

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ



**Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης
Τομέας Συστημάτων Παραγωγής**

**ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ
ΔΙΘΕΣΙΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**

Εργασία που υποβλήθηκε για τη μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για
την απόκτηση διπλώματος

Υπό την
Βιολέτα Κόρδατση

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Τσουρβελούδης

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος αυτής της προσπάθειας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Καθηγητή Νικόλαο Τσουρβελούδη για τη πολύτιμη βοήθεια και τη συνεργασία που μου έχει προσφέρει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Σπανουδάκη Πολυχρόνη για τη συνεχή υποστήριξη, τις συμβουλές και τη βοήθειά του.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υποστήριξη, την υπομονή και τις συμβουλές όλα αυτά τα χρόνια σπουδών.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
Κεφάλαιο 1. Δυνάμεις ηλεκτρικού οχήματος.....	7
1.1. Αεροδυναμική και ενέργεια.....	7
1.2. Ο ρόλος της μάζας του οχήματος.....	10
1.2.1. Αντίσταση στη κύλιση.....	11
1.2.2. Δύναμη όταν το όχημα βρίσκεται σε ανηφόρα	12
1.2.3. Δυνάμεις κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση του οχήματος	13
1.3. Αντοχή, ακαμψία και ανθεκτικότητα σε χτυπήματα	16
Κεφάλαιο 2. Σχεδιασμός ηλεκτρικού οχήματος.....	20
2.1. Διαφορές ηλεκτρικών και συμβατικών (ΜΕΚ) οχημάτων.....	20
2.1.1. Σχεδιασμός για σταθερότητα.....	20
2.1.2. Ο ρόλος των μπαταριών στο σχεδιασμό του ηλεκτρικού οχήματος	21
2.1.3. Η ανάρτηση του ηλεκτρικού οχήματος	21
2.2. Σχεδιασμός με τη χρήση CAD	21
2.2.1. Πρώτος σχεδιασμός του σώματος του οχήματος.	22
2.2.2. Δεύτερος σχεδιασμός του σώματος του οχήματος.	24
2.2.3. Τρίτος σχεδιασμός του σώματος του οχήματος.	25
2.2.4. Διαδικασία σχεδιασμού με τη χρήση CAD	29
Κεφάλαιο 3. Εργονομική ανάλυση εσωτερικών μερών οχήματος.....	33
3.1. Τοποθέτηση επιβατών	33
3.2. Χαρακτηριστικά και τοποθέτηση ποδωστηρίων	37
3.2.1. Ποδωστήριο επιτάχυνσης (γκάζι).....	38
3.2.2. Ποδωστήριο επιβράδυνσης (φρένο)	38
3.3. Χαρακτηριστικά και τοποθέτηση τιμονιού	38
3.4. Εργονομική ανάλυση καθισμάτων	39
3.4.1. Μεταλική κατασκευή του σώματος του καθίσματος και αφρώδες υλικό (μαξιλάρι) του σώματος του καθίσματος και ανάρτηση	41
3.4.2. Μηχανισμοί προσαρμογής του καθίσματος	42
3.4.3. Μαξιλάρι που στηρίζει το κεφάλι.....	44
3.4.4. Καλύμματα καθίσματος	44
3.4.5. Μαξιλάρι που στηρίζει το μπράτσο.....	45
3.5. Προσβασιμότητα στο όχημα	45
Κεφάλαιο 4. Άμεση και έμμεση ορατότητα	47

4.1.Ελλειψοειδής όραση.....	47
4.2. Διοφθαλμικό πεδίο ορατότητας.....	49
4.3. Άμεσο πεδίο ορατότητας.....	52
4.4. Έμμεσο πεδίο ορατότητας.....	53
4.4.1. Κατηγορία 1 (εσωτερικός καθρέπτης).....	53
4.4.2.Κατηγορία 2 (εξωτερικοί καθρέπτες).....	54
4.5. Τοποθέτηση εσωτερικών μερών οχήματος σύμφωνα με το άμεσο πεδίο ορατότητας.	55
Κεφάλαιο5.Συστήματα συγκράτησης	59
5.1. Ζώνες ασφαλείας.....	59
5.1.1. Αποτελεσματικές αγκυρώσεις της ζώνης ασφαλείας	59
5.1.2. Ανώτερη αγκύρωση.....	60
5.1.3.Χαμηλότερες αγκυρώσεις	62
5.1.4.Μέρη ζώνης ασφαλείας	63
5.2.Αερόσακοι	64
Συμπεράσματα.....	66
Βιβλιογραφία.....	67

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον προκαταρκτικό σχεδιασμό ενός διθέσιου ηλεκτρικού οχήματος, καθώς και με τη μελέτη των εργονομικών στοιχείων που καθορίζουν αυτό το σχεδιασμό. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η διαδικασία του σχεδιασμού, η οποία ξεκινά από μία σχεδιαστική ιδέα σύμφωνα με τα στοιχεία που αυξάνουν την επίδοση ενός ηλεκτρικού οχήματος και στη συνέχεια αυτή ελέγχεται και αναδιαμορφώνεται από τους εργονομικούς περιορισμούς που έχουν τεθεί για τα οχήματα κυκλοφορίας.

Στο πρώτο μέρος της Διπλωματικής γίνεται αναφορά στις δυνάμεις που ασκούνται στο σώμα του οχήματος, με σκοπό να γίνουν αντιληπτές οι βασικές αρχές για το σχεδιασμό αυτού.

Στο δεύτερο μέρος γίνεται αναφορά στο τρόπο σχεδιασμού του οχήματος καθώς και στα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία έχει σχεδιαστεί. Ο επιτυχής σχεδιασμός του οχήματος πραγματοποιήθηκε στη τρίτη προσπάθεια σχεδιασμού όπως αναλύεται στο σχετικό κεφάλαιο.

Στο τρίτο μέρος παρουσιάζεται η διαδικασία τοποθέτησης των εσωτερικών μερών του οχήματος (τιμόνι, καθίσματα, ποδωστήρια) σύμφωνα με τους εργονομικούς κανονισμούς και τις ανθρωπομετρικές διαστάσεις.

Στο τέταρτο μέρος γίνεται μία αναφορά στα απαραίτητα πεδία ορατότητας των επιβατών μέσα από το όχημα και πως αυτά επιτυγχάνονται σε συνδυασμό με τη κατασκευή του οχήματος.

Στο πέμπτο μέρος παρουσιάζονται τα συστήματα συγκράτησης ώστε να επιτυγχάνεται η ασφάλεια των επιβατών του οχήματος σε περίπτωση έκτακτης πέδησης ή σύγκρουσης.

Τα ηλεκτρικά οχήματα αποτελούν ένα θεμελιώδες θέμα για τις αυτοκινητοβιομηχανίες μιας και τα οφέλη τους εστιάζονται σε ένα κρίσιμο για την εποχή θέμα, τη προστασία του περιβάλλοντος.

Η πρώτη επίδειξη, ωστόσο, ηλεκτρικού οχήματος είχε πραγματοποιηθεί αρκετά παλιότερα το 1830, χωρίς όμως τη χρήση επαναφορτιζόμενων μπαταριών. Στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, με τη μαζική παραγωγή επαναφορτιζόμενων μπαταριών η χρήση ηλεκτρικών οχημάτων ήταν αρκετά διαδεδομένη.

Στο ξεκίνημα, όμως, του 20^{ου} αιώνα τα ηλεκτρικά οχήματα αντιμετώπισαν έναν ισχυρό ανταγωνιστή, τα οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης MEK. Η χαμηλή τιμή και η μεγάλη διαθεσιμότητα του πετρελαίου μετέτρεψαν τη μηχανή εσωτερικής καύσης σε μία πιο αποτελεσματική λύση για την τροφοδοσία των οχημάτων.

Μετά το 1910 υπήρξε σημαντική ύφεση στη χρήση των ηλεκτρικών οχημάτων, λόγω της μεγάλης επιτυχίας των μηχανών εσωτερικής καύσης. Η επιτυχία αυτή οφειλόταν στο ότι η ενέργεια ανά μονάδα μάζας από το καύσιμο της μηχανής εσωτερικής καύσης ήταν κατά μέσο όρο 9000 Wh/kg, ενώ η ενέργεια ανά μονάδα μάζας από μία μπαταρία οξέος μολύβδου ήταν γύρω στα 30 Wh/kg. Έτσι, μία μηχανή εσωτερικής καύσης με αποδοτικότητα 20 % παρείχε χρήσιμη ενέργεια ανά μάζα 1800 Wh/kg, ενώ ένας ηλεκτρικός κινητήρας αποδοτικότητας 90% παρείχε ενέργεια 27 Wh/kg. Με λίγα λόγια 4.5 λίτρα πετρελαίου με βάρος 4 kg παρείχαν τόση χρήσιμη ενέργεια όση ηλεκτρική ενέργεια παρείχε μία μπαταρία οξέος μολύβδου 270 kg [1].

Προς το τέλος του 20^{ου} αιώνα, όμως, υπήρξαν αλλαγές οι οποίες κάνανε τα ηλεκτρικά οχήματα μια πιο ελκυστική λύση. Οι ολοένα και αυξανόμενες ανησυχίες για το περιβάλλον, οι τεχνικές εξελίξεις στο σχεδιασμό του οχήματος και οι βελτιώσεις στις επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, στους κινητήρες και στους ελεγκτές έχουν ξαναφέρει τα ηλεκτρικά οχήματα στο παρασκήνιο. Τα ηλεκτρικά οχήματα δεν μειώνουν απαραίτητα τη συνολική ενέργεια που χρησιμοποιείται, όμως μειώνουν αισθητά τους ρύπους που παράγονται, γεγονός που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα οχήματα πόλης.

Σήμερα τα ηλεκτρικά οχήματα με κυψέλες υδρογόνου αποτελούν μία από τις πιο αποτελεσματικές λύσεις για τη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων, μιας και το κόστος των κυψελών υδρογόνου έχει μειωθεί αισθητά. Επίσης, η λειτουργία αυτών των οχημάτων είναι εξίσου βολική με αυτήν των οχημάτων με μηχανή εσωτερικής καύσης, αφού μπορούν να διανύσουν εξίσου μεγάλες αποστάσεις χωρίς ανεφοδιασμό.

Κεφάλαιο 1. Δυνάμεις ηλεκτρικού οχήματος

Τα ηλεκτρικά οχήματα, ακόμη και σήμερα, έχουν τη φήμη ότι έχουν πολύ χαμηλή επίδοση. Με τον όρο επίδοση εννοείται η επιτάχυνση και η τελική ταχύτητα που μπορεί να αποκτήσει ένα όχημα. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, ένα ηλεκτρικό όχημα πόλης να έχει αρκετά καλή επίδοση προκειμένου να ενταχθεί στις συνηθισμένες οδικές συνθήκες πόλης με ασφάλεια.

Η μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των καυσίμων οποιουδήποτε οχήματος εξαρτάται από τη μάζα, την αεροδυναμική αντίσταση, την αντίσταση κύλισης, καθώς και από τις επιδόσεις του κινητήρα και της σχέσης μετάδοσης. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό, λοιπόν, ο σχεδιασμός των ηλεκτρικών οχημάτων με υψηλές επιδόσεις προκειμένου να μειωθεί η μάζα των ακριβών μπαταριών που απαιτούνται. Επίσης κάτι που δεν θα πρέπει να παραλείπεται για το σχεδιασμό του οχήματος είναι η αντοχή, η ακαμψία και η ανθεκτικότητα του οχήματος.

1.1. Αεροδυναμική και ενέργεια

Είναι γνωστό ότι όσο πιο αεροδυναμικό είναι ένα όχημα τόσο μικρότερη είναι η κατανάλωση ενέργειας, ιδιαίτερα στις υψηλές ταχύτητες. Είναι αρκετά σημαντική, λοιπόν, η γνώση των αεροδυναμικών αρχών στο όχημα, για το σχεδιασμό του.

Για να προσδιοριστεί η δράση της αεροδυναμικής αντίστασης στο όχημα, αρχικά πρέπει να προσδιοριστεί η δύναμη της αντίστασης (F_{ad}).

$$F_{ad} = \rho \cdot A \cdot C_d \cdot u^2 \quad (1.1)$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3), A το εμβαδό της μετωπικής επιφάνειας του οχήματος (m^2), u η ταχύτητα (m/s) και C_d ο συντελεστής της οπισθέλκουσας.

Γνωρίζοντας την αεροδυναμική αντίσταση του οχήματος μπορεί εύκολα να υπολογιστεί η ισχύς που απαιτείται στις ρόδες του οχήματος P_{adw} (Watts) για να υπερνικηθεί η αντίσταση αυτή καθώς και η ισχύς της μπαταρίας P_{adb} που απαιτείται όπως φαίνεται παρακάτω.

Ισχύς που απαιτείται στις ρόδες:

$$P_{adw} = F_{ad} \times u = \rho \cdot A \cdot C_d \cdot u^3 \quad (1.2)$$

Ισχύς της μπαταρίας:

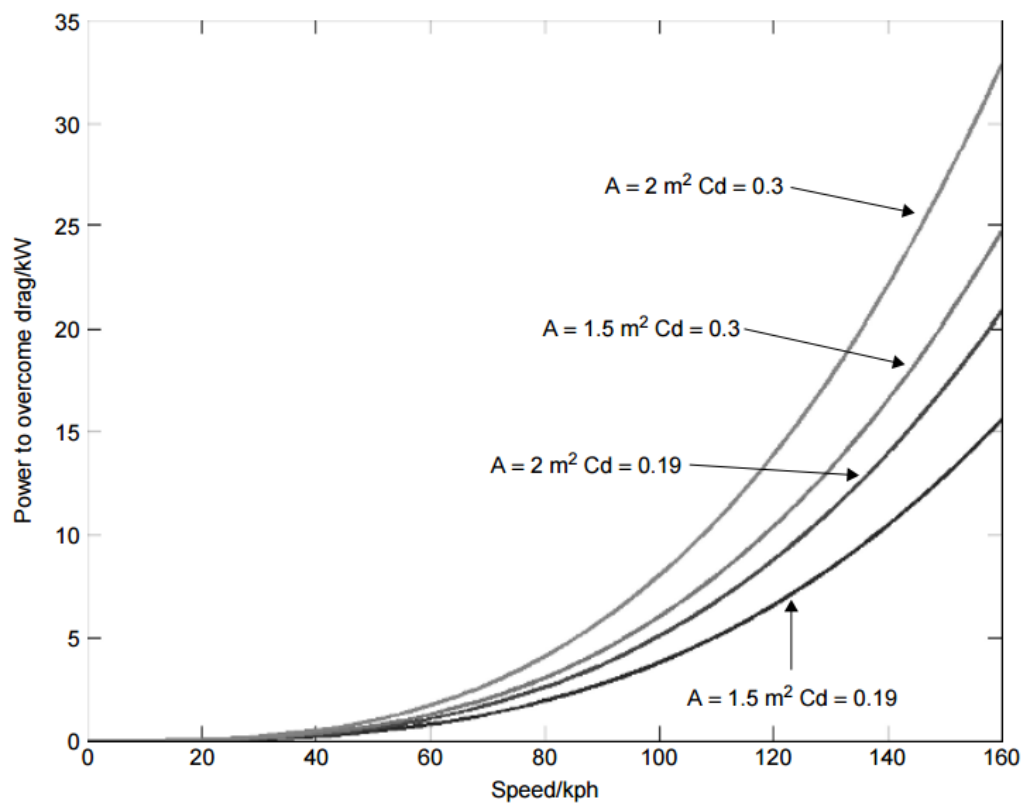
$$P_{adb} = \frac{P_{adw}}{\eta_0} \quad (1.3)$$

Με η_0 συμβολίζεται η συνολική αποδοτικότητα (ισχύς στις ρόδες/ ισχύς μπαταρίας).

Έτσι η μάζα της μπαταρίας m_b (kg) με συγκεκριμένη ενέργεια SE (Wh/kg) που απαιτείται για να υπερνικηθεί η αεροδυναμική αντίσταση σε μία συγκεκριμένη ταχύτητα u (m/s), για μία απόσταση d (μέτρα), δίνεται από τη παρακάτω σχέση [1]:

$$m_b = \frac{P_{adb} \times d}{u \times SE \times 3600} \quad (1.4)$$





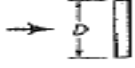
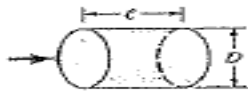




Το εύρος της ισχύος της μπαταρίας P_{adb} που χρειάζεται για να υπερνικηθεί η αεροδυναμική αντίσταση ανάλογα με τη ταχύτητα φαίνεται στην Εικόνα 1.1, για οχήματα με διαφορετικό συντελεστή οπισθέλκουσας και διαφορετικές μετωπικές επιφάνειες.



Εικόνα 1.1 Απαιτούμενη ισχύς για να υπερνικηθεί η αεροδυναμική αντίσταση για οχήματα για διαφορετικές μετωπικές επιφάνειες και συντελεστές αντίστασης για ένα εύρος ταχυτήτων μέχρι 160 km/h. [1]

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα, είναι ιδιαίτερα σημαντικό για το σχεδιασμό του οχήματος να ληφθεί υπ' όψιν ο συντελεστής αντίστασης και η μετωπική επιφάνεια. Όσο πιο μικρές είναι οι τιμές αυτών τόσο μικρότερη και η ισχύς της μπαταρίας που απαιτείται.








Ο συντελεστής αντίστασης ενός αντικειμένου με ταχύτητα u εξαρτάται από το σχήμα του αντικειμένου και τον αριθμό Reynolds [2]. Οι τυπικές τιμές του συντελεστή αντίστασης που παίρνουν τα διάφορα σχήματα ανάλογα με τις διαστάσεις τους και για μεγάλο αριθμό Reynolds παρουσιάζονται στην εικόνα του παρακάτω πίνακα (Εικόνα 1.2).

