα υπόλοιπα στοιχεία αλλά είναι στρεπτική ροπή και απαιτείται ένα ειδικό σημείο αναφοράς. Η διαδικασία ξεκινάει επιλέγοντας την καρτέλα «**Refine Model**» στο περιβάλλον «**Simulation**».

Ορισμός κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων

Βήματα: **Refine model > Coordinate System**

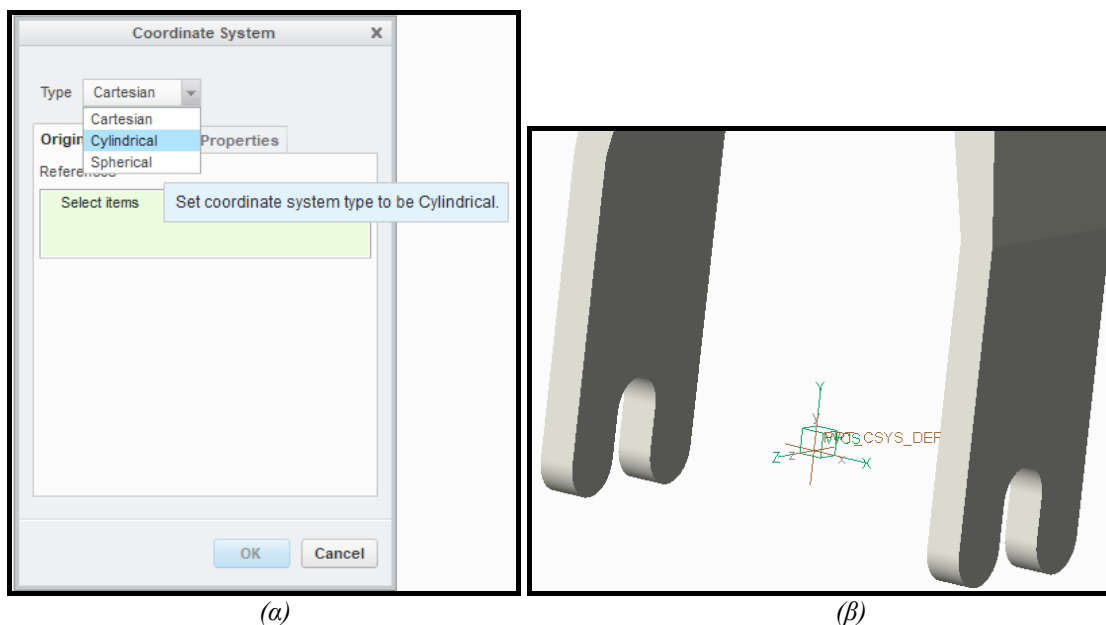


Εικόνα 12.2.2: Επιλογή «Coordinate System» στη καρτέλα «Refine Model» στο περιβάλλον «Simulation»

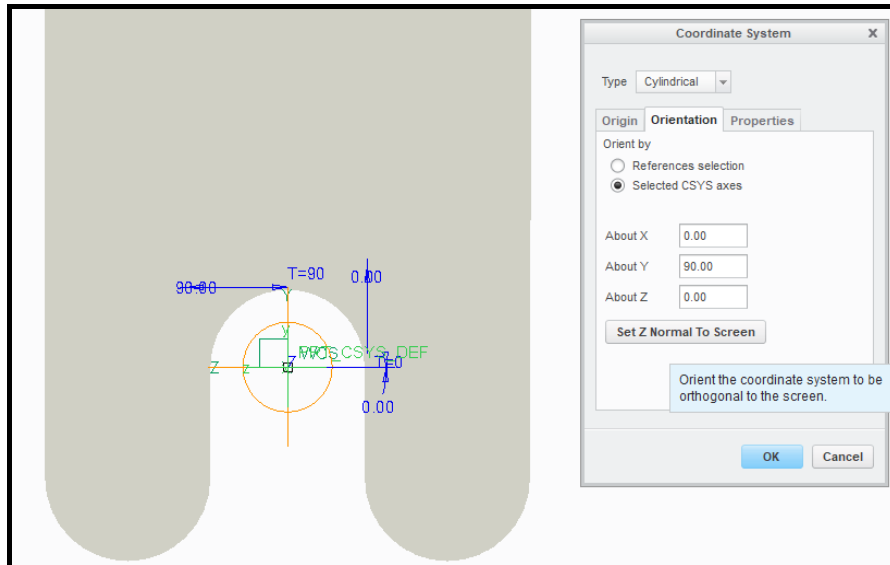
Αναδύεται ένα παραθυράκι ρύθμισης των παραμέτρων του «Coordinate System» στο οποίο επιλέγεται στο «Type» ο τύπος των συντεταγμένων ο οποίος είναι «Cylinder» κυλινδρικός. Έπειτα επιλέγεται το σημείο αναφοράς των συντεταγμένων «Origin» και επιλέγεται το σύστημα συντεταγμένων το αρχικό του λογισμικού. Το αρχικό σύστημα ήταν στην επιθυμητή θέση η οποία είναι στο κέντρο της κυλινδρικής επιφάνειας επαφής του ψαλιδιού με την άτρακτο επίσης ανάμεσα από τα δύο άκρα του ψαλιδιού. Ο κύλινδρος των νέων συντεταγμένων είναι με φορά κάθετη στα άκρα του ψαλιδιού.

Δηλαδή οι τιμές στο «Orientation»:

$$X=0, \quad Y=90, \quad Z=0$$

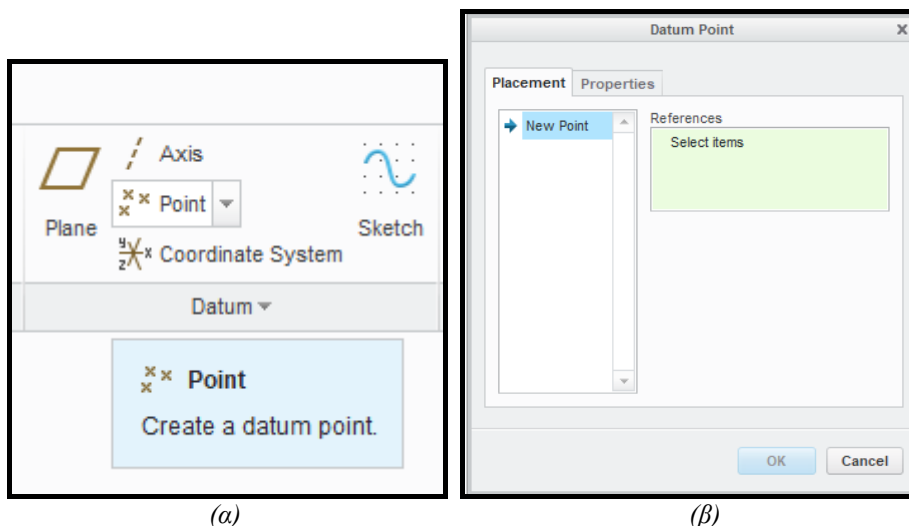


Εικόνα 12.2.3: (α) Επιλογή «Cylinder» στο είδος των συντεταγμένων στο παράθυρο ρύθμισης «Coordinate System». (β) Επιλεγμένο σύστημα αναφοράς, το αρχικό σύστημα με πράσινο χρώμα.



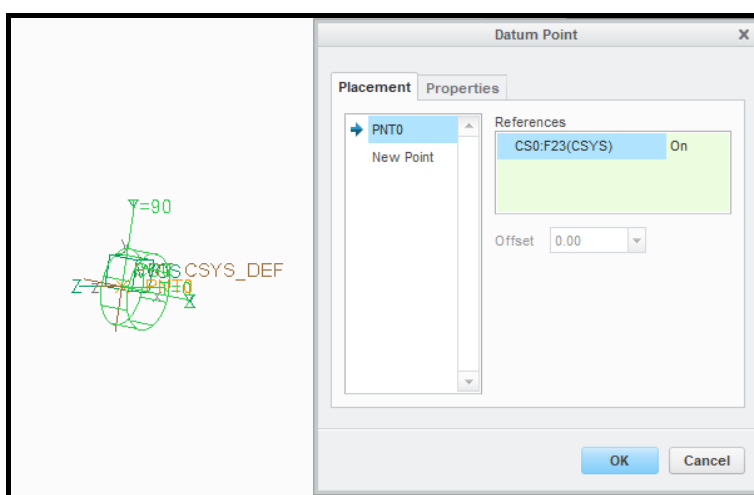
Εικόνα 12.2.4: Ρύθμιση φοράς και διεύθυνσης του κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων στο παράθυρο ρύθμισης «Coordinate System».

Πατώντας «ok» ολοκληρώνεται η διαδικασία ορισμού του κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων και το επόμενο βήμα είναι να οριστεί ένα σημείο στο κέντρο του κυλινδρικού συστήματος συντεταγμένων. Επιλέγοντας «Point» στο μενού «Datum» αναδύεται ένα παράθυρο «Datum Point» έπειτα πατώντας πάνω στο κυλινδρικό σύστημα από το «Model Tree» ή στο περιβάλλον προσομοίωσης επιλέγεται και εμφανίζεται στο ως «Reference» στη καρτέλα «Placement» του παραθύρου «Datum Point». Η διαδικασία ορισμού του σημείου ολοκληρώνεται πατώντας «ok».



(α)

(β)



(γ)

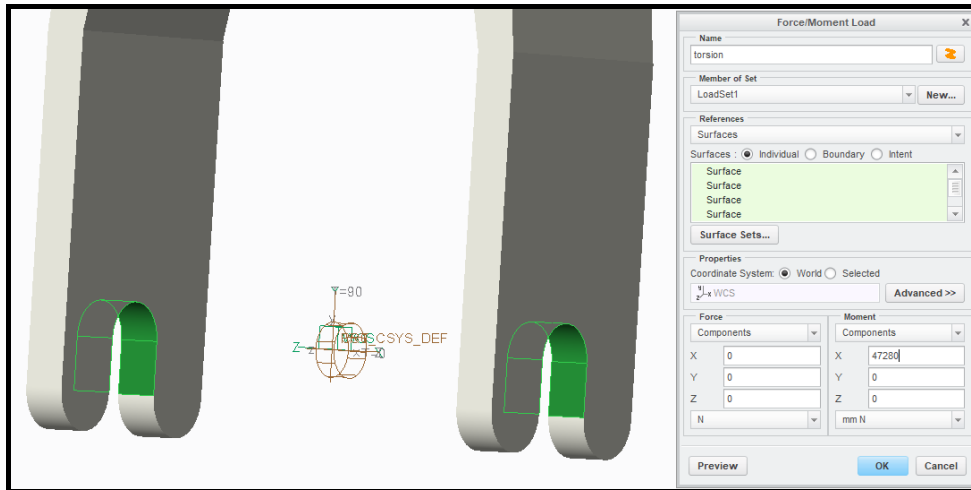
Εικόνα 12.2.5:

Διαδικασία ορισμού σημείου.