Shape	Reference area A	Drag coefficient C_D	Reynolds number $Re = \rho U D / \mu$										
 Solid hemisphere	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	 <table> <tr><td>1.17</td></tr> <tr><td>0.42</td></tr> </table>	1.17	0.42	$Re > 10^4$								
1.17													
0.42													
 Hollow hemisphere	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	 <table> <tr><td>1.42</td></tr> <tr><td>0.38</td></tr> </table>	1.42	0.38	$Re > 10^4$								
1.42													
0.38													
 Thin disk	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	1.1	$Re > 10^3$										
 Circular rod parallel to flow	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	<table> <tr> <th>UD</th> <th>C_D</th> </tr> <tr><td>0.5</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.93</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.83</td></tr> <tr><td>4.0</td><td>0.85</td></tr> </table>	UD	C_D	0.5	1.1	1.0	0.93	2.0	0.83	4.0	0.85	$Re > 10^5$
UD	C_D												
0.5	1.1												
1.0	0.93												
2.0	0.83												
4.0	0.85												
 Cone	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	<table> <tr> <th>θ, degrees</th> <th>C_D</th> </tr> <tr><td>10</td><td>0.30</td></tr> <tr><td>30</td><td>0.55</td></tr> <tr><td>60</td><td>0.80</td></tr> <tr><td>90</td><td>1.15</td></tr> </table>	θ , degrees	C_D	10	0.30	30	0.55	60	0.80	90	1.15	$Re > 10^4$
θ , degrees	C_D												
10	0.30												
30	0.55												
60	0.80												
90	1.15												
 Cube	$A = D^2$	1.05	$Re > 10^4$										
 Cube	$A = D^2$	0.80	$Re > 10^4$										
 Streamlined body	$A = \frac{\pi}{4} D^2$	0.04	$Re > 10^5$										

Εικόνα 1.2. Στη πρώτη στήλη παρουσιάζονται τρισδιάστατα σχήματα, στη δεύτερη το εμβαδόν της μετωπικής επιφάνειας, στη τρίτη οι συντελεστές αντίστασης των σχημάτων και στη τέταρτη οι τιμές Reynolds που αντιστοιχούν. [2]

Το ιδανικό σχήμα για την επίτευξη ενός πολύ χαμηλού συντελεστή C_d είναι το σχήμα της σταγόνας (το τελευταίο σχήμα της Εικόνας 1.2). Ο συντελεστής αντίστασης ποικίλει ανάλογα με τις τιμές που παίρνει το κλάσμα του μήκους ως προς το πλάτος του αντικειμένου. Για το σχήμα της σταγόνας όταν το κλάσμα αυτό ισούται με 2,4 ο συντελεστής αντίστασης ισούται $C_d=0.04$ [1].

Στην πραγματικότητα όμως ο συντελεστής αυτός είναι αρκετά πιο μεγάλος λόγω της παρουσίας του εδάφους, της επίδρασης των τροχών και του σχήματος του οχήματος που διαφέρει αρκετά από το ιδανικό λόγω κατασκευαστικών περιορισμών. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται ο συντελεστής αυτός για διάφορα σχήματα οχημάτων καθώς και η οπισθέλκουσα δύναμη για διάφορες ταχύτητες προκειμένου η δύναμη αυτή να γίνει πιο κατανοητή ως προς τα οχήματα.

	Drag coefficient c_w	Drag power in kW, average values for $A = 2 \text{ m}^2$ at various speeds ¹⁾			
		40 km/h	80 km/h	120 km/h	160 km/h
 Open convertible	0.5...0.7	1	7.9	27	63
 Station wagon (2-box)	0.5...0.6	0.91	7.2	24	58
 Conventional form (3-box)	0.4...0.55	0.78	6.3	21	50
 Wedge shape, headlamps & bumpers integrated in body, wheels covered, underbody covered, optimized flow of cooling air.	0.3...0.4	0.58	4.6	16	37
 Headlamps and all wheels enclosed within body, underbody covered	0.2...0.25	0.37	3.0	10	24
 K-shape (minimal cross section at tail)	0.23	0.38	3.0	10	24
 Optimum streamlining	0.15...0.20	0.29	2.3	7.8	18
Trucks, combinations	0.8...1.5	—	—	—	—
Motorcycles	0.6...0.7	—	—	—	—
Buses	0.6...0.7	—	—	—	—
Streamlined buses	0.3...0.4	—	—	—	—

Εικόνα 1.3. Στη πρώτη στήλη φαίνονται διάφορες μορφές οχημάτων, στη δεύτερη οι συντελεστές αντίστασης για τα διάφορα σχήματα, και στις υπόλοιπες τρεις οι τιμές που παίρνει η οπισθέλκουσα δύναμη για ταχύτητες 40, 80, 120 και 160 km/h για οχήματα με μετωπική επιφάνεια 2 m^2 . [3]

Το αεροδυναμικό σχήμα, ωστόσο, εξαρτάται και από τη χρήση για στην οποία σχεδιάζεται το ηλεκτρικό όχημα. Για ένα όχημα το οποίο οδηγείται σε σχετικά μικρές ταχύτητες η αεροδυναμική είναι λιγότερο σημαντική απ' ό,τι ένα συμβατικό όχημα που χρησιμοποιείται για την οδήγηση σε αυτοκινητόδρομο.

Στους αρχικούς υπολογισμούς ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται καλύτερα συγκρίνοντας το όχημα με ένα άλλο όχημα με παρόμοιο σχήμα και σχεδιασμό για το οποίο έχει ήδη υπολογιστεί ο συντελεστής αυτός.

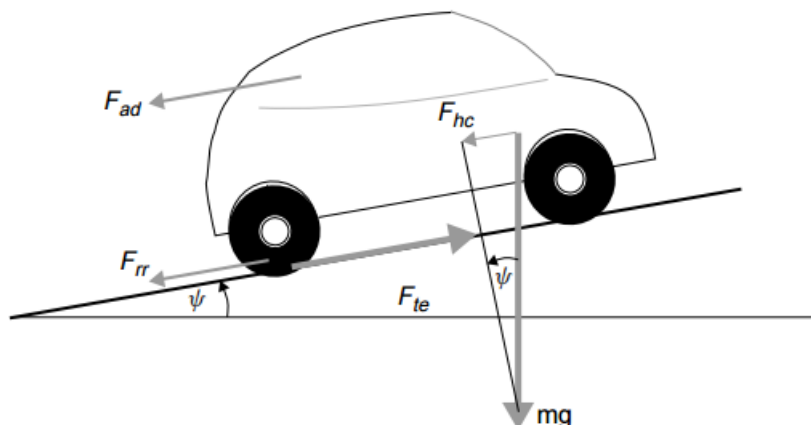
1.2. Ο ρόλος της μάζας του οχήματος

Η μάζα ενός ηλεκτρικού οχήματος έχει πολύ σημαντική επίδραση στην επίδοση, στο εύρος της απόστασης που μπορεί αυτό να διανύσει καθώς και στο κόστος του. Η μάζα επηρεάζει:

- Την αντίσταση στη κύλιση, και την ισχύ και την ενέργεια που απαιτείται για να υπερνικηθεί αυτή η αντίσταση
- Την άνοδο του οχήματος σε ανηφορικό επίπεδο

- Την κινητική ενέργεια που χάνεται όταν το όχημα επιταχύνει ή επιβραδύνει

Είναι σημαντική, λοιπόν, η μελέτη της συμπεριφοράς του οχήματος κατά την άσκηση των δυνάμεων των παραπάνω αντιστάσεων σε αυτό. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται αναλυτικά οι δυνάμεις αυτές στο όχημα κατά τη κίνησή του σε ανηφορικό οδόστρωμα.



Εικόνα 1.4 Στο σχήμα φαίνονται οι δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα από την αεροδυναμική αντίσταση F_{ad} , την αντίσταση της κύλισης F_{rr} , την αντίσταση που ασκείται στο όχημα όταν οδηγείται σε ανηφόρα F_{hc} και η ελκτική δύναμη που μεταφέρεται στις ρόδες από τον κινητήρα F_{te} [1]

1.2.1. Αντίσταση στη κύλιση

Η αντίσταση στη κύλιση αρχικά οφείλεται στην τριβή του εδάφους και των ελαστικών του οχήματος. Η αντίσταση αυτή είναι περίπου σταθερή και ανεξάρτητη από τη ταχύτητα του οχήματος. Είναι ανάλογη του βάρους του οχήματος. Η εξίσωση που περιγράφει αυτή την αντίσταση είναι :

$$F_{rr} = \mu_{rr} \cdot m \cdot g \quad (1.5)$$

όπου μ_{rr} είναι ο συντελεστής αντίστασης κύλισης [1]. Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τον συντελεστή αυτό είναι ο τύπος και η πίεση των ελαστικών. Οι τυπικές τιμές αυτού του συντελεστή φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

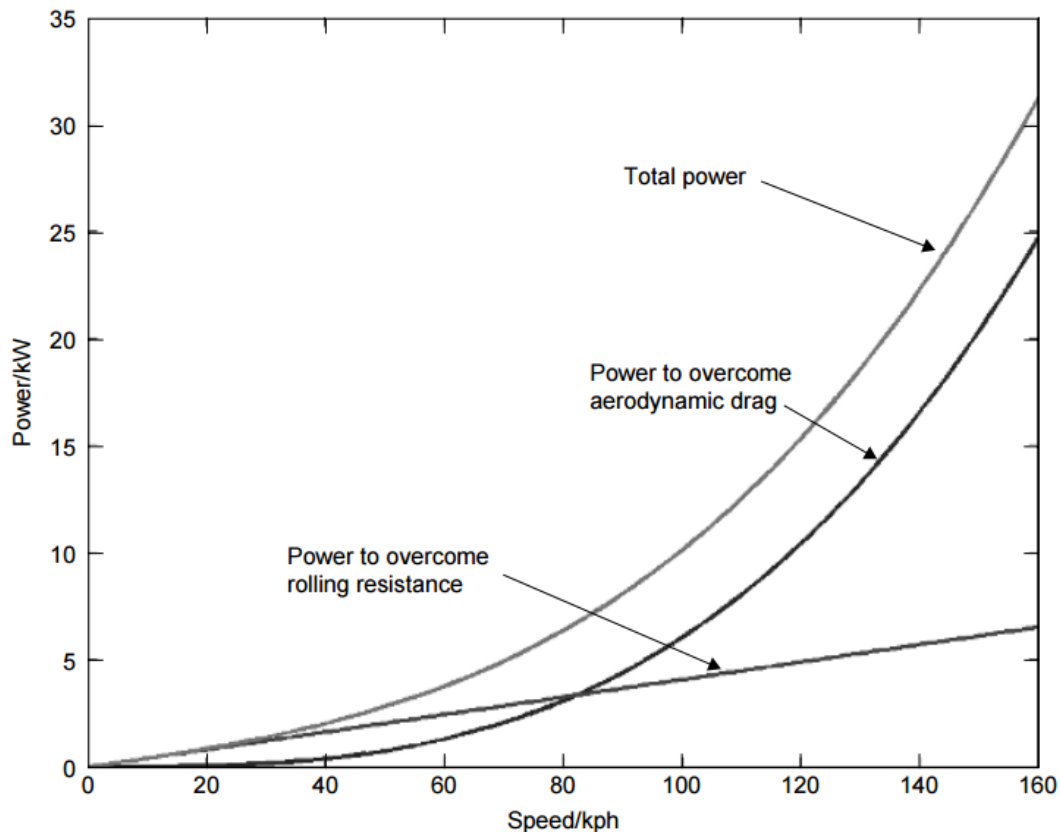
Πίνακας 1.1 Ο παρακάτω πίνακας δείχνει το συντελεστή αντίστασης κύλισης ανάλογα με την επιφάνεια του δρόμου [3]

Επιφάνεια δρόμου	Συντελεστής αντίστασης κύλισης
Λιθόστρωτο	0.015
Σκυρόδεμα, Άσφαλτος	0.013
Χωματόδρομος	0.050

Έχουν αναπτυχθεί, όμως, ελαστικά για ηλεκτρικά οχήματα με συντελεστή αντίστασης 0.005 [1]. Η ισχύς που χρειάζεται για να υπερνικηθεί η αντίσταση αυτή υπολογίζεται με την παρακάτω σχέση:

$$P_{rr} = F_{rr} \times u \quad (1.6)$$

Η ισχύς, λοιπόν που χρειάζεται, αναλογικά με τη ταχύτητα, για ένα ηλεκτρικό όχημα που ταξιδεύει σε οδόστρωμα χωρίς κλίση με συντελεστή αεροδυναμικής αντίστασης 0.3, συντελεστή αντίστασης στη κύλιση 0.015, μάζα 1000 kg και μετωπική επιφάνεια 1.5 m² φαίνεται στην Εικόνα 1.5 [1]. Το γράφημα δείχνει, σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις, πόση ισχύς απαιτείται για να υπερνικηθεί η αντίσταση στη κύλιση και η αεροδυναμική αντίσταση.



Εικόνα 1.5 Η απαιτούμενη ισχύς ώστε να υπερνικηθεί η αντίσταση στη κύλιση και η αεροδυναμική αντίσταση για ένα συνηθισμένο μικρό όχημα με $C_d=0.3$, $A=1.5\text{m}^2$, $m=1000\text{kg}$ και $\mu_r=0.015$. [1]

Από τις εξισώσεις άγεται το συμπέρασμα ότι η μάζα του οχήματος παίζει καταλυτικό ρόλο στην επίτευξη της μείωσης της αντίστασης της κύλισης, μιας και οι τιμές του συντελεστή αντίστασης της κύλισης παρουσιάζουν μικρή διακύμανση.

1.2.2. Δύναμη όταν το όχημα βρίσκεται σε ανηφόρα

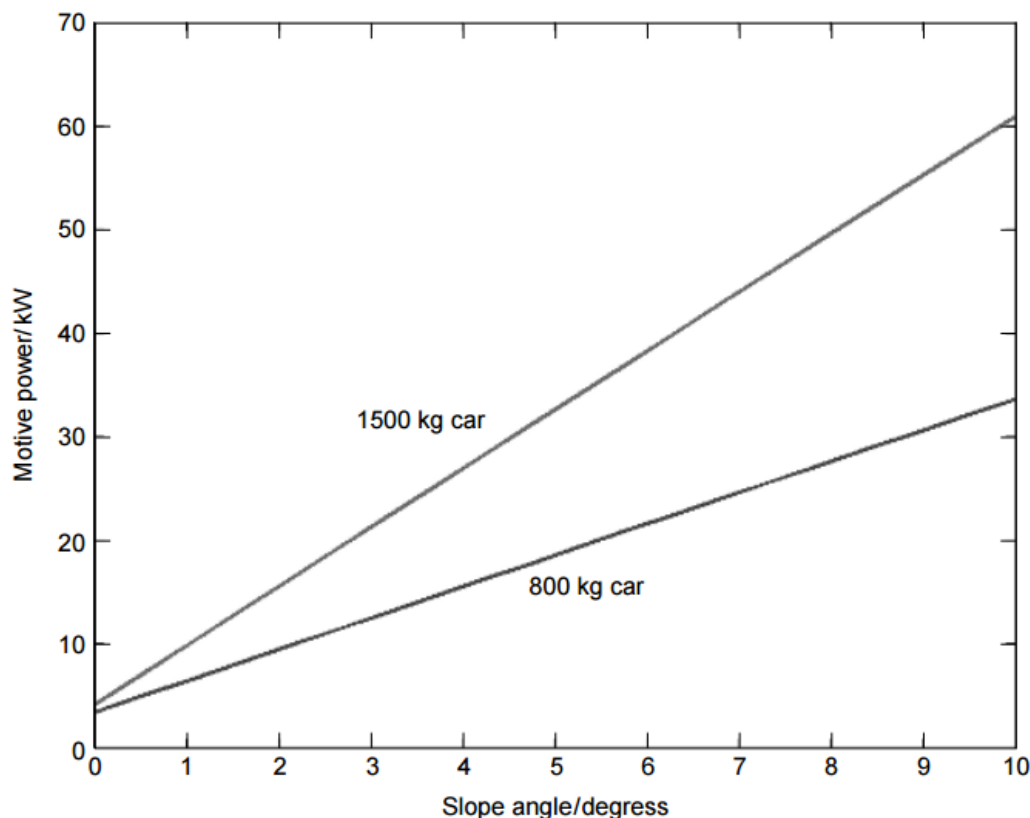
Η δύναμη που χρειάζεται για να οδηγηθεί ένα όχημα σε μία ανηφόρα είναι απλό να βρεθεί και υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω.

$$F_{hc} = m \cdot g \cdot \sin(\psi) \quad (1.7)$$

Η ισχύς, λοιπόν, που απαιτείται ώστε το όχημα να οδηγηθεί σε ένα ανηφορικό οδόστρωμα με μία συγκεκριμένη ταχύτητα δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$P_{hc} = F_{hc} \times u = m \cdot g \cdot u \cdot \sin(\psi) \quad (1.8)$$

Η παρακάτω Εικόνα 1.6 δείχνει την τελική ισχύ που χρειάζονται, ώστε να ταξιδέψουν σε μία σταθερή ταχύτητα, σε ανηφόρες με γωνίες που ποικίλουν από 0 έως 10 μοίρες, δύο οχήματα με διαφορετικά βάρη, αλλά όμοια ως προς τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους. Και τα δύο οχήματα, δηλαδή, έχουν αεροδυναμικό συντελεστή οπισθέλκουσας 0.19, ελαστικά με συντελεστή αντίστασης στη κύλιση 0.005 και μετωπική επιφάνεια 1.8m^2 [1].



Εικόνα 1.6 Η συνολική ισχύς που απαιτείται για δύο διαφορετικά οχήματα με ταχύτητα 80km/h σε μία ανηφόρα με κλίση από 0 έως 10 μοίρες. Και τα δύο οχήματα έχουν καλά ελαστικά με $\mu_{rr}=0.005$, χαμηλό συντελεστή οπισθέλκουσας $C_d=0.19$ και μετωπική επιφάνεια 1.8m^2 . Το ένα όχημα έχει βάρος 1500kg και το άλλο 800kg. [1]

Όπως φαίνεται και στην εικόνα το όχημα των 1500 kg χρειάζεται δύο φορές περισσότερη ισχύ απ' ό,τι το όχημα των 800 kg για να οδηγηθεί σε ένα ανηφορικό επίπεδο με κλίση 10 μοιρών.