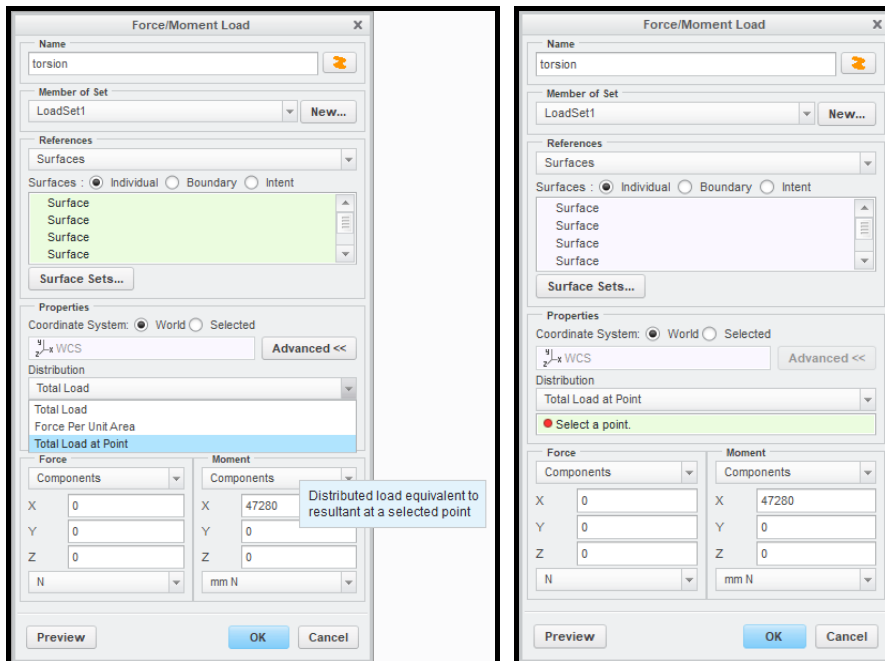
Ορισμός των φορτίσεων

Η ροπή στρέψης ορίζεται στο ίδιο παράθυρο «**Loads/Moment Load**» και επιλέγοντας τις επιφάνειες πάνω στο τεμάχιο όπως πριν, αλλά στα «**Properties**» πατώντας «**Advanced**» εμφανίζεται η επιλογή «**Distribution**» στην οποία επιλέγεται το «**Total Load at Point**», ουσιαστικά τώρα ορίστηκε το πώς κατανέμεται το φορτίο και επειδή είναι ροπή στρέψης κατανέμεται ως προς ένα σημείο (αυτό που ορίστηκε πριν). Μετά εμφανίζεται από κάτω «**Select a Point**» και επιλέγεται το σημείο που ορίστηκε. Επίσης οι τιμές του φορτίου καταχωρούνται στις διευθύνσεις που ανήκουν στην κατηγορία «**Moment**» και όχι «**Force**».

Η τιμή της ονομαστικής ροπής στρέψης είναι **23.640 [N*mm]** αλλά για λόγους ασφαλείας καταχωρείται η διπλάσια τιμή, οι κινητήρες έχουν ροπή εκκίνησης αρκετά μεγαλύτερη της ονομαστικής. Ο άξονας που επιλέγεται είναι ίδιας φοράς με τη φορά των κυλινδρικών συντεταγμένων. Η διαδικασία ολοκληρώνεται πατώντας «**ok**» και κλείνει το παράθυρο.



(α)



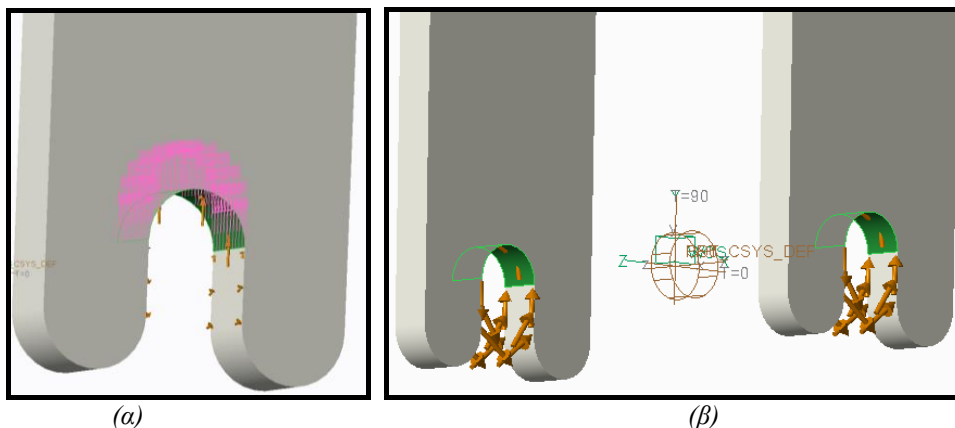
(β)

(γ)

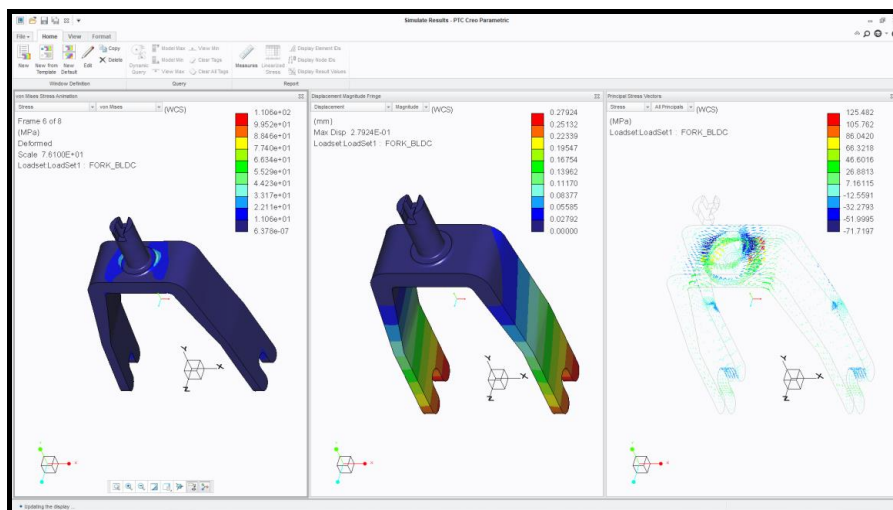
Εικόνα 12.2.6:

Διαδικασία ορισμού της ροπής στρέψης με τιμή 47280 [N*mm]. (α) Επιλογή των επιφανειών που ασκείται η ροπή. (β) Επιλογή κατανομής της δύναμης ως προς σημείο. (γ) Επιλογή του σημείου.

Στη συνέχεια ορίστηκε η φόρτιση από το βάρος του αναβάτη και έγινε η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων.



Εικόνα 12.2.7: Διαδικασία ορισμού της ροπής στρέψης με τιμή 47280 [N*mm]. (α) Επιλογή των επιφανειών που ασκείται η ρπή. (β) Επιλογή κατανομής της δύναμης ως προς σημείο. (γ) Επιλογή του σημείου.



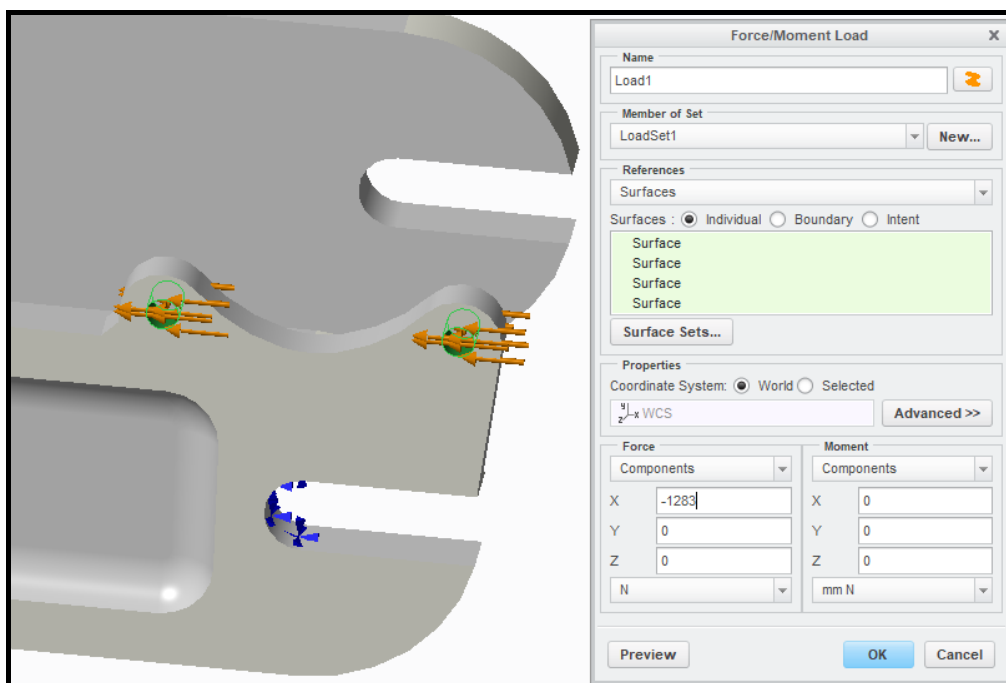
Εικόνα 12.2.8: Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων ανάλυσης για το ψαλίδι.

Δεδομένα και αποτελέσματα	
Υλικό	Αλουμίνιο 6061-T6
Αντοχή υλικού	120 [Mpa]
Μέγιστη τάση	59.82 [Mpa]
Μέγιστη μετατόπιση	0.12 [mm]

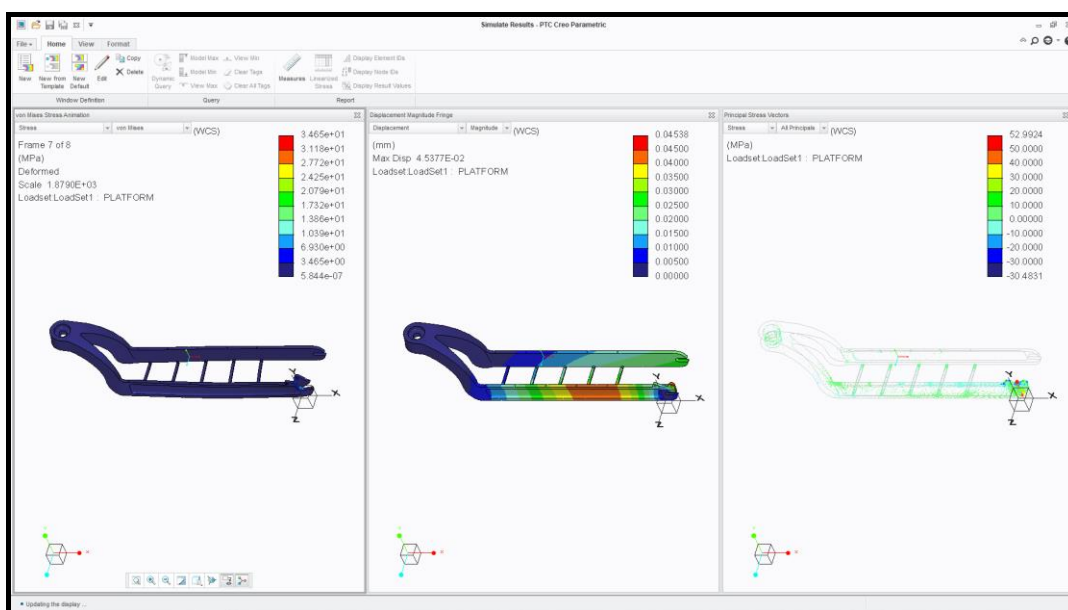
Πίνακας 12.2.1: Δεδομένα και αποτελέσματα ανάλυσης για το ψαλίδι.