1.2.3. Δυνάμεις κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση του οχήματος

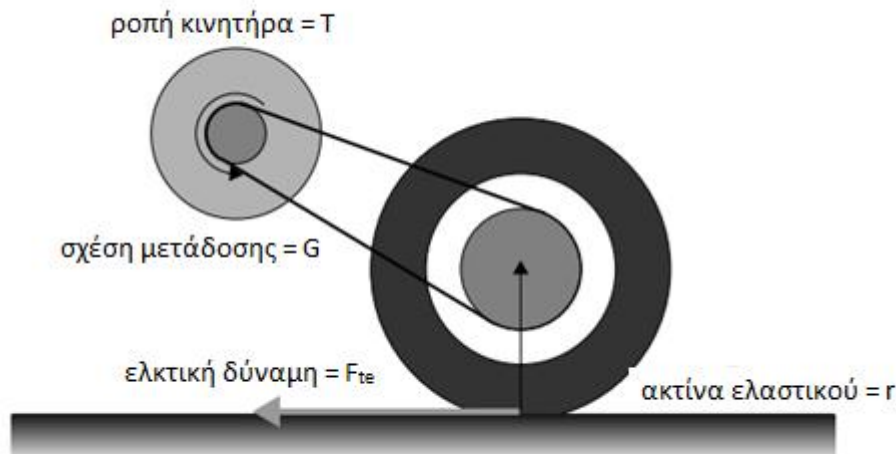
Προκειμένου να αποκτήσει το όχημα μία γραμμική επιτάχυνση, μία δύναμη ασκείται στο όχημα η οποία περιγράφεται από τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα η οποία περιγράφεται από τη παρακάτω σχέση.

$$F_{la} = m \cdot a \quad (1.9)$$

Μια πιο ακριβής προσέγγιση της δύναμης που χρειάζεται για να επιταχυνθεί το όχημα πρέπει, επίσης, να περιλαμβάνει τη δύναμη που χρειάζεται για να περιστραφούν γρηγορότερα τα περιστροφικά μέρη. Με λίγα λόγια πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν και η

περιστροφική επιτάχυνση. Σύμφωνα με την Εικόνα 1.7, η ροπή του άξονα είναι ίση με $F_{te} \cdot r$, όπου r είναι η ακτίνα του ελαστικού και F_{te} η ροπή που μεταφέρεται από τον κινητήρα. Εάν συμβολιστεί με G η σχέση μετάδοσης του συστήματος που συνδέει τον κινητήρα με τον άξονα και με T τη ροπή του κινητήρα, τότε προκύπτει ότι [1]:

$$F_{te} = \frac{G \cdot T}{r} \quad (1.10)$$



Εικόνα 1.7 Ο τρόπος που συνδέονται ο κινητήρας με τον τροχό του οχήματος. [1]

Επίσης είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η γωνιακή ταχύτητα του άξονα είναι u/r (rad/s). Επομένως η γωνιακή ταχύτητα του κινητήρα είναι:

$$\omega = \frac{G \cdot u}{r} \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) \quad (1.11)$$

και η επομένως η γωνιακή επιτάχυνση είναι:

$$\dot{\omega} = \frac{G \cdot a}{r} \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) \quad (1.12)$$

Η ροπή του κινητήρα που απαιτείται για την επίτευξη αυτής τη γωνιακής ταχύτητας είναι:

$$T = \frac{I \cdot G \cdot a}{r} \quad (1.13)$$

όπου I είναι ροπή αδράνειας του ρότορα του κινητήρα.

Η δύναμη στις ρόδες του οχήματος που απαιτείται για να επιτευχθεί μία συγκεκριμένη γωνιακή επιτάχυνση στους τροχούς του οχήματος $F_{\omega a}$ περιγράφεται από τη παρακάτω σχέση:

$$F_{\omega\alpha} = \frac{G \cdot T}{r} = \frac{I \cdot G^2 \cdot a}{r^2} \quad (1.14)$$

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για τις παραπάνω εξισώσεις έχει θεωρηθεί ότι το σύστημα ταχυτήτων είναι 100% αποδοτικό, το οποίο δεν ισχύει στην πραγματικότητα, αν και γενικά το ποσοστό αυτό είναι αρκετά ψηλό. Έτσι, η εξίσωση 1.14 επαναδιατυπώνεται πιο σωστά αν συμπεριληφθεί η αποδοτικότητα του συστήματος ταχυτήτων η_g [1].

$$F_{\omega\alpha} = \frac{I \cdot G^2 \cdot a}{\eta_g \cdot r^2} \quad (1.15)$$

Η επίδραση της μάζας του οχήματος, λοιπόν, όταν το όχημα επιταχύνει ή επιβραδύνει, γεγονός που είναι αρκετά έντονο στις συνθήκες οδήγησης στις πόλεις, είναι ιδιαίτερα έντονη για τα ηλεκτρικά οχήματα. Η κινητική ενέργεια του οχήματος περιγράφεται από τη παρακάτω σχέση για μία συγκεκριμένη μάζα m :

$$KE = \frac{1}{2} \cdot m \cdot u^2 \quad (1.16)$$

Όταν το όχημα επιβραδύνει η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε θερμότητα. Όταν χρησιμοποιείται το σύστημα αναγέννησης της πέδησης ένα ποσοστό της ενέργειας μπορεί να ανακτηθεί. Το μέγιστο πρακτικό όριο της κινητικής ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί είναι περίπου 40% [1]. Στα ελαφριά οχήματα οι απώλειες, που σχετίζονται με τη συνεχή παραγωγή και απώλεια κινητικής ενέργειας, είναι πολύ λιγότερες.

Εκτός όμως από τη μείωση του βάρους είναι αρκετά σημαντικό να μειωθεί και η ροπή αδράνειας των περιστρεφόμενων μερών, όπως οι τροχοί, αφού αυτή είναι που αποθηκεύει την περιστροφική κινητική ενέργεια. Η ενέργεια που αποθηκεύεται E_r (Joules) σε ένα εξάρτημα με ροπή αδράνειας $I(\text{kg/m}^2)$ και με ταχύτητα περιστροφής ω (rad/s), υπολογίζεται ως εξής:

$$E_r = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 \quad (1.17)$$

Και η ροπή αδράνειας I εκφράζεται ως :

$$I = \sum_{n=1}^{n=N} m_n \cdot r_n^2 \quad (1.18)$$

δηλαδή, το άθροισμα όλων των πεπερασμένων μαζών ενός εξαρτήματος που βρίσκονται σε μία απόσταση r από το κέντρο περιστροφής.

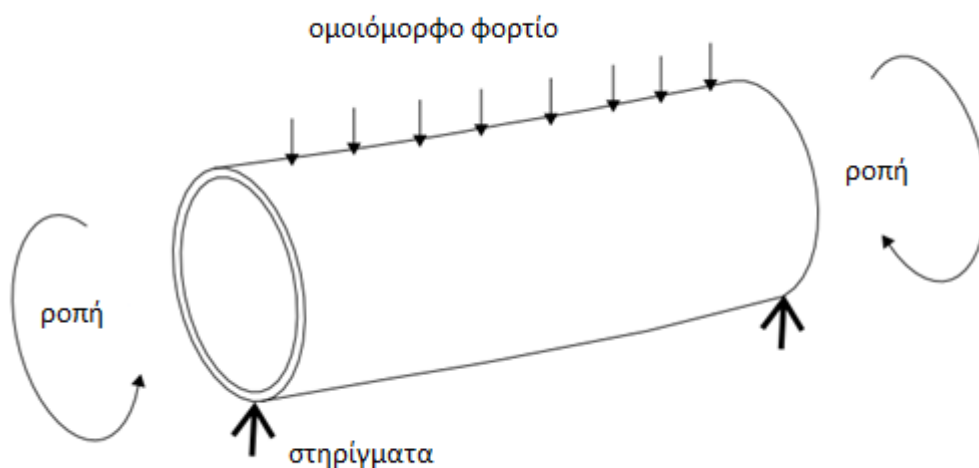
Συνοψίζοντας, λοιπόν, όλες τις παραπάνω δυνάμεις, υπολογίζεται η συνισταμένη δύναμη των δυνάμεων $F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{ta} + F_{\omega\alpha}$ [1]. Έτσι, προκύπτει ότι η

συνολική ισχύς που χρειάζεται κάθε δευτερόλεπτο για να κινηθεί το όχημα είναι $P_{te}=F_{te} \times u$.

1.3. Αντοχή, ακαμψία και ανθεκτικότητα σε χτυπήματα

Στο παρελθόν οι μηχανικοί που μελετούσαν τις πιέσεις στα αεροσκάφη, τα θεωρούσαν ως κοίλους κυλίνδρους. Οι σημερινές προβλέψεις για τη συμπεριφορά του οχήματος στις πιέσεις επιτυγχάνονται με σύνθετα προγράμματα που προϋποθέτουν τη χρήση υπολογιστή. Μία βασική κατανόηση, ωστόσο, της συμπεριφοράς του σώματος ενός κοίλου κυλίνδρου δίνει μία άποψη για το σχεδιασμό του σώματος του οχήματος.

Αν ληφθεί υπ' όψιν ένας κοίλος κύλινδρος και μελετηθεί ως προς την κάμψη και τη στρέψη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.8, μπορεί εύκολα να κατανοηθεί η συμπεριφορά του σώματος του οχήματος ως προς αυτές τις πιέσεις. Η κάμψη οφείλεται στο βάρος του οχήματος, ειδικά όταν αυτό περνά κατά την οδήγηση του από ανώμαλο οδόστρωμα. Το βάρος του οχήματος δημιουργεί πιέσεις κατά μήκος του σωλήνα και τείνει να τον εκτρέψει. Η στρέψη προκαλεί διατμητικές τάσεις και κάνει τον σωλήνα να περιστραφεί.



Εικόνα 1.8 Ο κοίλος κύλινδρος υπό φορτία κάμψης και στρέψης. [1]

Υποθέτοντας ομοιόμορφη κατανομή βάρους η καμπτική τάση σ (N/mm²) δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma = \frac{wL^4 r_0}{8I} \quad (1.19)$$

όπου w δίνεται από το βάρος ως προς το μήκος (βάρος/μήκος N/mm), L το μήκος του οχήματος (mm), r_0 η ακτίνα του κοίλου κυλίνδρου (mm) και I η ροπή αδράνειας του κυλίνδρου (mm⁴). Η ροπή αδράνειας για τον κύλινδρο είναι :

$$I = \frac{\pi \cdot (r_o^4 - r_i^4)}{4} \quad (1.20)$$

Έτσι προκύπτει ότι η μέγιστη εκτροπή δ στη μέση του σωλήνα είναι:

$$\delta = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (1.21)$$

όπου E το μέτρο ελαστικότητας (N/mm^2) [1].

Ομοίως, οι διατμητικές τάσεις στο τοίχωμα του κυλίνδρου q (N/mm^2) δίνονται από τη σχέση:

$$q = \frac{T \cdot r_0}{J} \quad (1.22)$$

όπου T είναι η εφαρμοσμένη ροπή (N.m) και J είναι η ροπή αδράνειας (mm^4) η οποία δίνεται :

$$J = \frac{\pi \cdot (r_o^4 - r_i^4)}{2} \quad (1.23)$$

Έτσι η γωνία περιστροφής (μοίρες) προκύπτει όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\theta = \frac{T \cdot L}{G \cdot J} \quad (1.24)$$

όπου G είναι οι μονάδες ακαμψίας (N/mm^2) [1].

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα. Η ελαχιστοποίηση των πιέσεων λόγω της κάμψης και της στρέψης, επιτυγχάνεται αν τα I και J διατηρούνται όσο μεγαλύτερα γίνεται. Για μία συγκεκριμένη μάζα υλικού, όσο πιο μακριά διανέμεται η μάζα από το κέντρο του σωλήνα τόσο μεγαλύτερες τιμές παίρνουν τα I και J . Επίσης, όσο μικρότερο είναι το μήκος L τόσο μικρότερες είναι οι τιμές που παίρνουν τα θ και δ .

Αυτό παραμένει αληθές μέχρι τα υλικά να υποστούν κύρτωση. Η κύρτωση των υλικών μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας δύο στρώσεις υλικού, με τοποθετημένο αφρό ανάμεσα τους.

Για να διατηρηθεί η εκτροπή από τη κάμψη και τη στρέψη όσο πιο χαμηλά επίπεδα γίνεται, είναι απαραίτητη η χρήση υλικών τα οποία είναι όσο το δυνατόν πιο άκαμπτα. Τα υλικά αυτά έχουν υψηλές τιμές E και G με αποτέλεσμα να μειώνονται οι τιμές δ και θ . Τα υλικά αυτά, όμως, πρέπει εκτός από άκαμπτα να έχουν και υψηλές μηχανικές αντοχές.

Ο χάλυβας είναι ένα σχετικά οικονομικό υλικό που πληροί τις παραπάνω προϋποθέσεις και αποτελεί μία παραδοσιακή λύση για την κατασκευή του σώματος

του οχήματος, όμως δεν αποτελεί απαραίτητα μία καλή λύση για τα ηλεκτρικά οχήματα. Αυτό συμβαίνει, διότι, έχει χαμηλή δύναμη συγκριτικά με το βάρος του και οδηγεί σε βαριές κατασκευές. Επίσης, το κόστος κατασκευής του είναι χαμηλό όταν πρόκειται για μαζική παραγωγή, όμως για μικρή παραγωγή οχημάτων, όπου τα ηλεκτρικά οχήματα έχουν, είναι μία σχετικά ακριβή επιλογή.

Υλικά, όπως είναι το αλουμίνιο και το ανθρακόνημα, έχουν καλύτερη μηχανική αντοχή ως προς το βάρος τους, απ' ότι ο χάλυβας, και η χρήση τους ενδείκνυται για τα ηλεκτρικά οχήματα.

Στον πίνακα 1.2 φαίνονται τα πιθανά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα ηλεκτρικά οχήματα καθώς και οι τιμές που μπορούν να πάρουν και σχετίζονται με τη κατασκευή του ηλεκτρικού οχήματος. Όπως φαίνεται στον πίνακα το ανθρακόνημα παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή ως προς το βάρος του (σ/ρ) και τη μεγαλύτερη ακαμψία ως προς το βάρος του (E/ρ) και με μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα υλικά [1].

Πίνακας 1.2 Δείχνει τη πυκνότητα, το όριο θραύσης, το μέτρο ελαστικότητας, τη δύναμη ως προς τη μάζα και την ακαμψία ως προς τη μάζα ανάλογα με το υλικό. [1]

Υλικό	Πυκνότητα ρ (kg/m^3)	Όριο θραύσης σ (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας E (GPa)	Δύναμη ως προς τη μάζα (σ/ρ)	Ακαμψία ως προς τη μάζα (E/ρ)
Μαλακός χάλυβας	7850	465	207	0.059	0.026
Ανοξείδωτο ατσάλι, FSM 1	7855	980	185	0.125	0.024
Κράμα αλουμινίου (DTD 5050B)	2810	500	71	0.178	0.025
Κράμα μαγνησίου (AX 31) (DTD 742)	1780	185	45	0.104	0.025
Πλαστικό ενισχυμένο με γυαλί, 80% μονοαξονικό γυαλί σε πολυεστερική ρητίνη	2000	1240	48.2	0.62	0.024
Πλαστικό ενισχυμένο με ίνες άνθρακα, 58% μονόδρομης κατεύθυνσης ίνες σε εποξική ρητίνη	1500	1050	189	0.70	0.126

Πριν, όμως, παρθεί οποιαδήποτε απόφαση ως προς το ποιο είναι το ποιο κατάλληλο υλικό τόσο για το σώμα του οχήματος όσο και για το σκελετό, πρέπει να υπολογιστεί η συμπεριφορά του οχήματος σε μία σύγκρουση. Εάν το όχημα είναι σχεδιασμένο ώστε να απορροφά την ενέργεια με έναν ελεγχόμενο τρόπο, οι δυνάμεις που ασκούνται στους επιβάτες μπορούν να ελαχιστοποιηθούν. Έτσι, το όχημα θα πρέπει

να είναι σχεδιασμένο ώστε να υπάρχουν σε αυτό ζώνες που απορροφούν την ενέργεια από τη παραμόρφωση.

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το αλουμίνιο και το ανθρακόνημα έχουν πολύ μεγαλύτερο κόστος απ' ότι ο χάλυβας. Όμως, με τη χρήση των 2 αυτών υλικών επιτυγχάνεται μεγάλη μείωση στο βάρος του οχήματος και κατ' επέκταση το μέγεθος των μπαταριών που απαιτείται, μειώνεται. Έτσι, εξοικονομείται ένα ποσό από τις μπαταρίες, οι οποίες έχουν και αυτές μεγάλο κόστος.

Κεφάλαιο 2. Σχεδιασμός ηλεκτρικού οχήματος

Αρχικά, αυτά που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για το σχεδιασμό του σώματος του οχήματος είναι:

- ❖ το όχημα πρέπει να έχει περιορισμένο βάρος
- ❖ οι διαστάσεις του οχήματος πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να είναι άκαμπτο και να έχει καλές μηχανικές ιδιότητες
- ❖ το όχημα πρέπει να ακολουθεί τις αεροδυναμικές αρχές όσο το δυνατόν καλύτερα συνδυάζοντας αυτές με τους κατασκευαστικούς περιορισμούς.
- ❖ Το όχημα θα πρέπει να είναι ανθεκτικό στη διάβρωση, στα χτυπήματα και να παραμορφώνεται αρμονικά σε περίπτωση δυστυχήματος, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι δυνάμεις που μεταφέρονται στους επιβάτες.
- ❖ Το σώμα του οχήματος θα πρέπει να είναι αισθητικά ευχάριστο.

2.1. Διαφορές ηλεκτρικών και συμβατικών (ΜΕΚ) οχημάτων

Υπάρχουν πολύ σημαντικές διαφορές στη διαδικασία σχεδιασμού ενός ηλεκτρικού οχήματος και ενός οχήματος με μηχανή εσωτερικής καύσης. Για παράδειγμα το επιπρόσθετο βάρος και η αεροδυναμική αντίσταση για ένα όχημα με μηχανή εσωτερικής καύσης δεν αποτελούν τόσο μεγάλο ελάττωμα, αφού η αύξηση της ισχύος μπορεί εύκολα και με μικρό σχετικά κόστος να επιτευχθεί. Η οικονομία στο βάρος του ηλεκτρικού οχήματος, αντίθετα, αυξάνει την αποδοτικότητα, η οποία συμβάλλει στο μέγεθος των μπαταριών, οι οποίες έχουν μεγάλο βάρος και κόστος από μόνες τους.

Πρέπει, επίσης, να ληφθεί υπ' όψιν ότι τα περισσότερα οχήματα με μηχανή εσωτερικής καύσης παράγονται σε μεγάλη ποσότητα σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά οχήματα που η ποσότητα αυτή προς το παρόν είναι πολύ μικρή. Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι υλικά όπως το ενισχυμένο πλαστικό και το αλουμίνιο, όπου και υπάρχει πιθανό πεδίο εφαρμογής για πιο καλό αεροδυναμικό σχήμα του οχήματος και εξοικονόμηση βάρους, αποτελούν μία πιο ελκυστική λύση για τα ηλεκτρικά οχήματα.

Υπάρχει ένα ευρύ πεδίο διαφορετικών σχεδίων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό ενός ηλεκτρικού οχήματος. Για αρχή δεν υπάρχει ανάγκη για τη χρήση καπώ. Επίσης, οι μπαταρίες μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε στο κάτω μέρος του οχήματος (πάτωμα οχήματος), προκειμένου να υπάρχει σταθερότητα. Τέλος, η ισχύς μεταφέρεται με πολύ ομαλό τρόπο και έτσι δεν είναι απαραίτητη η χρήση κιβωτίου ταχυτήτων.

2.1.1. Σχεδιασμός για σταθερότητα

Είναι πολύ σημαντικό για το σχεδιασμό ενός ηλεκτρικού οχήματος να υπολογίζεται η σταθερότητα του, μιας και το συνολικό βάρος του πρέπει να είναι σχετικά μικρό σε

σύγκριση με το βάρος των οχημάτων εσωτερικής καύσης. Για μέγιστη σταθερότητα οι ρόδες πρέπει να τοποθετούνται στις άκρες του οχήματος και το κέντρο βάρους του οχήματος πρέπει να βρίσκεται όσο πιο χαμηλά γίνεται. Από αυτή την άποψη το βάρος των μπαταριών αποτελεί πλεονέκτημα, αν αυτές τοποθετηθούν σωστά στο κάτω μέρος του οχήματος.

2.1.2. Ο ρόλος των μπαταριών στο σχεδιασμό του ηλεκτρικού οχήματος

Οι περισσότερες μπαταρίες ποικίλουν σε μέγεθος. Το ύψος μπορεί να προσαρμόζεται ανάλογα με το μήκος και το πλάτος της μπαταρίας και τα περισσότερα είδη μπαταριών μπορούν ακόμη και να διαχωρίζονται έτσι ώστε να τοποθετούνται κάτω από τα καθίσματα ή οπουδήποτε αλλού στο κάτω μέρος του οχήματος. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι διαθέσιμοι χώροι και να μειωθεί η μετωπική επιφάνεια του οχήματος. Οι μπαταρίες μπορούν, επίσης, να τοποθετηθούν με τρόπο τέτοιο ώστε να διασφαλίζεται ότι το όχημα είναι τέλεια ισορροπημένο ως προς το κέντρο βάρους του, με αποτέλεσμα μία καλή οδηγική συμπεριφορά του οχήματος.

2.1.3. Η ανάρτηση του ηλεκτρικού οχήματος

Η ανάρτηση έχει σαν σκοπό την διατήρηση όλων των τροχών στο έδαφος, καθώς και τη μείωση των της επίδρασης των ανωμαλιών του οδοστρώματος και την εξασφάλιση της άνεσης του επιβάτη. Το σύστημα ανάρτησης του ηλεκτρικού οχήματος πρέπει, από άποψη ενεργειακής απόδοσης, να είναι σχετικά σκληρό. Επίσης, η πίεση των ελαστικών πρέπει να είναι αρκετά ψηλή, ώστε να μειώνεται η ενέργεια που χάνεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η οδήγηση να είναι λιγότερο άνετη.

2.2. Σχεδιασμός με τη χρήση CAD

Η μοντελοποίηση ενός καινούργιου σώματος οχήματος πραγματοποιείται με τα παρακάτω βήματα:

- Προσδιορισμός του κατάλληλου προγράμματος παραμετρικής σχεδίασης. Η επιλογή, δηλαδή, ενός προγράμματος κατάλληλου για την μοντελοποίηση και τη λεπτομερή παρουσίαση του οχήματος. Στην προκειμένη περίπτωση έχει χρησιμοποιηθεί η έκδοση Creo parametric 2.0 του Pro/Engineer, μιας και σε αυτό εμπεριέχονται όλες οι εντολές για την επιτυχή σχεδίαση του σώματος ενός οχήματος.
- Η αρχική προσέγγιση της μοντελοποίησης του σώματος του οχήματος. Σε αυτό το στάδιο γίνεται η σύλληψη της ιδέας για το σχεδιασμό του σώματος του οχήματος και η σχεδίαση αυτού σαν ένα ενιαίο μέρος.
- Προσδιορισμός των κυρίων μερών του οχήματος εξωτερικά. Σε αυτό το σημείο προσδιορίζονται τα μέρη που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στο σώμα του οχήματος προκειμένου να είναι λειτουργικό. Τα μέρη αυτά είναι:
 - Μπροστινός προφυλακτήρας
 - Πόρτες
 - Πορτμπαγκάζ
 - Πίσω προφυλακτήρας
 - Παρμπρίζ

- Παράθυρα
 - Οροφή
 - Μπροστινά φανάρια και φώτα ομίχλης
 - Πίσω φανάρια
 - Καθρέπτες
 - Οι ζάντες με τα ελαστικά τους.
- Λεπτομερής ανάλυση των μερών του οχήματος και συναρμολόγηση. Σε αυτό το στάδιο, δηλαδή, σχεδιάζεται το κάθε μέρος του οχήματος ξεχωριστά και ύστερα συναρμολογούνται ώστε να ολοκληρώσουν το σώμα του οχήματος.
 - Συμβιβασμός μεταξύ των αισθητικών και κατασκευαστικών περιορισμών.

2.2.1. Πρώτος σχεδιασμός του σώματος του οχήματος.

Αρχικά σχεδιάστηκε το όχημα που φαίνεται στη Εικόνα 2.1. Πριν ξεκινήσει ο σχεδιασμός του οχήματος λήφθηκαν υπ' όψιν τα παρακάτω στοιχεία:

- ❖ Το μήκος του οχήματος πρέπει να είναι μικρό ώστε να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση της γωνίας περιστροφής θ και της εκτροπής δ .
- ❖ Το όχημα θα πρέπει να έχει μικρές διαστάσεις αφού η επίτευξη μικρού βάρους οχήματος προϋποθέτει κατάλληλα υλικά και περιορισμό των διαστάσεων.
- ❖ Το όχημα θα πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μικρότερη μετωπική επιφάνεια ώστε να μειώνεται η αεροδυναμική αντίσταση
- ❖ Το σχήμα του οχήματος πρέπει να έχει σαν πρότυπο το σχήμα της σταγόνας για μείωση του συντελεστή αντίστασης
- ❖ Ο σχεδιασμός του οχήματος θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να μπορούν να συμπεριληφθούν στο σώμα του οχήματος όλα τα μέρη που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του
- ❖ Το όχημα θα πρέπει να είναι αισθητικά ευχάριστο.

Έτσι οι διαστάσεις του οχήματος που προέκυψαν για το όχημα είναι οι παρακάτω:

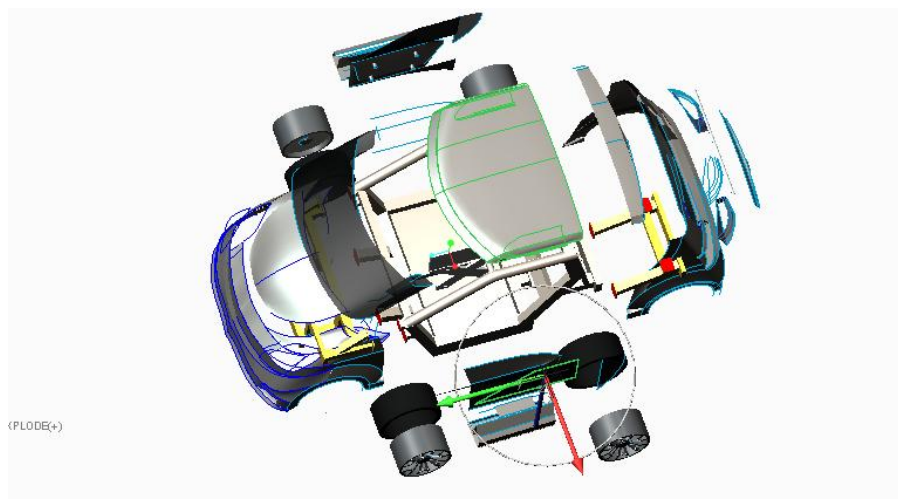
- Το ύψος του οχήματος από το έδαφος είναι 1604 mm
- Το συνολικό μήκος του οχήματος είναι 2718 mm
- και το συνολικό πλάτος είναι 1660 mm.

Οι διαστάσεις, λοιπόν, είναι ικανοποιητικές για τους στόχους που έχουν τεθεί για το μέγεθος του οχήματος.



Εικόνα 2.1 Η πρώτη εκδοχή του οχήματος από τη μπροστινή και το πλαϊνή όψη και από τη πίσω και πλαϊνή όψη.

Επίσης, από την Εικόνα 2.2 φαίνεται ότι όλα τα μέρη που καθιστούν το όχημα λειτουργικό έχουν συμπεριληφθεί στο σχεδιασμό του σώματος του οχήματος.



Εικόνα 2.2 Στην εικόνα φαίνονται όλα τα μέρη του οχήματος αποσυναρμολογημένα για την ξεχωριστή παρατήρηση των μερών του οχήματος.

Παρ' όλα αυτά όμως το σχέδιο έχει πολλά ελαττώματα, αφού το σχήμα του οχήματος δεν είναι αεροδυναμικό και το όχημα δεν είναι αισθητικά ευχάριστο. Οι ακμές που δημιουργούνται στο σχήμα του οχήματος αυξάνουν τον συντελεστή αντίστασης C_d .

Επίσης, η σύνδεση μεταξύ των μερών του οχήματος δημιουργεί προβλήματα στην αεροδυναμική του οχήματος μιας και τα μέρη δεν έχουν ταιριάζει απόλυτα και έχουν δημιουργηθεί κενά.

Τέλος, η μορφή του οχήματος είναι γεωμετρικά περίπλοκη, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει δυσκολία στην κατασκευή του οχήματος, με αποτέλεσμα το μεγαλύτερο κόστος κατασκευής. Έτσι, δημιουργήθηκε η ανάγκη για το σχεδιασμό καινούριου οχήματος.

2.2.2. Δεύτερος σχεδιασμός του σώματος του οχήματος.

Έχοντας λάβει υπ' όψιν τα μειονεκτήματα του παραπάνω σχεδιασμού του οχήματος, έγινε προσπάθεια επανασχεδίασης του και διόρθωσης των προβλημάτων που αναφέρθηκαν. Έτσι προέκυψε ο σχεδιασμός του οχήματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3 Η δεύτερη εκδοχή του οχήματος από τη μπροστινή και τη πλαϊνή όψη και από τη πίσω και πλαϊνή όψη.

Το καινούριο όχημα είναι εμφανώς βελτιωμένο ως προς τις ακμές που παρουσιάζει, όμως δεν έχουν βελτιωθεί αρκετά ώστε αυτές να μην αποτελούν πρόβλημα στην αεροδυναμική αντίσταση του οχήματος. Επιπλέον οι συνδέσεις μεταξύ των μερών του οχήματος παραμένουν μη αποτελεσματικές.

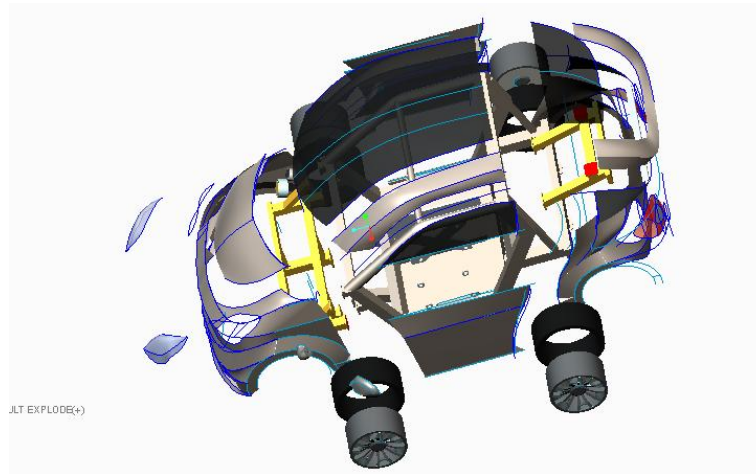
Επίσης, είναι εμφανής η χρήση μεγάλης ποσότητας γυαλιού για την κατασκευή του οχήματος. Το γυαλί είναι ένα σχετικά βαρύ υλικό με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται η μείωση του βάρους του οχήματος. Η γεωμετρία του οχήματος παραμένει εξαιρετικά πολύπλοκη με αποτέλεσμα τα κατασκευαστικά προβλήματα.

Οι διαστάσεις, ωστόσο, του οχήματος είναι ικανοποιητικές για τους στόχους που έχουν τεθεί για το σχεδιασμό του οχήματος όπως φαίνονται παρακάτω:

- Το συνολικό ύψος του οχήματος είναι 1604 mm
- το συνολικό μήκος 2718 mm

- το συνολικό πλάτος 1660 mm.

Επίσης τα μέρη του απαιτούνται για το εξωτερικό του οχήματος έχουν συμπεριληφθεί στο σώμα του οχήματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4.



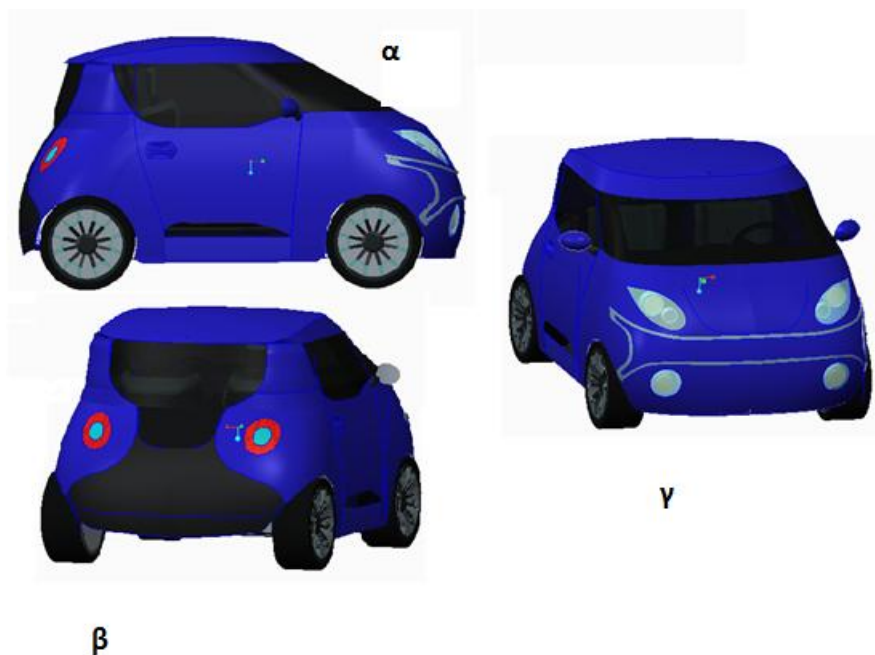
Εικόνα 2.4 Στην εικόνα φαίνονται όλα τα μέρη της δεύτερης εκδοχής του οχήματος αποσυναρμολογημένα για την ξεχωριστή παρατήρηση των μερών του οχήματος.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η δεύτερη εκδοχή του οχήματος είναι μια προσπάθεια βελτιστοποίησης της πρώτης εκδοχής. Αν και βελτιώθηκαν κάποια προβλήματα, το όχημα αυτό δεν είναι δυνατό να βελτιωθεί αρκετά ώστε η χρήση του να είναι αποτελεσματική για ένα ηλεκτρικό όχημα. Επίσης, η αισθητική του οχήματος παραμένει στα ίδια επίπεδα με αυτή του πρώτου οχήματος.

Έτσι, έχοντας πάντα τα ίδια κριτήρια για το σχεδιασμό του σώματος ενός ηλεκτρικού οχήματος, δημιουργείται η ανάγκη σχεδιασμού ενός καινούριου οχήματος, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα ελαττώματα των προηγούμενων σχεδίων ώστε να μην επαναληφθούν.

2.2.3. Τρίτος σχεδιασμός του σώματος του οχήματος.

Ο τρίτος σχεδιασμός του οχήματος πραγματοποιήθηκε ξεκινώντας από την αρχή το σχεδιασμό του οχήματος μιας και το παραπάνω όχημα παρουσίαζε αρκετά προβλήματα ώστε να μπορέσει να γίνει μια ικανοποιητική βελτίωσή του. Έτσι σχεδιάστηκε το όχημα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5 στο τρισδιάστατο επίπεδο και από όλες τις οπτικές γωνίες για τη πλήρη κατανόηση του σχεδίου.



Εικόνα 2.5 Παρουσίαση του τρίτου σχεδιασμού του οχήματος από όλες τις οπτικές γωνίες για τη κατανόηση του σχεδιασμού. α) το όχημα από το πλαϊνό επίπεδο, β) το όχημα από το πίσω και πλαϊνό επίπεδο, γ) το όχημα από το μπροστινό και πλαϊνό επίπεδο.

Ο καινούριος σχεδιασμός του οχήματος πληροί όλα τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός ενός ηλεκτρικού οχήματος, όπως φαίνεται παρακάτω:

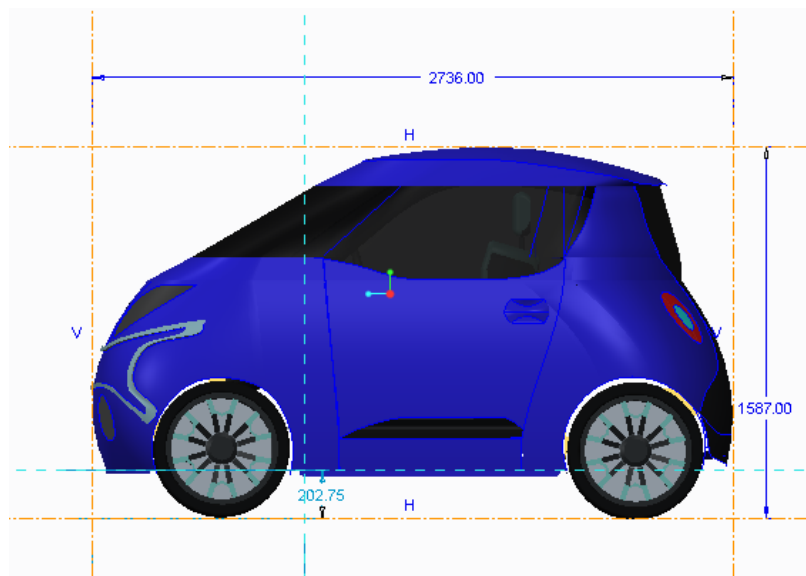
- ❖ Το μήκος του οχήματος είναι σχετικά μικρό και η μάζα του οχήματος διαμοιράζεται αρκετά καλά γύρω από το κέντρο του, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση της γωνίας περιστροφής θ και της εκτροπής δ . Το μήκος L του οχήματος φαίνεται αναλυτικά στην Εικόνα 2.6.
- ❖ Το όχημα έχει σχετικά μικρές διαστάσεις, με αποτέλεσμα την επίτευξη του μικρού βάρους του οχήματος, ειδικά αν ο σχεδιασμός αυτού γίνει και με τα κατάλληλα υλικά. Οι διαστάσεις του οχήματος φαίνονται αναλυτικά στις Εικόνες 2.6 και 2.7.
- ❖ Το όχημα έχει μικρή μετωπική επιφάνεια, αφού το ύψος του είναι όσο μικρότερο γίνεται σε συνδυασμό με την χωρητικότητα που απαιτείται ώστε να φιλοξενηθούν οι επιβάτες του οχήματος με άνεση, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αεροδυναμική αντίσταση.
- ❖ Το σχήμα του οχήματος είναι αρκετά αεροδυναμικό, αφού δεν υπάρχουν ακμές και τα μέρη του οχήματος έχουν συναρμολογηθεί με τρόπο τέτοιο ώστε τα σημεία διαχωρισμού να είναι ικανοποιητικά μικρά. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι διαστάσεις και το σχήμα του οχήματος παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με ένα όχημα της Toyota, το μοντέλο IQ, το οποίο έχει συντελεστή αντίστασης $C_d=0.3$. Έτσι, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο συντελεστής αντίστασης του τρίτου οχήματος που σχεδιάστηκε δεν θα παρεκκλίνει πολύ από αυτόν.