12.3. Στοιχείο συγκράτησης μηχανισμού πέδησης

Το φορτίο που υπολογίστηκε ότι θα ασκείται στο μηχανισμό είναι $F_m = 475$ [N]. Λαμβάνεται υπόψη συντελεστής ασφαλείας =2 και συντελεστής κρουστικών τάσεων =1.35. Άρα το φορτίο που θα οριστεί στην ανάλυση είναι **1283** [N].



Εικόνα 12.3.1: Ορισμός φορτίου στο στοιχείο συγκράτησης του μηχανισμού πέδησης.



Εικόνα 12.3.2: Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων ανάλυσης για το στοιχείο συγκράτησης του μηχανισμού πέδησης.

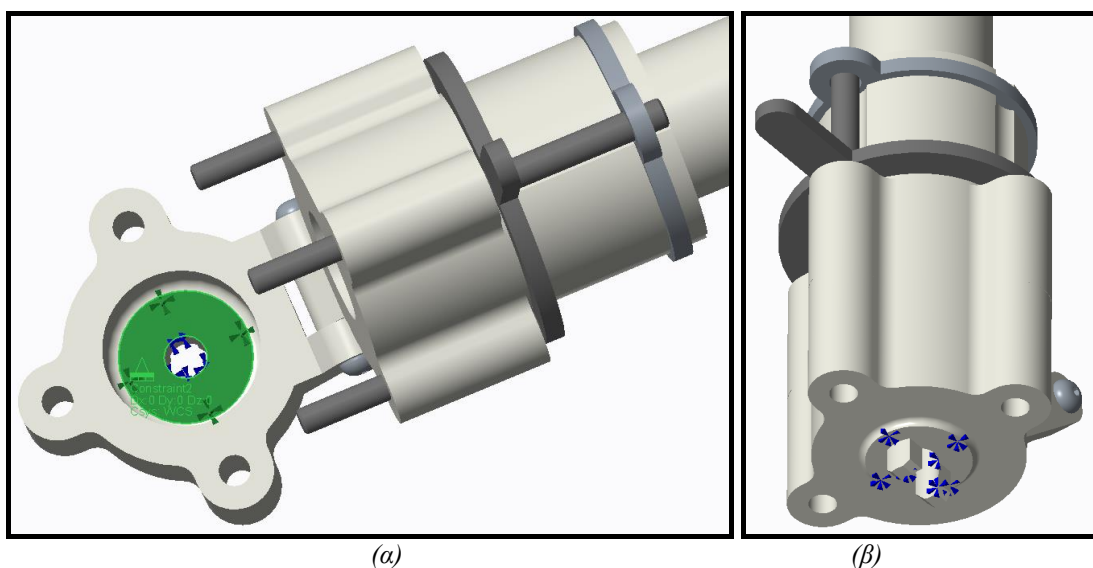


Δεδομένα και αποτελέσματα	
Υλικό	Αλουμίνιο 6061-T6
Αντοχή υλικού	120 [Mpa]
Μέγιστη τάση	52.99 [Mpa]
Μέγιστη μετατόπιση	0.045 [mm]

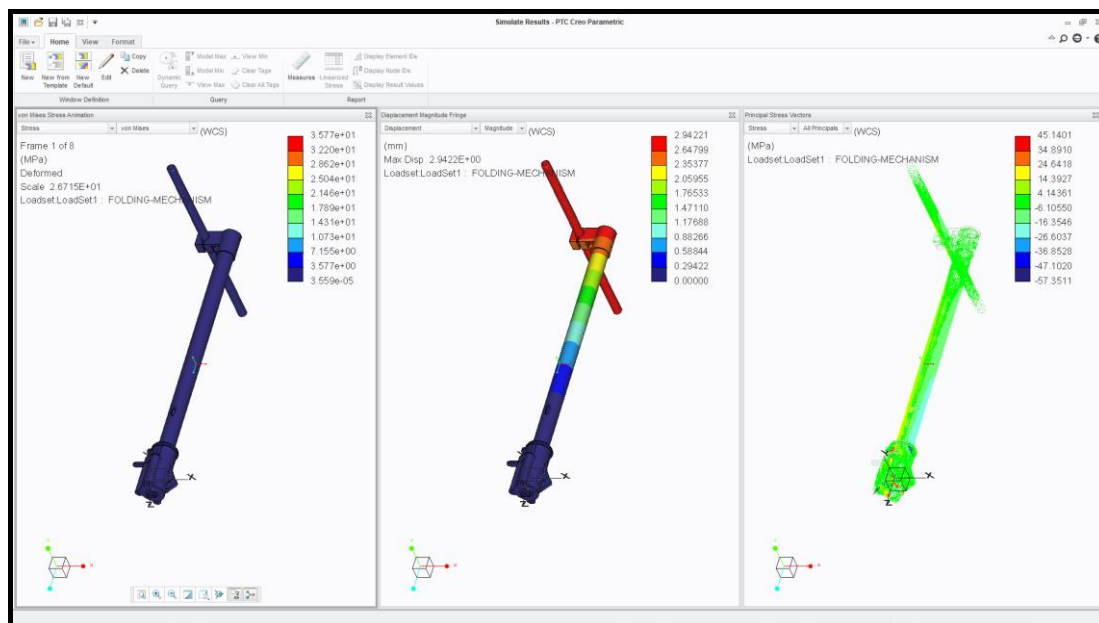
Πίνακας 12.3.1: Δεδομένα και αποτελέσματα ανάλυσης για το στοιχείο συγκράτησης του μηχανισμού πέδησης.

12.4. Μηχανισμός αναδίπλωσης και στέλεχος τιμονιού

Το φορτίο που ασκείται στο μηχανισμό ασκείται μέσω του τιμονιού πάνω στο οποίο ασκείται φορτίο 76 [N]. Λαμβάνεται υπόψη συντελεστής ασφαλείας =2 και συντελεστής κρουστικών τάσεων =1.35. Άρα το φορτίο που θα οριστεί στην ανάλυση είναι 205 [N]. Επειδή είναι δύσκολος ο προσδιορισμός των φορτίων στα εξαρτήματα του μηχανισμού ανά ξεχωριστά, η ανάλυση έγινε σε συναρμολογημένο



Εικόνα 12.4.1: Ορισμός στηρίξεων.