- ❖ Ο σχεδιασμός του οχήματος έχει γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να συμπεριληφθούν στο σώμα του οχήματος όλα τα μέρη που είναι απαραίτητα για τη λειτουργικότητά του.
- ❖ Τέλος, το όχημα είναι αισθητικά ευχάριστο, αν ληφθεί υπ' όψιν ότι πρόκειται για προκαταρκτικό σχεδιασμό.

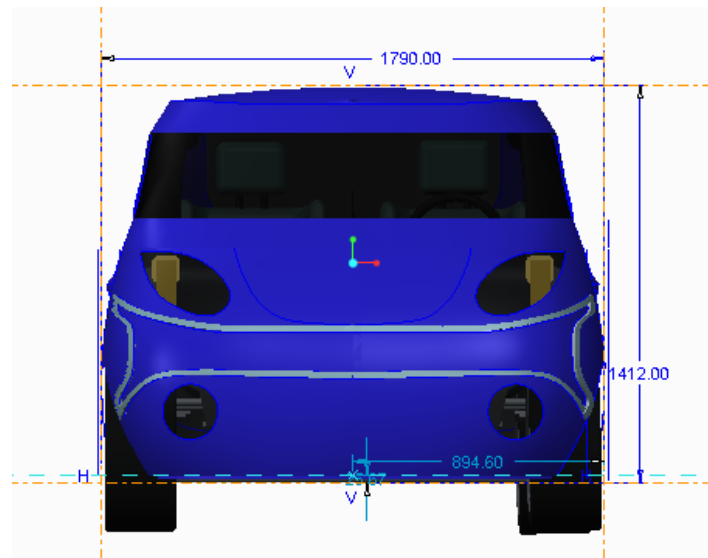
Έτσι, ο σχεδιασμός αυτού του οχήματος είναι και ο τελικός. Σημαντικό είναι, ωστόσο, να γίνει μία πιο αναλυτική παρουσίαση του σχεδιασμού του οχήματος προκειμένου τα παραπάνω να γίνουν αντιληπτά.

Αρχικά οι διαστάσεις του οχήματος όπως φαίνονται στις Εικόνες 2.6 και 2.7 είναι:

- Μήκος 2736 mm
- Ύψος 1412 mm
- Πλάτος 1790 mm
- Ύψος από το έδαφος 1587 mm.

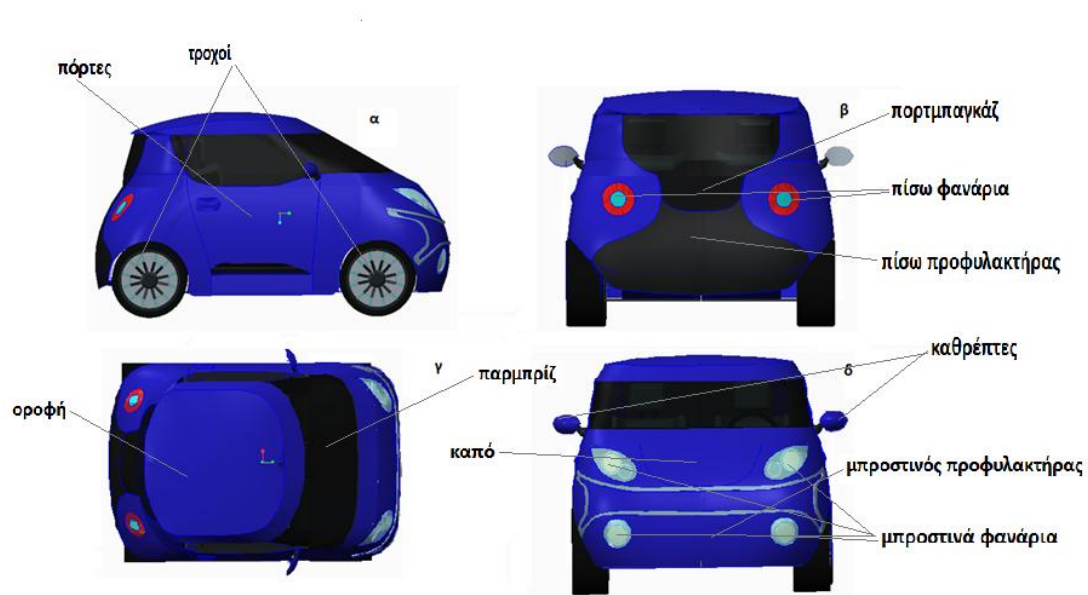


Εικόνα 2.6 Παρουσίαση του μήκους L του οχήματος και του ύψους του από το έδαφος σε mm.



Εικόνα 2.7 Παρουσίαση του πλάτους και του ύψους το σώματος του οχήματος σε mm.

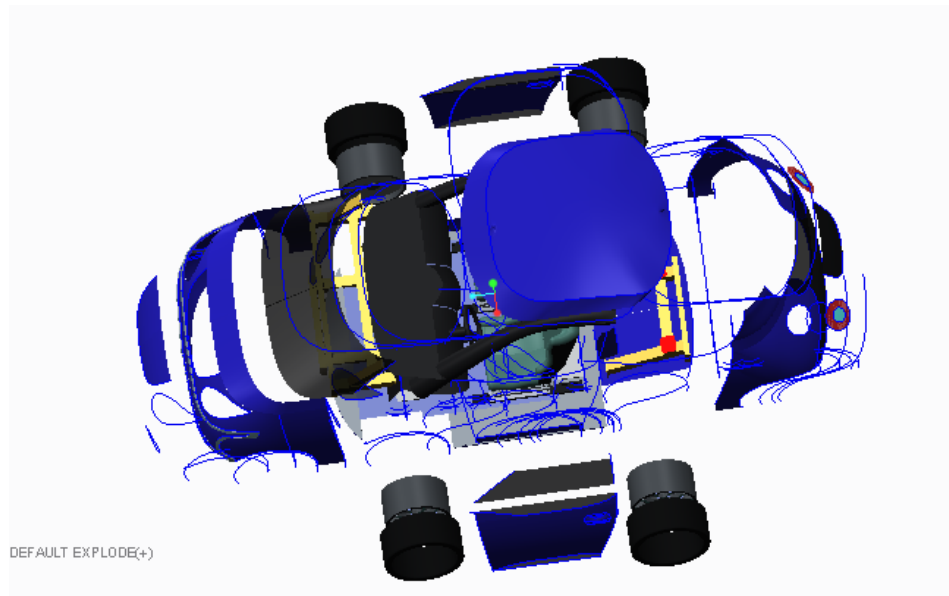
Τα μέρη που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στο σώμα του οχήματος προκειμένου αυτό να είναι λειτουργικό φαίνονται στην Εικόνα 2.8. Το όχημα παρουσιάζεται από όλες τις όψεις (κάτοψη, πρόσοψη, πλάγια όψη και πίσω όψη) προκειμένου να δειχθούν ξεκάθαρα όλα τα μέρη του σώματος του οχήματος προσαρμοσμένα σε αυτό.



Εικόνα 2.8 Στην εικόνα φαίνεται το όχημα από όλες τις όψεις, καθώς και τα μέρη που απαρτίζουν το σώμα του οχήματος. α) πλάγια όψη β)πίσω όψη, γ) κάτοψη, δ)πρόσοψη.

Τέλος, φαίνεται το όχημα αποσυναρμολογημένο προκειμένου να φανούν τα μέρη του οχήματος ξεχωριστά στην Εικόνα 2.9. Πρέπει να σημειωθεί, ωστόσο ότι το καπό

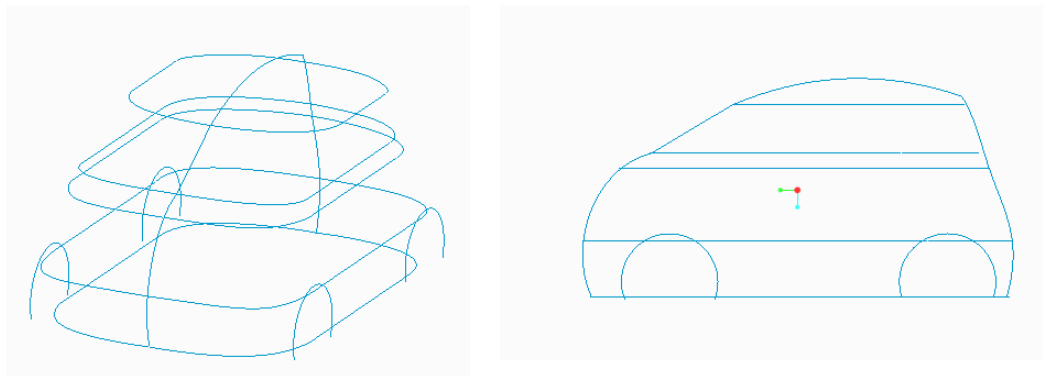
σχεδιάστηκε προκειμένου να υπάρχει πρόσβαση στον αποθηκευτικό χώρο που υπάρχει στο μπροστινό μέρος του οχήματος.



Εικόνα 2.9 Το σώμα του τρίτου οχήματος αποσυναρμολογημένο

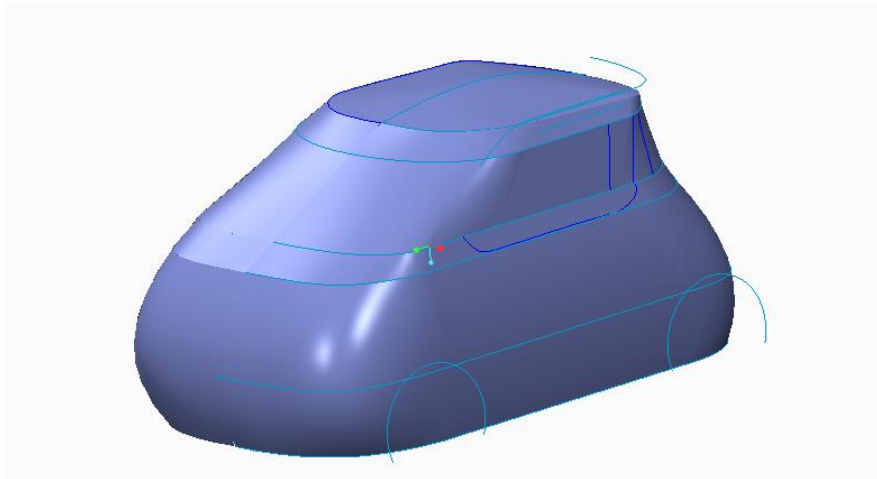
2.2.4. Διαδικασία σχεδιασμού με τη γρήση CAD

Σημαντικό είναι σε αυτό το σημείο να επισημανθεί πως σχεδιάστηκε το όχημα με το εργαλείο CAD. Αρχικά σχεδιάστηκε σαν ένα ενιαίο μέρος που αποτελούταν από γραμμές σε διάφορα επίπεδα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.10.



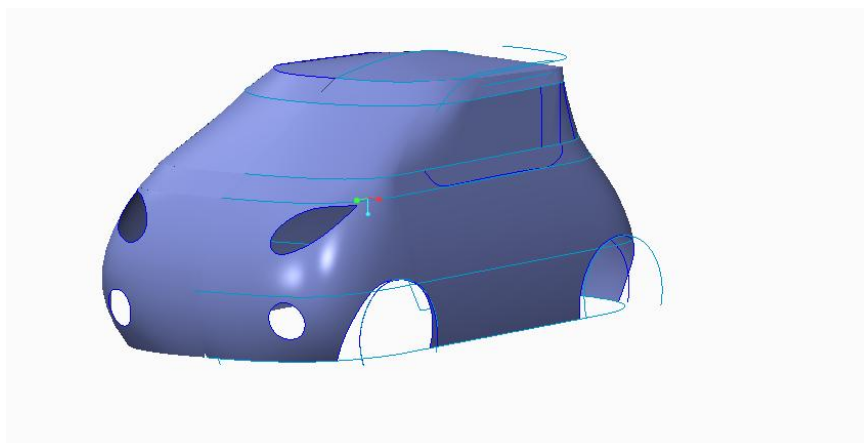
Εικόνα 2.10 οι καμπύλες στα διάφορα επίπεδα που απαρτίζουν το κέλυφος του οχήματος.

Ύστερα οι γραμμές που βρίσκονται σε παράλληλα επίπεδα ενώθηκαν με την εντολή Boundary Blend ώστε να δημιουργηθούν οι επιθυμητές επιφάνειες, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.11.



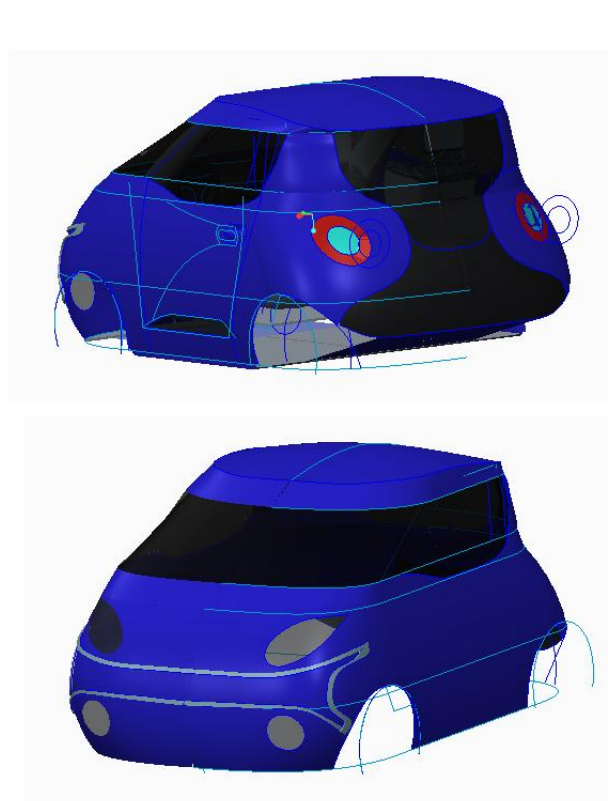
Εικόνα 2.11 Παρουσίαση του αποτελέσματος μετά την ένωση των καμπυλών στα διάφορα επίπεδα.

Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν όλες οι καμπύλες που απαρτίζουν τα μέρη του οχήματος πάνω στις επιφάνειες του οχήματος ή σε ένα επίπεδο και με την εντολή *drop curve* στο *style* τοποθετήθηκαν πάνω στο όχημα. Μετά οι καμπύλες που σχημάτιζαν τα μέρη του οχήματος έκοβαν το σώμα του οχήματος στις επιθυμητές διαστάσεις και σχήματα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.12, με την εντολή *trim*.



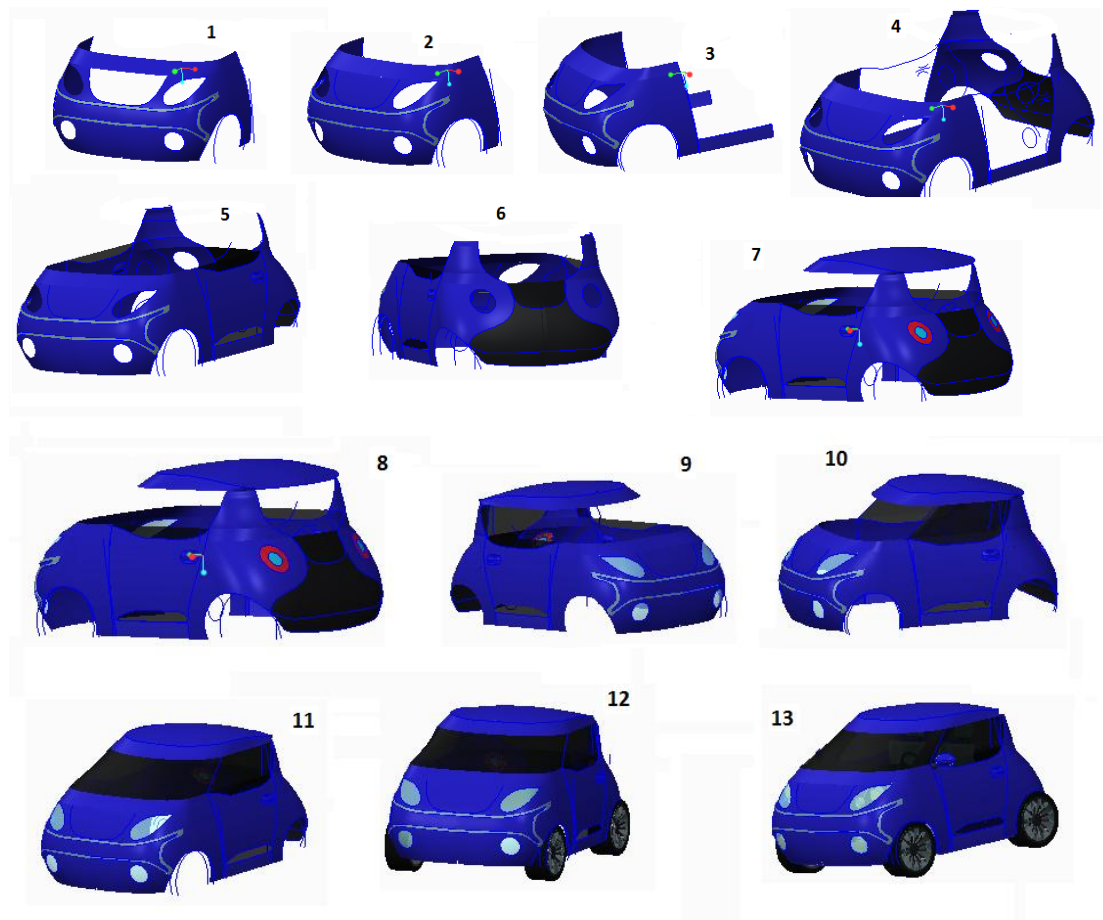
Εικόνα 2.12 Παρουσίαση των κομμένων μερών του οχήματος.

Ύστερα σχηματίστηκαν νέες επιφάνειες που κάλυπταν τα κενά μέρη όπου ήταν απαραίτητο. Έτσι βάζοντας και τα επιθυμητά χρώματα σε κάθε επιφάνεια προέκυψε ο παρακάτω σχεδιασμός για το κέλυφος του οχήματος όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.13.



Εικόνα 2.13 Τελικό σχέδιο του κελύφους του οχήματος σε ενιαίο part.

Στη συνέχεια, το κέλυφος του οχήματος διαχωρίστηκε στα επιθυμητά μέρη και μετατράπηκε σε ξεχωριστά parts όπου μετά συναρμολογήθηκαν όπως φαίνεται παρακάτω. Στην αρχή τοποθετήθηκε στο assemble ο μπροστινός προφυλακτήρας και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν το καπό, τα μέρη κάτω από τη πορτά, ο πίσω προφυλακτήρας, οι πόρτες, το πορτ παγκάζ, η οροφή, τα μπροστινά και τα πίσω φανάρια, το τζάμι του πορτ παγκάζ, τα παράθυρα των πορτών, το παρμπρίζ, οι τροχοί και οι καθρέπτες, όπως φαίνονται στην Εικόνα 2.14 από την αρχή προς το τέλος.



Εικόνα 2.14 Στάδια συναρμολόγησης του οχήματος.

Ενώ, ο σχεδιασμός του σώματος του οχήματος είναι τέτοιος ώστε να καθιστά ένα ηλεκτρικό όχημα όσο πιο αποδοτικό γίνεται, προκύπτει ένα άλλο ζήτημα εξίσου σημαντικό και αυτό είναι κατά πόσο ένα τόσο μικρό όχημα μπορεί να φιλοξενήσει τους επιβάτες και να τους παρέχει άνεση και ασφάλεια. Οι διαθέσιμοι χώροι του οχήματος είναι περιορισμένοι και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ανάγκη μελέτης αυτών ως προς τις ανθρωπομετρικές διαστάσεις και τη θέση των επιβατών κατά τη διάρκεια οδήγησης του οχήματος.

Είναι σημαντικό, λοιπόν, να προσδιοριστεί η τοποθέτηση των εσωτερικών μερών που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του οχήματος με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη αξιοποίηση των χώρων ως προς την άνεση και την ασφάλεια των επιβατών. Επίσης, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί το πεδίο ορατότητας που πρέπει να έχει ο οδηγός ώστε να οδηγεί με ασφάλεια καθώς και τα συστήματα συγκράτησης για τη μέγιστη ασφάλεια των επιβατών.

Κεφάλαιο 3. Εργονομική ανάλυση εσωτερικών μερών οχήματος

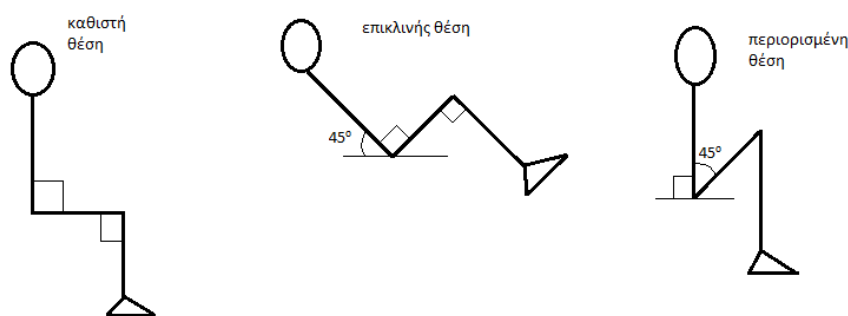
Τα απαραίτητα μέρη του οχήματος που πρέπει να προσδιοριστούν ως προς τις διαστάσεις και τις λειτουργίες τους είναι τα ποδωστήρια (γκάζι, φρένο), τα καθίσματα των επιβατών (οδηγού και συνοδηγού), το τιμόνι και όλα τα μέρη που επηρεάζουν την ορατότητα του οδηγού (καθρέπτες εσωτερικοί και εξωτερικοί, παρμπρίζ). Προκειμένου να φιλοξενηθούν στο όχημα άνθρωποι με ποικίλα ανθρωπομετρικά μεγέθη ο εσωτερικός σχεδιασμός έχει γίνει λαμβάνοντας υπ' όψιν το 95% του πληθυσμού και τοποθετώντας κατάλληλους μηχανισμούς προσαρμογής για να μπορούν να προσαρμόζονται στην εργονομική οδήγηση.

3.1. Τοποθέτηση επιβατών

Σκοπός είναι να περιγραφούν οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη τοποθέτηση των επιβατών του οχήματος. Η διαδικασία τοποθέτησης των επιβατών δεν πρέπει να παραβλέπει τις παρακάτω ανάγκες:

- Άνεση
- Ασφάλεια
- Λειτουργικότητα
- Άμεση και έμμεση ορατότητα.

Οι βασικές στάσεις σώματος είναι η καθιστή θέση, η επικλινή θέση και η περιορισμένη θέση. Αυτές οι στάσεις του σώματος επιτρέπουν στον οδηγό να διατηρεί το κεφάλι στην όρθια θέση χωρίς προσπάθεια.



Εικόνα 3.1 Παρουσίαση των βασικών στάσεων σώματος.

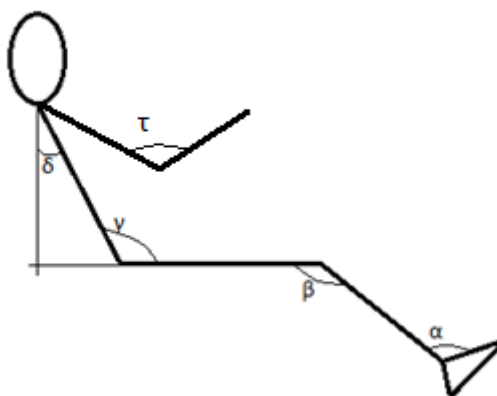
Η στάση σώματος που έχει ο άνθρωπος σε ένα κάθισμα αυτοκινήτου είναι ένας συνδυασμός της καθιστής και της επικλινούς θέσης.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να προσδιοριστούν οι γωνίες στις διάφορες αρθρώσεις του σώματος που επεμβαίνουν στο σχεδιασμό του εσωτερικού του οχήματος. Οι γωνίες αυτές είναι οι παρακάτω :

- Γωνία β : είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ κνήμης και ισχίου (γόνατο). Αυτή η γωνία δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλη, έτσι ώστε να είναι εφικτή

η επέκταση του ποδιού κατά την λειτουργία των πεταλιών, ούτε πολύ μικρή, προκειμένου να είναι εφικτή η κάμψη του ποδιού. Τα γόνατα πρέπει να βρίσκονται πιο κάτω από το κατώτερο σημείο του τιμονιού και πιο μπροστά.

- Γωνία δ : είναι η γωνία που σχηματίζει ο κορμός του επιβάτη με το κάθετο επίπεδο. Η γωνία αυτή εξαρτάται τόσο από το ύψος του οδηγού όσο και από το ύψος και μέγεθος του οχήματος. Σε ένα μικρό όχημα με περιορισμούς στον επιτρεπόμενο διαμήκη χώρο των επιβατών η κλίση αυτή δεν είναι μεγαλύτερη από 25 μοίρες. Τα πλεονεκτήματα σε αυτή την επιλογή είναι η επίτευξη της καλής ορατότητας και η μικρότερη απόσταση από το τιμόνι. Όμως το βάρος του πάνω μέρους του σώματος διαμοιράζεται καλύτερα στη πλάτη του καθίσματος χωρίς να επιβαρύνει τη σπονδυλική στήλη σε ένα πιο επικλινές κάθισμα και επιτρέπεται μία καλύτερη αντίσταση στη κατακόρυφη επιτάχυνση. Σε ένα μικρό όχημα πόλης, όμως είναι σημαντικότερα τα χαρακτηριστικά για $\delta < 25$ μοιρών [4].
- Γωνία γ : είναι η γωνία που σχηματίζει ο κορμός με το ισχίο. Εξαρτάται από τη γωνία δ και β . Όταν ο οδηγός ασκεί πίεση στα ποδωστήρια η γωνία β αλλάζει και κατ' επέκταση και η γωνία γ .
- Γωνία α : είναι η γωνία που σχηματίζει ο αστραγάλος με τη κνήμη. Μία άνετη κατάσταση του αστραγάλου προϋποθέτει μία σχετικά σταθερή σχέση με μικρές αποκλίσεις από την κύρια τιμή. Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι η μέγιστη περιστροφή του αστραγάλου χωρίς μεγάλη προσπάθεια είναι 40 μοίρες και η γωνία α ποικίλει από 80 μέχρι 120 μοίρες [4].
- Γωνία τ : είναι η γωνία που σχηματίζει ο αγκώνας όταν το χέρι του οδηγού είναι τοποθετημένο στο τιμόνι.



Εικόνα 3.2 Στην εικόνα παρουσιάζονται οι γωνίες που σχηματίζουν οι αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος κατά την οδήγηση.

Οι μετρήσεις που προκύπτουν για τις παραπάνω γωνίες σύμφωνα με τον Rebiffe [4] είναι οι παρακάτω :

Πίνακας 3.1 Οι γωνίες σε μοίρες που μπορούν να σχηματίσουν οι διάφορες αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος κατά τη διάρκεια οδήγησης. [4]

Γωνία γ	95-120
Γωνία β	95-135
Γωνία α	90-110
Γωνία τ	80-120

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι βασικές διαστάσεις του καθίσματος του οχήματος (ύψος, μήκος και πλάτος μαξιλαριού και πλάτης καθίσματος), η σωστή τοποθέτηση των ποδωστηρίων, καθώς και η πρόσβαση σε όλα τα οπτικά πεδία που απαιτούνται, είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν οι ανθρωπομετρικές διαστάσεις που παρεμβάλλουν στη διαμόρφωσή του. Οι ανθρωπομετρικές διαστάσεις ποικίλουν από άνθρωπο σε άνθρωπο, γι αυτό και είναι σημαντικός ο διαχωρισμός τους ανάλογα με το φύλλο και με το ποσοστό του πληθυσμού των οδηγών που καλύπτουν. Οι παρακάτω Πίνακες 3.2 και 3.3 δημιουργήθηκε με βάση τον Αμερικάνικο πληθυσμό. Επιλέχθηκαν οι βασικές διαστάσεις του 5^{ου}, 50^{ου}, 95^{ου} εκατοστημορίου, που αντιστοιχούν στο πληθυσμό με τις πιο μικρές ανθρωπομετρικές διαστάσεις, με τις κανονικές και με τις μεγάλες.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ανθρωπομετρικές διαστάσεις του γυναικείου πληθυσμού σε εκατοστά .

Πίνακας 3.2 Οι ανθρωπομετρικές διαστάσεις του 5^{ου} εκατοστημορίου, του 50^{ου} εκατοστημορίου και του 95^{ου} εκατοστημορίου του γυναικείου πληθυσμού. [4]

εκατοστημόρια Μέρη σώματος	5 ^ο εκατοστημόριο	50 ^ο εκατοστημόριο	95 ^ο εκατοστημόριο
Ύψος αναστήματος	150.0	160.0	170.4
Ύψος ματιών	142.2	150.4	160.6
Ύψος ώμων	123.0	132.9	143.4
Ύψος επιγονατίδας	45.4	50.0	54.6
Ύψος λεκάνης	66.2	73.6	81.4
Ύψος σε καθιστή θέση από το κατώτερο σημείο των γλουτών	78.5	84.8	90.7
Ύψος ματιών σε καθιστή θέση από το κατώτερο σημείο των γλουτών	68.7	73.7	78.6
Ύψος ώμων σε καθιστή θέση από το κατώτερο σημείο των γλουτών	53.7	57.9	62.5
Ύψος ανώτερου σημείου ώμου από αγκώνα	30.2	33.2	36.2
Μήκος από το πίσω μέρος των γλουτών μέχρι το εσωτερικό μέρος του γονάτου (καθιστή θέση)	43.2	48.0	53.3
Μήκος από το πίσω μέρος των	51.9	56.8	62.4

γλουτών μέχρι την επιγονατίδα (καθιστή θέση)			
Ύψος από τη φτέρνα μέχρι το εσωτερικό σημείο του γονάτου (καθιστή θέση)	35.6	39.9	44.5
Μήκος από τον αγκώνα μέχρι και την άκρη των δαχτύλων (τεντωμένο χέρι)	38.9	42.4	45.7
Μήκος από τους ώμους μέχρι και τις άκρες των δαχτύλων (τεντωμένο χέρι)	55.9	-	83.8
Μήκος μεταξύ των εξωτερικών σημείων των ώμων	35.0	40.6	45.8
Πλάτος μεταξύ των εξωτερικών σημείων των ισχύων	31.3	36.3	43.4

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ανθρωπομετρικές διαστάσεις του αντρικού πληθυσμού σε εκατοστά .

Πίνακας 3.3 Οι ανθρωπομετρικές διαστάσεις του 5^{ου} εκατοστημορίου, του 50^{ου} εκατοστημορίου και του 95^{ου} εκατοστημορίου του αντρικού πληθυσμού. [4]

εκατοστημόρια Μέρη σώματος	5 ^ο εκατοστημόριο	50 ^ο εκατοστημόριο	95 ^ο εκατοστημόριο
Ύψος αναστήματος	161.6	173.5	184.9
Ύψος ματιών	151.9	162.6	173.5
Ύψος ώμων	134.1	143.8	152.9
Ύψος επιγονατίδας	49	54.4	59.4
Ύψος λεκάνης	77.2	83.3	90.7
Ύψος σε καθιστή θέση από το κατώτερο σημείο των γλουτών	84.3	90.7	96.5
Ύψος ματιών σε καθιστή θέση από το κατώτερο σημείο των γλουτών	74.7	80	85.1
Ύψος ώμων σε καθιστή θέση από το κατώτερο σημείο των γλουτών	54.1	59.2	63.8
Ύψος ανώτερου σημείου ώμου από αγκώνα	33.4	36.3	39.1
Μήκος από το πίσω μέρος των γλουτών μέχρι το εσωτερικό μέρος του γονάτου (καθιστή θέση)	43.9	49.5	54.9
Μήκος από το πίσω μέρος των γλουτών μέχρι την επιγονατίδα (καθιστή θέση)	54.1	59.2	64.0
Ύψος από τη φτέρνα μέχρι το	39.4	43.9	49.0

εσωτερικό σημείο του γονάτου (καθιστή θέση)			
Μήκος από τον αγκώνα μέχρι και την άκρη των δαχτύλων (τεντωμένο χέρι)	44.7	48.0	51.3
Μήκος από τους ώμους μέχρι και τις άκρες των δαχτύλων (τεντωμένο χέρι)	78.7	-	94
Μήκος μεταξύ των εξωτερικών σημείων των ώμων	41.9	45.5	49.3
Πλάτος μεταξύ των εξωτερικών σημείων των ισχύων	31.0	35.6	40.4

Προκειμένου να επιτευχθεί ένας καλός συμβιβασμός μεταξύ μιας πλήρους εκμετάλλευσης του διαθέσιμου χώρου στο εσωτερικό του οχήματος και μίας άνετης θέσης των επιβατών, ο εσωτερικός σχεδιασμός συνήθως ξεκινά από τον προσδιορισμό της περιοχής ανάμεσα στα ποδωστήρια και τα γειτονικά μέρη. Μιας και τα ποδωστήρια αποτελούν μία από τις κυριότερες επιφάνειες μεταξύ του οδηγού και του οχήματος, η στάση του σώματος πρέπει να είναι συμβατή με αυτά. Ο εσωτερικός σχεδιασμός, λοιπόν, ξεκινά με τη τοποθέτηση του δεξιού ποδιού του οδηγού στο ποδωστήριο του γκαζιού. Η υπόλοιπη στάση σώματος του οδηγού προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν τις γωνίες μεταξύ των τμημάτων του σώματος που επιτρέπουν μία άνετη στάση.

Σημαντικός είναι επίσης ο προσδιορισμός του σημείου *HP* και *R*. Το σημείο *HP* είναι το σημείο που εφάπτεται η φτέρνα του δεξιού ποδιού του οδηγού, όταν αυτό ασκεί πίεση στο ποδωστήριο του γκαζιού, με το πάτωμα του οχήματος. Αντίστοιχα, το σημείο *R* τοποθετείται στο σημείο της λεκάνης που ενώνεται με το ισχίο. Το σημείο *R* σχετίζεται με τη πιο πίσω φυσιολογική θέση οδήγησης, λαμβάνοντας υπ' όψιν όλους τους τρόπους προσαρμογής του καθίσματος (οριζόντια, κάθετη, κλίση πλάτης καθίσματος). Το σημείο αυτό είναι, επίσης, η βάση για την επαλήθευση απαιτήσεων όπως είναι η άμεση και έμμεση ορατότητα.

Η στάση σώματος του συνοδηγού είναι περίπου ίδια με αυτή του οδηγού. Η απουσία των πεταλιών επιτρέπει σε αυτόν να έχει παραπάνω διαμήκη χώρο για τα πόδια και κατ' επέκταση περισσότερο τεντωμένη θέση. Μία κλίση στο μπροστινό μέρος του πατώματος είναι πολύ βολική, αφού στηρίζει τα πόδια και περιορίζει τη γωνία του αστραγάλου.

3.2. Χαρακτηριστικά και τοποθέτηση ποδωστηρίων

Τα ποδωστήρια που χρησιμοποιούνται κατά την οδήγηση είναι το ποδωστήριο επιτάχυνσης (γκαζί), το ποδωστήριο επιβράδυνσης (φρένο) και σε κάποια οχήματα και ο συμπλέκτης. Τα ποδωστήρια (αν δεν υπάρχει συμπλέκτης) χρησιμοποιούνται από το πέλμα του δεξιού ποδιού του οδηγού.

3.2.1. Ποδωστήριο επιτάχυνσης (γκάζι)

Αυτό το ποδωστήριο είναι που χρησιμοποιείται πιο συχνά από τον οδηγό, αφού χρησιμοποιείται καθ' όλη τη διάρκεια της οδήγησης, εκτός κάποιων χρονικών διαστημάτων που χρησιμοποιείται το φρένο. Γι αυτό η θέση του οδηγού πρέπει να είναι τέτοια ώστε να είναι άνετη η χρήση του. Η προσπάθεια που χρειάζεται για τη χρήση του γκαζιού πρέπει να είναι σχετικά μικρή ($10-20\text{ N}$), έτσι ώστε ο οδηγός να μπορεί εύκολα να ελέγχει τη θέση του με ακρίβεια και σε ένα εύρος συμβατό με τη κίνηση του αστραγάλου ($50-60\text{ mm}$) [4].

Για να βελτιωθεί ο έλεγχος του γκαζιού από τον οδηγό είναι σημαντικό να ελαχιστοποιηθεί η ολίσθηση μεταξύ του ποδιού και του γκαζιού. Όταν το πετάλι ορθώνεται στο σημείο στο σημείο *HP* όλα τα προβλήματα που συνδέονται με τη τριβή αυτή αποφεύγονται σε όλες τις θέσεις που μπορεί να πάρει το γκάζι.