Εικόνα 12.4.2: Γραφική αναπαράσταση αποτελεσμάτων ανάλυσης για τον μηχανισμό αναδίπλωσης συναρμολογημένο.



Δεδομένα και αποτελέσματα	
Υλικά	Αλουμίνιο 6061 T6, 18-8 Ανοξείδωτος Χάλυβας
Αντοχή υλικών	Αλουμίνιο =120 [Mpa], Ανοξείδωτος Χάλυβας =550 [Mpa]
Μέγιστη τάση	45.14 [Mpa]
Μέγιστη μετατόπιση	2.94 [mm]

Πίνακας 12.4.1: Δεδομένα και αποτελέσματα ανάλυσης για τον μηχανισμό αναδίπλωσης συναρμολογημένο.

Η μετατόπιση έχει μία μεγάλη τιμή σχετικά με τις υπόλοιπες, όμως αυτό θα συμβεί λόγω του μεγάλου μήκους του στελέχους. Αυτό που έχει σημασία είναι ότι η τάση είναι εντός του επιθυμητού.



13. Συμπεράσματα

Σύλληψη της ιδέας

Τα τελευταία χρόνια τα ηλεκτρικά πατίνια έχουν γίνει αρκετά δημοφιλή και πολλές εταιρίες τα έχουν διαθέσιμα σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις για ενοικίαση. Είναι μια καλή εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές μεθόδους μεταφοράς όπως τα αυτοκίνητα, τα λεωφορεία, τα ταξί κ.α.. Όχι μόνο τα πατίνια είναι βολικά και προσφέρουν ανεξαρτησία, αλλά προσφέρουν και ταχύτερη μετακίνηση για μικρές αποστάσεις, σε αντίθεση με τη χρήση άλλων τρόπων μεταφοράς.

Τα καινούργια ηλεκτρικά πατίνια έχουν επίσης ένα πλεονέκτημα το ότι είναι πτυσσόμενα, γεγονός που τα κάνει βολικά ακόμα κι όταν δεν οδηγούνται. Οι άνθρωποι έχουν εξοικειωθεί με τη χρήση τους και γνωρίζουν το θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο που δημιουργούν και αυτό τα κάνει ακόμα πιο προσιτά και δημοφιλή με το πέρασ του χρόνου. Επιλέχθηκε το δίτροχο πατίνι χωρίς κάθισμα, διότι είναι πιο πρακτικό από τα υπόλοιπα πατίνια, λόγω όγκου και βάρους.

Καινοτομία

Αρκετός χρόνος ξοδεύτηκε, με σχεδιαστικές δοκιμές, για την δημιουργία του μηχανισμού αναδίπλωσης. Ο στόχος ήταν να μη είναι πολύπλοκος και να μην είναι το ίδιο εύθραυστος με τους ήδη υπάρχοντες μηχανισμούς. Μετά από αρκετές ιδέες αποφασίστηκε να δημιουργηθεί με συνδυασμό άλλων μηχανισμών που είναι εξοικειωμένος ο αναβάτης. Επίσης είναι γνωστές οι ζημιές που παρουσιάζουν οι ήδη υπάρχοντες μηχανισμοί αναδίπλωσης, έτσι συνδυάζοντας τους μηχανισμούς θεωρήθηκε ότι είναι δυνατόν να γίνει πιο αξιόπιστος ο νέος μηχανισμός αναδίπλωσης.

Η μορφολογία του μηχανισμού είναι όσο το δυνατόν πιο απλή για να μην υπάρχουν προβλήματα στον έλεγχο αντοχής του. Η μελέτη αντοχής του μηχανισμού αναδίπλωσης έγινε με ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων αλλά τα φορτία που εισήχθησαν στο λογισμικό υπολογίστηκαν μελετώντας την αντοχή άλλων μηχανισμών.

Προβλήματα που παρουσιάστηκαν

Επειδή υπάρχουν ήδη αρκετά μοντέλα ήταν εύκολο να γίνει σαφής η αρχή λειτουργίας, παρόλα αυτά επειδή έχουν αρκετά περιφερειακά συστήματα και μηχανισμούς, δεν ήταν πάντα ξεκάθαρα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα, αυτών. Χρειάστηκε αρκετές φορές να γίνουν δοκιμές δια ζώσης με οδήγηση και έρευνα σε διάφορους ιστότοπους για να γίνουν ξεκάθαρα τα πιο πρακτικά και αξιόπιστοι συστήματα και ασφαλή μηχανισμοί.

Μεγάλο πρόβλημα ήταν η διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων του πατινιού, όπως ο άξονας, η άτρακτος κ.α.. Για να επιλυθεί αυτό το πρόβλημα επιλέχθηκαν κάποια τυποποιημένα στοιχεία για να γίνουν σημείο αναφοράς διαστασιολόγησης όπως π.χ. η ζάντα και το δισκόφρενο επιλέχθηκαν για να υπολογιστεί ο άξονας. Πολλές φορές κάποια στοιχεία λόγω γεωμετρίας δεν άφηναν περιθώρια και έπρεπε να αλλάξουν κάποιες άλλες διαστάσεις και στοιχεία που είχαν επιλεγεί.



Για να προχωρήσει ο σχεδιασμός κάποιες διαστάσεις προέκυψαν πρόχειρα π.χ. το μήκος του άξονα. Αλλά μετά για λόγους ασφαλείας και εγκυρότητας έγινε μελέτη αντοχής αυτών των στοιχείων και επιλογή τελικών διαστάσεων.