3.2.2. Ποδωστήριο επιβράδυνσης (φρένο)

Σε αντίθεση με το ποδωστήριο του γκαζιού, το φρένο απαιτεί μεγάλη δύναμη, ειδικά κάτω από συγκεκριμένες καταστάσεις. Η αναμενόμενη ανταπόκριση του φρένου είναι ανάλογη της προσπάθειας και της δύναμης που ασκεί ο οδηγός σε αυτήν. Για να επιτευχθούν τέτοιες δυνάμεις, είναι απαραίτητο να γίνεται η χρήση του φρένου από το μεσαίο μέρος του πέλματος και η φτέρνα να μην είναι σε επαφή με ο πάτωμα. Είναι επίσης σημαντικό να διασφαλιστεί ότι το σηκωμένο πόδι δεν παρεμποδίζεται από τη κονσόλα του αυτοκινήτου και το τιμόνι.

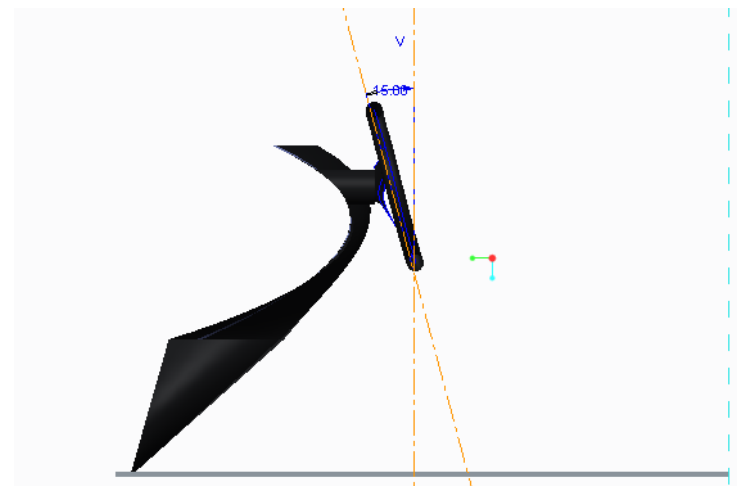
3.3. Χαρακτηριστικά και τοποθέτηση τιμονιού

Το τιμόνι πρέπει να είναι τοποθετημένο σε μία περιοχή που να είναι εύκολα προσιτή. Αυτή η τοποθεσία προσδιορίζεται από τις προσβάσιμες προς τον οδηγό επιφάνειες. Παρακάτω φαίνεται η διαδικασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό της θέσης του τιμονιού.

- Η απόσταση μεταξύ του χαμηλότερου σημείου του τιμονιού και της κεντρικής γραμμής του φρένου (όταν δεν ασκείται σε αυτό καμία πίεση) πρέπει να κυμαίνεται στα $650 - 660\text{ mm}$ [4].
- Η γωνία του τιμονιού ως προς το κάθετο επίπεδο εξαρτάται από τη στάση του σώματος του οδηγού. Όσο περισσότερο πλησιάζει η στάση του οδηγού στη καθιστή τόσο μικρότερη είναι η παρακάτω γωνία. Στην περίπτωση λοιπόν ενός μικρού οχήματος πόλης, που η στάση του σώματος πλησιάζει την καθιστή, η γωνία αυτή υπολογίζεται στις 15 μοίρες ως προς το κάθετο επίπεδο[4].
- Η εξωτερική διάμετρος του τιμονιού κυμαίνεται από $340-360\text{ mm}$, και η εσωτερική στα $310 - 330\text{ mm}$ [4].
- Η απόσταση μεταξύ του κέντρου του τιμονιού και του κάθετου επιπέδου που περνά από το σημείο *R* πρέπει να είναι $340 - 360\text{ mm}$, προκειμένου να

διασφαλιστεί ότι ο οδηγός μπορεί να κινεί ελεύθερα τα χέρια του κατά τη διάρκεια της χρήσης του τιμονιού.

- Το χαμηλότερο σημείο του τιμονιού πρέπει να βρίσκεται επαρκώς πάνω από το γόνατο για να αποφευχθεί οποιαδήποτε παρεμβολή κατά τη διάρκεια έκτακτης επιβράδυνσης και κατά τη διάρκεια που ο οδηγός εισέρχεται και εξέρχεται από το όχημα.



Εικόνα 3.3 παρουσίαση του τιμονιού και της κλίσης που πρέπει να έχει ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

3.4. Εργονομική ανάλυση καθισμάτων

Η φύση του καθίσματος του οδηγού και του επιβάτη πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να καθιστά την οδήγηση υψηλών επιδόσεων εφικτή, καθώς και να είναι τέτοιες οι λειτουργίες του ώστε οι εργονομικές αρχές να τηρούνται σε διαφορετικές απαιτήσεις και καταστάσεις. Το κάθισμα είναι ένα μέρος του οχήματος που επηρεάζει με ποικίλους τρόπους την άνεση των επιβατών. Η στάση του σώματος, η ικανότητα προσαρμογής και η διανομή της πίεσης από την επαφή είναι τα πιο σημαντικά κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για τον σχεδιασμό των καθισμάτων. Υπάρχουν, όμως και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν, όπως είναι οι κινήσεις στην είσοδο και έξοδο από το όχημα και η προσβασιμότητα στις διάφορες λειτουργίες του οχήματος (ποδωστήρια, τιμόνι, χειρόφρενο, λειτουργίες ταμπλό).

Αρχικά μελετούνται τα χαρακτηριστικά του καθίσματος και οι φυσικές ιδιότητες αυτού που επηρεάζουν το αίσθημα της άνεσης, όταν το όχημα είναι ακίνητο. Τα κριτήρια που πρέπει να συμπεριληφθούν στο σχεδιασμό του καθίσματος είναι τα παρακάτω:

- Η υποστήριξη του σώματος προκειμένου να διατηρηθεί η στάση του σώματος κατά την οδήγηση στην επιθυμητή και βέλτιστη διαμόρφωση.
- Η αντιληπτή δυσκαμψία από την επαφή στις διάφορες επιφάνειες επαφής.
- Η πλευρική υποστήριξη

- Η ικανότητα προσαρμογής και η αποτελεσματική λειτουργία των μηχανισμών προσαρμογής
- Η ποιότητα της αφής των επιφανειών

Το μαξιλάρι και η πλάτη του καθίσματος διαχωρίζονται σε διάφορες περιοχές και οι πιο σημαντικές είναι η περιοχή του μαξιλαριού του καθίσματος που ασκούνται πιέσεις από τα οστά του ισχίου (περιοχή *A*) και η περιοχή της πλάτης του καθίσματος που ασκείται οσφυϊκή πίεση (περιοχή *B*). Η περιοχή *A* έχει μήκος και πλάτος 20 εκατοστών και βρίσκεται κεντρικά στο κάθισμα ως προς το πλάτος και πίσω ως προς το μήκος. Η περιοχή *B* έχει ύψος 25 εκατοστά και βρίσκεται στο κάτω μέρος της πλάτης του καθίσματος. Για να υπολογιστεί η άνεση του επιβάτη, αρχικά πρέπει να υπολογιστούν τα ποσοστά των παραπάνω πιέσεων ως προς τα συνολικά ποσά πίεσης του μαξιλαριού και της πλάτης. Το ποσοστό πίεσης στο σημείο *A* και *B* υπολογίζονται ως εξής [4]:

$$R_A = \frac{\text{κύρια πίεση στον τομέα A}}{\text{κύρια πίεση στο μαξιλάρι του καθίσματος}} \quad (3.1)$$

$$R_B = \frac{\text{κύρια πίεση στον τομέα B}}{\text{κύρια πίεση στη πλάτη του καθίσματος}} \quad (3.2)$$

Σύμφωνα με μία έρευνα που έγινε από τους Park και Kim [4] διεξήχθη μία σχέση μεταξύ των ποσοστών της πίεσης του καθίσματος και της αντικειμενικής αντίληψης της άνεσης. Συμβολίζοντας με *y* την άνεση, είναι εφικτό να καθιερωθεί μία γραμμική σχέση με τα ποσοστά της πίεσης των σημείων *A* και *B*.

$$Y = a \cdot R_A + b \cdot R_D + c \quad (3.3)$$

Οι τιμές των συντελεστών της παραπάνω σχέσης, κατόπιν πειραματικών δεδομένων προσδιορίζονται ως εξής : $a=56.1$, $b=11.25$, $c=-16.16$. Η παραπάνω ανάλυση του διαμοιρασμού της πίεσης δείχνει ότι το αίσθημα της στήριξης βελτιώνεται όταν η πίεση των οστών του ισχίου και η οσφυϊκή πίεση αυξάνονται.

Όταν το όχημα είναι σε κίνηση τα κριτήρια που πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν για το σχεδιασμό είναι:

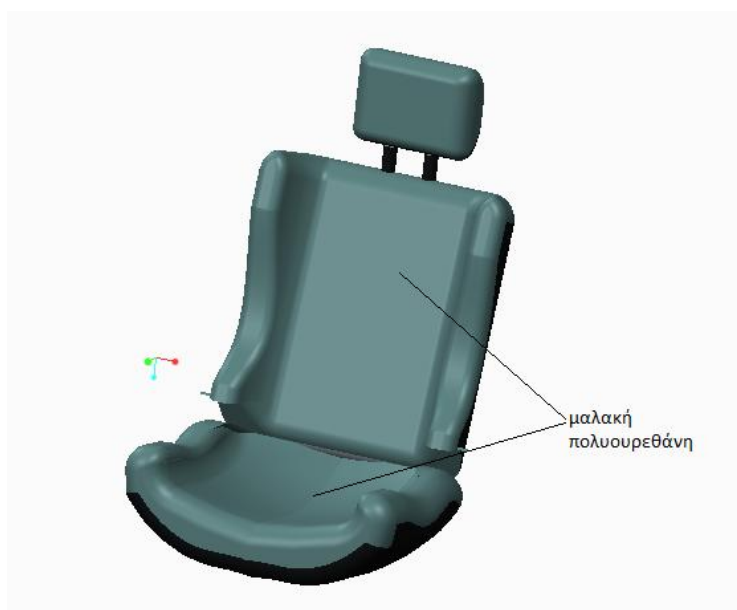
- Η ικανότητα να εξομαλύνονται οι δονήσεις που μεταφέρονται στο εσωτερικό του οχήματος.
- Η απουσία εμποδίων στις κινήσεις των επιβατών.
- Η ικανότητα να διατηρείται μία καλή στάση σώματος για τη σπονδυλική στήλη και να αποφεύγεται η καταπόνηση που μπορεί να αποβεί επικίνδυνη μακροπρόθεσμα.
- Η διανομή των πιέσεων από την επαφή.

Έτσι προκύπτει η παρακάτω κατασκευή των καθισμάτων ώστε να αποφεύγονται οι κραδασμοί που μεταφέρονται στο ανθρώπινο σώμα, να διατηρείται σωστή στάση σώματος και να αποφεύγεται οποιοδήποτε ατύχημα σε απρόσμενες καταστάσεις. Το σώμα των καθισμάτων πρέπει να είναι συναρμολογημένο με τα παρακάτω μέρη:

- Μεταλλική κατασκευή του σώματος του καθίσματος και αφρώδες υλικό (μαξιλάρι) του σώματος του καθίσματος και ανάρτηση
- Μηχανισμοί προσαρμογής του καθίσματος
- Καλύμματα καθίσματος
- Μαξιλάρι που στηρίζει το κεφάλι
- Μαξιλάρι που στηρίζει το μπράτσο

3.4.1. Μεταλλική κατασκευή του σώματος του καθίσματος και αφρώδες υλικό (μαξιλάρι) του σώματος του καθίσματος και ανάρτηση

Το μαξιλάρι και η ανάρτηση του καθίσματος έχουν σαν σκοπό να απομονώσουν το σώμα του επιβάτη από τις δονήσεις που μεταφέρονται στην καμπίνα από τις αναρτήσεις του οχήματος και τα συστήματα πρόωσης, ενώ παράλληλα να διανέμουν με τον καλύτερο τρόπο τις πιέσεις από την επαφή του επιβάτη. Η μαλακή πολυουρεθάνη (καλουπωτός αφρός), παρουσιάζει μία περίπλοκη συμπεριφορά, η οποία είναι όμοια με ένα συγχρόνως παράλληλο και σειριακό σύστημα ελατηρίων και αποσβεστήρων, με αξία απόσβεσης περίπου 20-40 % της κρίσιμης. Γι αυτόν τον λόγο έχει βρεθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματικό και πρακτικό υλικό για τη χρήση του σε καθίσματα οχημάτων, αφού μπορεί και διαμοιράζει σωστά το βάρος του επιβάτη και απορροφά αρκετά μεγάλο ποσοστό κραδασμών. Το μαξιλάρι αυτό είναι τοποθετημένο σε άκαμπτη πίσω στήριξη η κατασκευή της οποίας συνήθως γίνεται με σφραγισμένα φύλλα αλουμινίου ή χάλυβα.



Εικόνα 3.4 Παρουσίαση της τοποθεσίας της μαλακής πολυουρεθάνης στο κάθισμα του οχήματος.



Εικόνα 3.5 Παρουσίαση της τοποθεσίας της άκαμπτης πίσω στήριξης στο κάθισμα του οχήματος.

3.4.2. Μηχανισμοί προσαρμογής του καθίσματος

Οι μηχανισμοί προσαρμογής του καθίσματος που απαιτούνται προκειμένου να επιτυγχάνεται η άνεση και η ασφάλεια του οδηγού και του επιβάτη είναι οι παρακάτω:

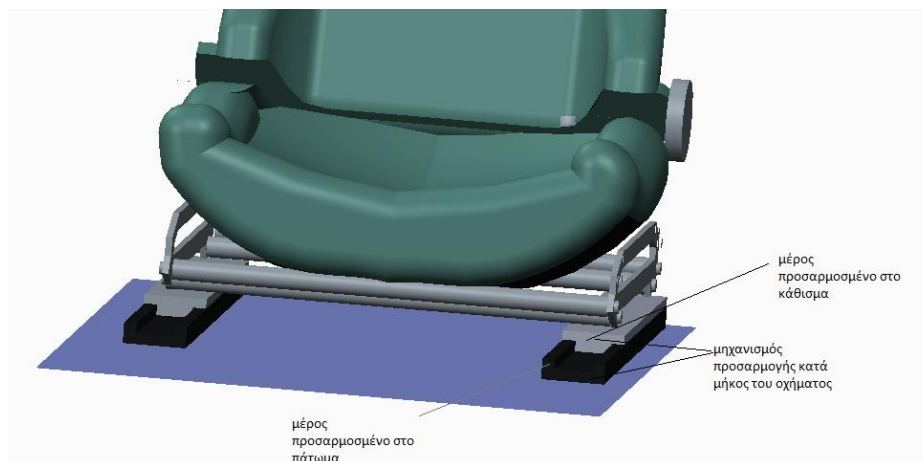
1. Προσαρμογή του καθίσματος κατά μήκος του οχήματος
2. Προσαρμογή του καθίσματος κατά το ύψος του οχήματος
3. Προσαρμογή της πλάτης του καθίσματος



Εικόνα 3.6 Ο σχεδιασμός του καθίσματος με τα συστήματα προσαρμογής.

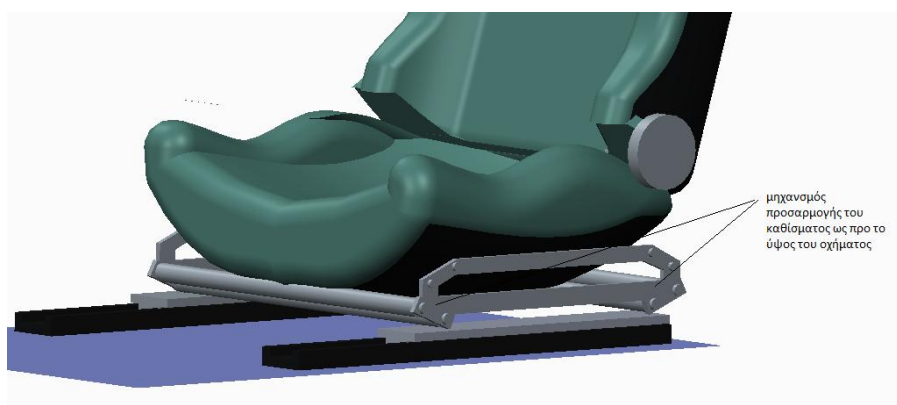
Ο μηχανισμός προσαρμογής του καθίσματος κατά μήκος του οχήματος αποτελείται από ένα μέρος που είναι προσαρμοσμένο στο πάτωμα και ένα άλλο μέρος το οποίο είναι προσαρμοσμένο στο κάθισμα. Τα δύο αυτά μέρη συνδέονται μεταξύ τους με έναν σύρτη (μάνταλο) ο οποίος ρυθμίζει σε ποιο σημείο θα βρίσκεται το μέρος που συνδέεται με το κάθισμα ως προς το μέρος που συνδέεται με το πάτωμα. Ανάμεσα

στα δύο αυτά μέρη υπάρχουν σφαιρικά στοιχεία τα οποία μειώνουν τη τριβή ολίσθησης. Ο μηχανισμός αυτός συνήθως είναι φτιαγμένος από χάλυβα υψηλής αντοχής (απόδοση φορτίου μεταξύ 500 και 800 Mpa) και το πάχος του υλικού των δύο μερών ποικίλει από 1.6 μέχρι 2 mm [6].



Εικόνα 3.7 Παρουσίαση του μηχανισμού προσαρμογής του καθίσματος κατά μήκος του οχήματος και των μερών που απαρτίζουν αυτό τον μηχανισμό.

Ο μηχανισμός προσαρμογής του καθίσματος κατά το ύψος του οχήματος είναι απαραίτητος για το κάθισμα του οδηγού, αφού διασφαλίζει ορατότητα και άνεση. Αυτός ο μηχανισμός είναι κατασκευασμένος από ένα αρθρωτό παραλληλόγραμμο το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στο μαξιλάρι του καθίσματος και το μέρος του πρώτου μηχανισμού που αναφέρθηκε που ενώνεται με το κάθισμα. Το παραλληλόγραμμο αυτό εμπεριέχει 4 αλληλοεξαρτώμενες ράβδους η μία εκ των οποίων έχει ένα σύνολο δοντιών που ρυθμίζει που θα βρίσκεται η επιφάνεια του καθίσματος.



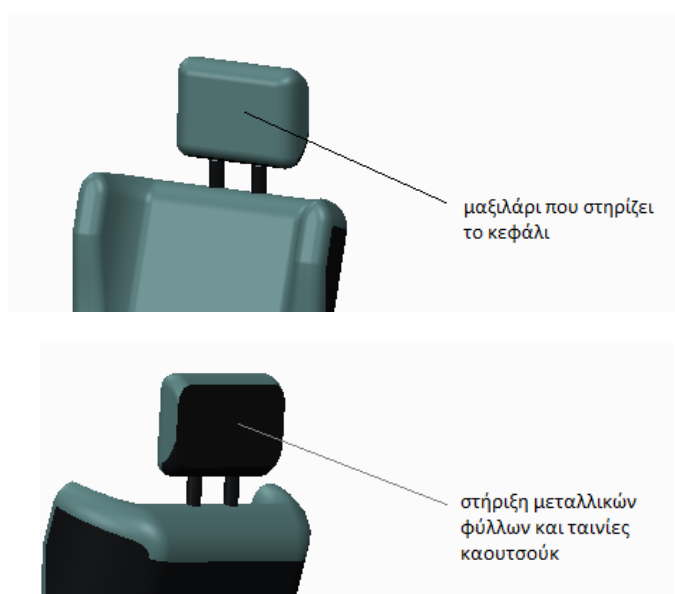
Εικόνα 3.8 Παρουσίαση του μηχανισμού προσαρμογής του καθίσματος ως προς το ύψος του οχήματος.