Επίσης μεγάλο πρόβλημα ήταν να βρεθούν οι διαστάσεις και η γεωμετρία του κινητήρα, διότι δεν υπάρχουν έτοιμα σχέδια συμβατά με ηλεκτρικά πατίνια και ο υπολογισμός και σχεδιασμός νέου κινητήρα θα ήταν περιττός, έτσι βρέθηκε ένας έτοιμος κινητήρας και μετρήθηκαν οι διαστάσεις του κινητήρα δια ζώσης.

Για να είναι πιο σωστή η μελέτη αντοχής με FEA έπρεπε πρώτα να ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση και μετά να γίνει έλεγχος με πεπερασμένα στοιχεία. Για να είναι ξεκάθαρη η διεύθυνση των φορτίων, επίσης να γίνει ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων σε συναρμολογημένο μηχανισμό αναδίπλωσης.

Εξέλιξη ηλεκτρικών πατινιών

Με την ανάπτυξη των υλικών προβλέπεται στο μέλλον να μειωθεί το βάρος των ηλεκτρικών πατινιών, διότι όλο και περισσότερες βιομηχανίες αρχίζουν παράγουν με νέα υλικά όπως τα πλαστικά υψηλής αντοχής. Επίσης με την εξέλιξη των μπαταριών θα αυξηθεί η απόδοση και η αυτονομία τους. Επειδή η αρχή λειτουργίας είναι απλή, υπάρχουν πολλοί άνθρωποι που τα κατασκευάζουν μόνοι τους πρόχειρα, ίσως αυτό οδηγήσει τις κατασκευαστικές εταιρίες να τα εξελίσσουν ακόμα πιο πολύ ώστε να κρατήσουν την δημοφιλία τους.

Αυτή η δημοφιλία των ηλεκτρικών πατινιών μπορεί να οδηγήσει και σε κάποιες αλλαγές στον οδικό κώδικα και στην νομοθεσία.



14. Βιβλιογραφία

14.1. Βιβλία

- Ανδρέας Δ. Δημαρόγκωνας, 2005, *Σχεδιασμός μηχανών*, [Εκδόσεις Ίων].
- Α.Α. Ζήσος, 2006, *Φυσική Ι Μηχανική – Θερμότητα*, (Β΄ έκδοση), Αθήνα, [σύγχρονη εκδοτική ΕΠΕ].
- Βασ. Παπαμητούκας, 2009, *Μηχανολογικό σχέδιο*, Θεσσαλονίκη, [University studio press].
- Γραικούσης Ρ., 1993, *Στοιχεία Μηχανών*, Αθήνα, [Εκδόσεις Γιαχούδης].
- Δρ. Στ. Α. Μαυρομάτης, 2009, *ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ και στοιχεία παραστατικής γεωμετρίας*, Αθήνα, [Έκδοση Σ. Μαυρομάτης].
- Ιωάννης Κ. Στεργίου, & Κωνσταντίνος Ι. Στεργίου, 2003, *Στοιχεία Μηχανών Ι*, Αθήνα, [σύγχρονη εκδοτική ΕΠΕ].
- Νικόλαος Μπιλάλης & Εμμανουήλ Μαραβελάκης, 2014, *Συστήματα CAD/CAM και τρισδιάστατη μοντελοποίηση*, 2^η έκδοση, [Εκδόσεις Κριτική].
- Niemann G., *Στοιχεία Μηχανών*, Βερολίνο, [Εκδόσεις Γρηγ. Φούντας].
- Stephen J. Chapman, 2009, *Ηλεκτρικές Μηχανές*, 4η έκδοση, Θεσσαλονίκη, [Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ].
- Richard G. Budynas και J. Keith Nisbett, 2011, *Shingley's Mechanical Engineering Design*, έκδοση 9^η, [Εκδόσεις Mc Graw Hill].
- Finney Ross L., & Weir Maurice D., & Giordano Frank R., 2010, *Απειροστικός λογισμός*, Ηράκλειο, [ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ].
- Ferdinand P. Beer, & E. Russell Johnston, Jr., & John T. Dewolf, & David F. Mazurek, 2012, *Mechanics of materials*, 6^η έκδοση, [Εκδόσεις Mc Graw Hill].



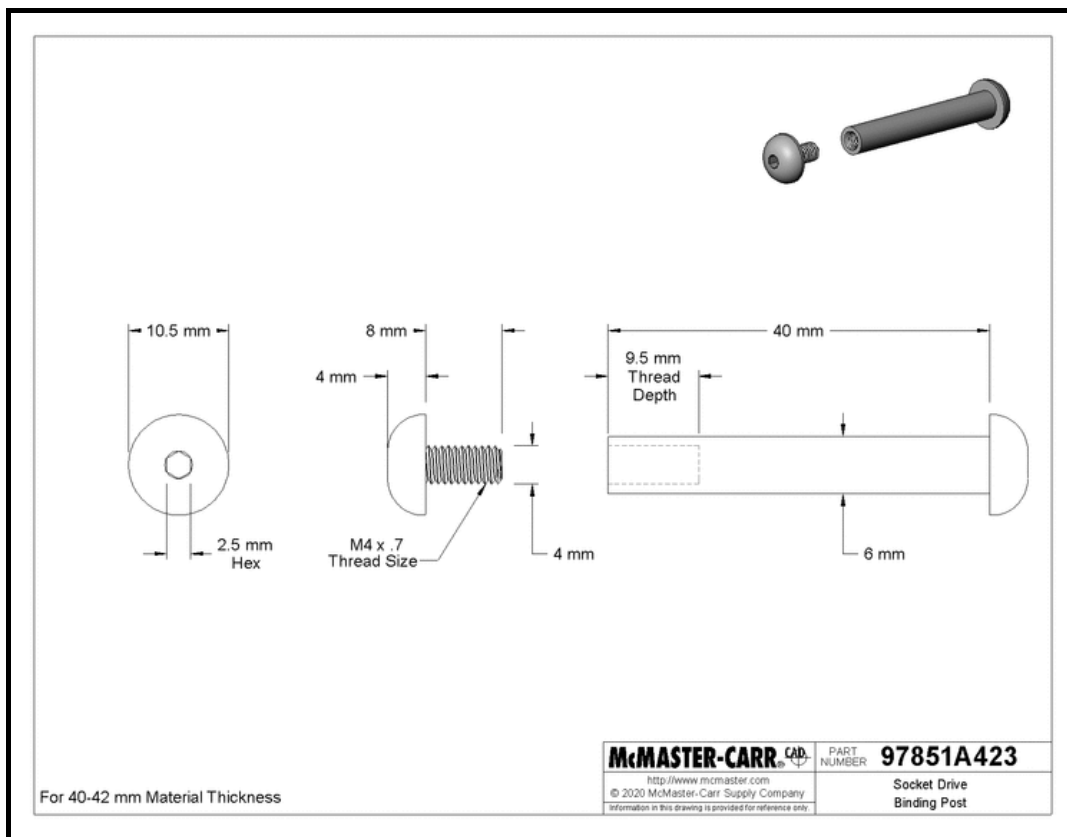
14.2. Ιστότοποι

- [The Environmental Impact of Electric Scooters](#) *Medium*. Zoheb, Davar. (22/8, 2018).
- [1918 Eveready Autoped Scooter](#) *The Online Bike Museum*. (n.d.). (2008/2020).
- [The Motorized Scooter Boom That Hit a Century Before Dockless Scooters](#) *Smithsonian Magazine*. Jackie Mansky. (18/4, 2019).
- [Kick scooter](#) *Wikipedia*. (12/11, 2020).
- [Motorized scooter](#) *Wikipedia*. (5/11, 2020).
- [Wheel hub motor](#) *Wikipedia*. (12/11, 2020).
- [How do brushless hub motors work?](#) *Explain that Stuff*. Woodford, Chris. (2008/2020) Hub motors. [Επισκέφτηκε (8/7/2020)].
- [Brushless DC electric motor](#) *Wikipedia*. (15/11, 2020).
- [Electric Drives - Brushless DC / AC and Reluctance Motors](#) *Electropedia*. (n.d.). Woodbank Communications Ltd. (2015/2020).
- [Regenerative brake](#) *Wikipedia*. (27/10, 2020).
- [Kinetic energy recovery system](#) *Wikipedia*. (14/11, 2020).
- [Ultimate Guide to Electric Scooters](#) *Electric Scooter Guide (ESG)*. (n.d.) (2020).
- [Choosing a kick scooter](#) *Decks & Scooters - The Kick Scooter Specialist*. (2020).
- [National Highway Traffic Safety Administration | Motorcycles and Scooters](#) *U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION*. (n.d.)
- [Electric bikes: licensing, tax and insurance](#) *GOV UK*. (n.d.)
- [Is it Legal to Ride an Electric Scooter in the UK?](#) *Tech Advisor*. Marie Black IDG. (1/7, 2020). Communications Ltd. (2020).
- [RULES & REGULATIONS ON ELECTRIC CYCLES IN EUROPEAN UNION \(pdf\)](#) *Bike europe*.
- [BIKESHARING AND BICYCLE SAFETY \(Στατιστικά Ουάσινγκτον\)](#) *Mineta transportation institute*. Elliot Martin, Ph.D., Adam Cohen, Jan Botha, Ph.D., Susan Shaheen, Ph.D.. Report. (Μάρτιος 2016).
- [Electronic throttle control](#) *Wikipedia*. (9/11, 2020).
- [Airless tire](#) *Wikipedia*. (13/9, 2020).
- [The 18650 battery is the gasoline of the 21st century](#) *BATTERY BRO*. (2020).



- [6061 aluminium alloy](#) *Wikipedia*. (11/11, 2020).
- [Μπαταρία ιόντων λιθίου](#) *Wikipedia*. (1/11, 2020).
- [How to choose the best scooter wheels](#) *Jibs Action Sports*. (19/4, 2019).
- [The benefits of aluminum versus steel](#) *Dajcor Aluminum Ltd.*. (2015/2020).
- [Saving Weight with Aluminum Saves Money](#) *Drive Aluminum*. (2020).
- [Automotive Aluminum in Cars and Trucks](#) *The Aluminum Association*. (2020).
- [Stainless Steels - Specifications, Grades and Properties](#) *Azo materials*. AZoNetwork. (2000/2020).
- [Headset \(bicycle part\)](#) *Wikipedia*. (16/12, 2019).
- [Headset standards](#) *Park Tool Co.* (2015/2020). (17/8, 2015).
- [Bicycle bearings: everything you need to know](#) *Bike Radar*. Thomas McDaniel. (3/4, 2018).
- [Ελαστικό τύπου κηρήθρας με διαστάσεις XPRIT](#). (2020).
- [Bearing Friction](#) *American Roller Bearing Company*. (2015/2020).
- [SKF model of bearing friction](#) *SKF*.
- [Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων](#) *Wikipedia*. (5/2, 2020).
- [Approximate values of some frictional coefficients](#) *PhysicsLAB*. (1997/2020). Catharine H. Colwell.
- [Επιτάχυνση](#) *Wikipedia*. (13/12, 2018).
- [Series and Parallel Battery Configurations](#) *Battery university*. (2020). Isidor Buchmann.

15. Παραρτήματα



Εικόνα 15.1:

Σχέδιο με τις διαστάσεις του «Chicago screw». Από McMASTER-CARR²².



Εικόνα 15.2:

Φωτισμός ηλεκτρικού πατινιού. Από Banggood²³.

²² Ιστότοπος: <https://www.mcmaster.com/>

²³ Ιστότοπος: <https://www.banggood.com>