Ο μηχανισμός προσαρμογής της πλάτης του καθίσματος χρησιμοποιείται προκειμένου να υπάρξει κλίση σε αυτήν. Η κλίση αυτή χρησιμεύει στο να πραγματοποιήσει τη συντεινόμενη θέση του οδηγού και του επιβάτη καθώς και να βελτιστοποιήσει την άνεσή του. Ο μηχανισμός αυτός εμπεριέχει κυκλικά γρανάζια τα οποία είναι συνδεδεμένα με το χερούλι, η περιστροφή του οποίου προσαρμόζει τη πλάτη του καθίσματος στη σωστή θέση.

3.4.3. Μαξιλάρι που στηρίζει το κεφάλι

Ο αφρός που χρησιμοποιείται για το μαξιλάρι που στηρίζει το κεφάλι είναι όμοιος με αυτόν που έχει χρησιμοποιηθεί για το υπόλοιπο κάθισμα με τη διαφορά ότι εκτός από τη στήριξη των μεταλλικών φύλλων εμπεριέχονται σε αυτό και ταινίες καουτσούκ. Το μαξιλάρι που στηρίζει το κεφάλι χρησιμεύει για την άνεση και κυρίως για την προστασία των επιβατών. Είναι ιδιαίτερα σημαντική η χρήση του ώστε σε περίπτωση σύγκρουσης στο πίσω μέρος του οχήματος να μην υπάρξουν τραυματισμοί λόγω της βίαιης τάσης της αδράνειας. Επίσης για την ασφάλεια των επιβατών το παραπάνω μαξιλάρι θα πρέπει να :

- Τηρεί ένα στατικό πρωτόκολλο (RCAR), το οποίο προσμετρά την οριζόντια απόσταση μεταξύ του κεφαλιού του επιβάτη και του μαξιλαριού, και την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ του ανώτερου σημείου του κεφαλιού και το ανώτερο σημείο του μαξιλαριού. Σύμφωνα με τα παραπάνω όσο πιο ψηλά και κοντά στο κεφάλι είναι το μαξιλάρι τόσο αυξάνεται η ασφάλεια των επιβατών [6].
- Τηρεί διάφορα δυναμικά πρωτόκολλα τα οποία προσμετρούν τον τραυματισμό του αυχένα του επιβάτη λόγω σύγκρουσης στο πίσω μέρος του οχήματος σε συγκεκριμένες ταχύτητες (16 και 24 km/h)[6].



Εικόνα 3.9. παρουσίαση του μαξιλαριού που στηρίζει το κεφάλι καθώς και των μεταλλικών φύλλων που στηρίζουν το μαξιλάρι.

3.4.4. Καλύμματα καθίσματος

Τα καλύμματα, γενικά, έχουν διάφορα χαρακτηριστικά τα οποία εξαρτώνται από τη χρήση και τα εξαρτήματα τα οποία καλύπτουν. Για το κάθισμα ενός οχήματος οι τεχνικές προδιαγραφές περιλαμβάνουν :

- Καλές μηχανικές ιδιότητες

- Εξαιρετική αντίσταση στη φθορά

Τα καλύμματα των καθισμάτων είναι φτιαγμένα από υφαντό ύφασμα που αποτελείται από συνθετική ρητίνη πολυεστέρα προκειμένου να τηρούνται τα παραπάνω κριτήρια και να έχουν μικρότερο κόστος.

3.4.5. Μαξιλάρι που στηρίζει το μπράτσο

Μπορεί να τοποθετηθεί είτε στη κονσόλα είτε στο κάθισμα του οχήματος, αλλά από εργονομική άποψη είναι σωστότερο να τοποθετηθεί στο κάθισμα, καθώς κινείται μαζί με αυτό και βρίσκεται πάντα στη σωστή θέση. Το διπλανό αυτό μέρος που στηρίζει το μπράτσο του οδηγού πρέπει να έχει τη δυνατότητα να περιστρέφεται ώστε να χρησιμοποιείται μόνο όταν η χρήση του είναι επιθυμητή. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί και σαν αποθηκευτικός χώρος για μικρά αντικείμενα. Η κατασκευαστική τεχνολογία και τα υλικά είναι όμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για το μαξιλάρι που στηρίζει το κεφάλι του οδηγού και του επιβάτη.



Εικόνα 3.10 Παρουσίαση του μαξιλαριού του καθίσματος που στηρίζει το μπράτσο του οδηγού.

Οι διαστάσεις του καθίσματος είναι :

- Το ύψος της πλάτης του καθίσματος υπολογίζεται στα 584 mm.
- Το μήκος του μαξιλαριού του καθίσματος υπολογίζεται στα 453 mm.
- Το πλάτος του μαξιλαριού και της πλάτης του καθίσματος υπολογίζονται στα 428 mm.

3.5. Προσβασιμότητα στο όχημα

Η είσοδος και η έξοδος από το όχημα είναι ένα θεμελιώδες θέμα όσων αφορά την εργονομία του οχήματος. Η ακολουθία των στοιχειωδών κινήσεων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η αρχική και η τελική θέση του επιβάτη κατά την είσοδο και έξοδο από το όχημα, η γεωμετρία του ανοίγματος, η παρουσία των λαβών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται το άνοιγμα της πόρτας και οι περιορισμοί, όπως το

τιμόνι, οι μπροστά κολώνες το σχήμα και η διαμόρφωση της πόρτας όταν είναι ανοικτή.

Οι παράγοντες που ακολουθούν δείχνουν πως ενισχύεται η ευκολία στη πρόσβαση του οχήματος :

- Αρκετά υψηλή θέση του σημείου *R*. Όσο πιο μεγάλο είναι το ύψος του σημείου αυτού από το έδαφος τόσο μειώνεται η προσπάθεια του επιβάτη καθώς αλλάζει η απόσταση του κέντρου βάρους του από το έδαφος όταν εισέρχεται και εξέρχεται από το όχημα.
- Επίπεδο πάτωμα χωρίς πλευρικές δοκούς, οι οποίες αποτελούν εμπόδιο για τα πόδια των επιβατών στη διαδικασία εισόδου εξόδου.
- Επίπεδο κάθισμα με χαμηλά πλευρικά εξογκώματα. Οι πλευρικές προεξοχές του καθίσματος παρέχουν πλευρική στήριξη κατά τη διάρκεια που το όχημα δεν κινείται ευθεία, αλλά παράλληλα αποτελούν και εμπόδιο όσων αφορά τη προσβασιμότητα στο όχημα. Έτσι η χρήση τους είναι αναγκαία αλλά με χαμηλό ύψος ώστε να μη δυσχεραίνουν τη παραπάνω διαδικασία.
- Το ταμπλό πρέπει να είναι έτσι σχεδιασμένο ώστε να μην παρεμβαίνει στη διαδρομή που ακολουθεί το πόδι κατά την είσοδο του επιβάτη.
- Το πλαίσιο της πόρτας είναι αρκετά σημαντικό να μην αποτελεί εμπόδιο για το κεφάλι και τους ώμους κατά την είσοδο και έξοδο των επιβατών.

Έτσι ο σχεδιασμός του εσωτερικού οχήματος που προκύπτει σύμφωνα με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.11. Οι μηχανισμοί προσαρμογής έχουν υπολογιστεί τρόπο τέτοιο ώστε να το όχημα να μπορεί να φιλοξενήσει επιβάτες με ανθρωπομετρικές διαστάσεις του 5^{ου}, του 50^{ου} και του 95^{ου} εκατοστημρίου. Ο χώρος που διατίθεται στο πίσω μέρος του οχήματος χρησιμεύει σαν αποθηκευτικός χώρος.



Εικόνα 3.11. Η εικόνα παρουσιάζει το σχεδιασμό του οχήματος σύμφωνα με τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν στο 3^ο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 4. Άμεση και έμμεση ορατότητα

Ο ρόλος της ορατότητας είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην ασφάλεια των επιβατών και του οχήματος. Η μπροστινή εικόνα του οδηγού (άμεση ορατότητα) πρέπει να είναι επαρκής και σαφής ώστε η οδήγηση να γίνεται με ασφάλεια και άνεση. Ο οδηγός, όμως χρειάζεται περισσότερα οπτικά πεδία, πέρα από την ευθεία ορατότητα, και αυτά επιτυγχάνονται με τη χρήση των καθρεπτών (έμμεση ορατότητα). Προκειμένου να σχηματιστεί το πεδίο ορατότητας είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί που βρίσκονται τα μάτια του οδηγού στο χώρο. Έτσι αναπτύχθηκε ένα εργαλείο ελλειψοειδούς όρασης για να προσδιοριστεί το εύρος των θέσεων των ματιών του πληθυσμού των οδηγών. Για αυτόν τον προσδιορισμό χρησιμοποιούνται γραμμές όρασης σαν απλούστευση της ανθρώπινης ορατότητας. Στην πραγματικότητα ο οδηγός μπορεί να περιστρέφει τα μάτια και το κεφάλι προκειμένου να αποκτήσει ένα πιο ευρύ φάσμα όρασης και επιπλέον υπάρχει και η περιφερική όραση που του επιτρέπει να δει αντικείμενα ή κινήσεις χωρίς να στρέψει τα μάτια.

Στο οριζόντιο επίπεδο το διοπτρικό πεδίο όρασης επεκτείνεται κατά 120 μοίρες. Τα μάτια στρέφονται κατά 30 μοίρες πριν στραφεί το κεφάλι το οποίο μπορεί να δώσει επιπλέον 45 μοίρες πεδίου ορατότητας σε κάθε μεριά. Στο κάθετο επίπεδο η κίνηση των ματιών γίνεται σε ένα διάστημα 15 μοιρών προς τα πάνω ή προς τα κάτω από το οριζόντιο επίπεδο, παρ'όλο που το μάτι μπορεί να κινηθεί κατά 45 μοίρες προς τα πάνω και κατά 65 μοίρες προς τα κάτω αν είναι απαραίτητο. Το κεφάλι μπορεί εύκολα να κινηθεί κατά 30 μοίρες προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Σύμφωνα με τα παραπάνω ο οδηγός έχει εκτεταμένο άμεσο οπτικό πεδίο, επομένως η όψη του οδικού περιβάλλοντος περιορίζεται από τη κατασκευή του οχήματος και όχι από ανατομικούς περιορισμούς [5].

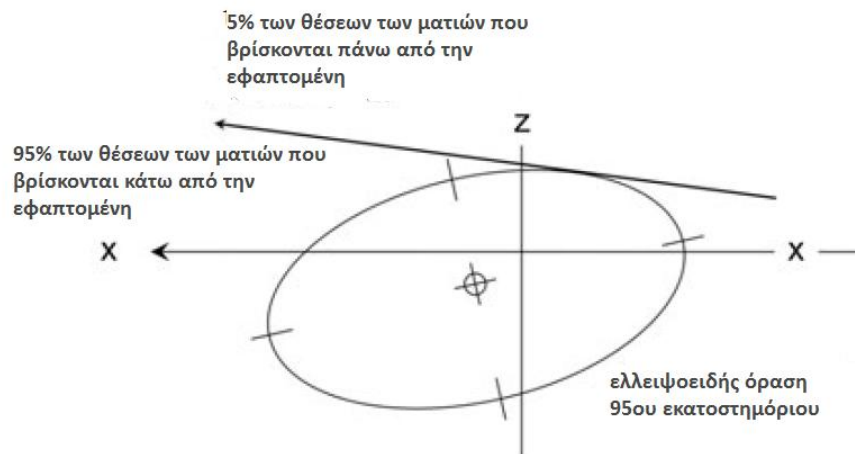
Επιβάλλεται, ωστόσο, ο οδηγός να συγκεντρώνει τη προσοχή του κατευθείαν μπροστά στο δρόμο και να την απομακρύνει από εκεί για όσο το μικρότερο χρονικό διάστημα γίνεται. Επιπλέον, η ανάγκη για περιστροφή των ματιών πρέπει να διατηρείται σε ένα ελάχιστο επίπεδο. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται καθρέπτες (εσωτερικοί και εξωτερικοί) οι οποίοι πρέπει να είναι τοποθετημένοι όσο το δυνατόν πιο κοντά στη μπροστινή γραμμή όρασης του.

4.1. Ελλειψοειδής όραση

Η ελλειψοειδής όραση δύο διαστάσεων αντιπροσωπεύει το εύρος των τοποθετήσεων των ματιών του πληθυσμού των οδηγών. Αρχικά σχηματίζεται μία έλλειψη στο πλάγιο επίπεδο και ύστερα σχηματίζεται μία εφαπτομένη. Η εφαπτομένη διαχωρίζει το ποσοστό των ματιών του ανθρώπινου πληθυσμού που συμπεριλαμβάνονται στην έλλειψη από το ποσοστό των ματιών που δεν συμπεριλαμβάνονται. Για μία έλλειψη 95^{ov} εκατοστημόριων, πάνω από την εφαπτομένη βρίσκεται το 5% των θέσεων του

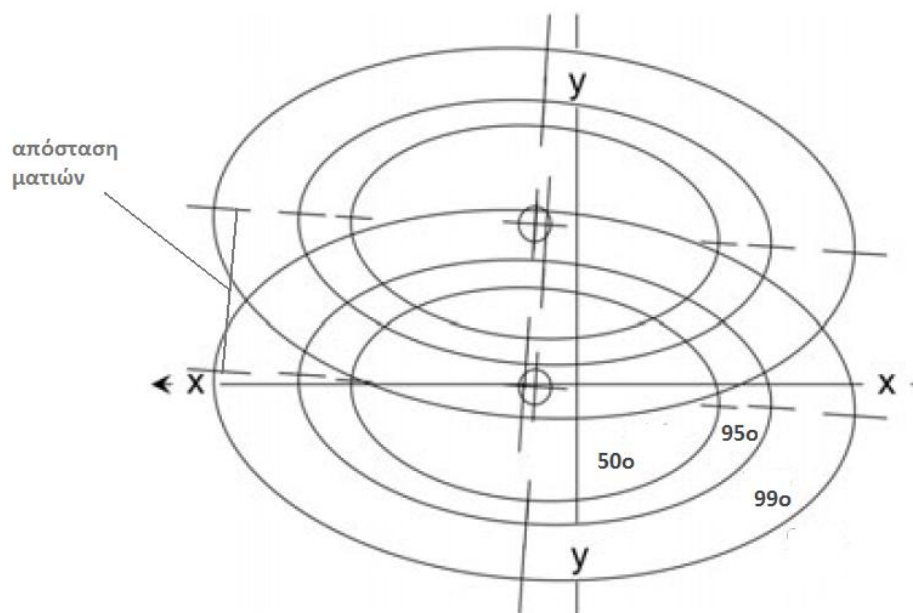
ματιού που δεν συμπεριλαμβάνονται στην έλλειψη και κάτω από αυτή το 95% των ματιών.

Στο σχήμα παρακάτω φαίνεται η ελλειψοειδής όραση από το πλαϊνό επίπεδο (επίπεδο XZ).



Εικόνα 4.1 Στο σχήμα φαίνεται η ελλειψοειδής όραση στο επίπεδο XZ του 95^{ου} εκατοστημορίου, καθώς και η εφαπτομένη που διαχωρίζει το ποσοστό των θέσεων των ματιών που βρίσκονται εκτός και εντός της έλλειψης. [5]

Στο σχήμα παρακάτω φαίνεται η ελλειψοειδής όραση για το 50^ο, το 95^ο και το 99^ο εκατοστημόριο ως προς τη κάτοψη (επίπεδο XY).



Εικόνα 4.2 Στο σχήμα φαίνεται η ελλειψοειδής όραση του 50^{ου}, του 95^{ου} και του 99^{ου} εκατοστημόριου στο επίπεδο XY καθώς και η απόσταση των ματιών. [5]

Τα δύο μάτια είναι γνωστά ως σημεία E_1 και E_2 και τοποθετούνται σε απόσταση 65 mm μεταξύ τους. Επίσης, περιστρέφονται γύρω από ένα σημείο P που βρίσκεται στην άρθρωση του λαιμού που επιτρέπει τη κίνηση του κεφαλιού.

Εάν η γωνία της πλάτης του καθίσματος είναι 25 μοίρες, οι ελλείψεις τοποθετούνται σε ένα οριζόντιο επίπεδο που έχει απόσταση 635 mm πιο πάνω από το οριζόντιο επίπεδο που περνά από το σημείο R (προσδιορισμός τοποθεσίας έλλειψης ως προς τον άξονα Y) και άξονας Z της έλλειψης εφάπτεται με τη κάθετη γραμμή που διαπερνά το σημείο R (προσδιορισμός τοποθεσίας έλλειψης ως προς τον άξονα Z). Εάν η γωνία της πλάτης του καθίσματος δεν είναι 25 μοίρες ($\delta \neq 25$ μοίρες), τότε οι αποκλίσεις του άξονα X και Z της έλλειψης μπορούν να υπολογιστούν με τις παρακάτω σχέσεις [4]:

$$X = -9.331288 + 0.404789 \cdot \delta - 0.0012611 \cdot (\delta)^2 \quad (4.1)$$

$$Z = -1.067621 + 0.0156987 \cdot \delta - 0.0023347 \cdot (\delta)^2 \quad (4.2)$$

Οι αποκλίσεις αυτές μπορούν επίσης να παρθούν από τον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.1 Οι αποκλίσεις εάν η γωνία της πλάτης του καθίσματος δεν είναι 25 μοίρες [4]

Γωνία δ (μοίρες)	ΔX (mm)	ΔZ (mm)	Γωνία δ (μοίρες)	ΔX (mm)	ΔZ (mm)
5	-186	28	23	-18	5
6	-177	27	24	-9	3
7	-167	27	25	0	0
8	-157	27	26	9	-3
9	-147	26	27	17	-5
10	-137	25	28	26	-8
11	-128	24	29	34	-11
12	-118	23	30	43	-14
13	-109	22	31	51	-18
14	-99	21	32	59	-21
15	-90	20	33	67	-24
16	-81	18	34	76	-28
17	-72	17	35	84	-32
18	-62	15	36	92	-35
19	-53	13	37	100	-39
20	-44	11	38	108	-43
21	-35	9	39	115	-48
22	-26	7	40	123	-52

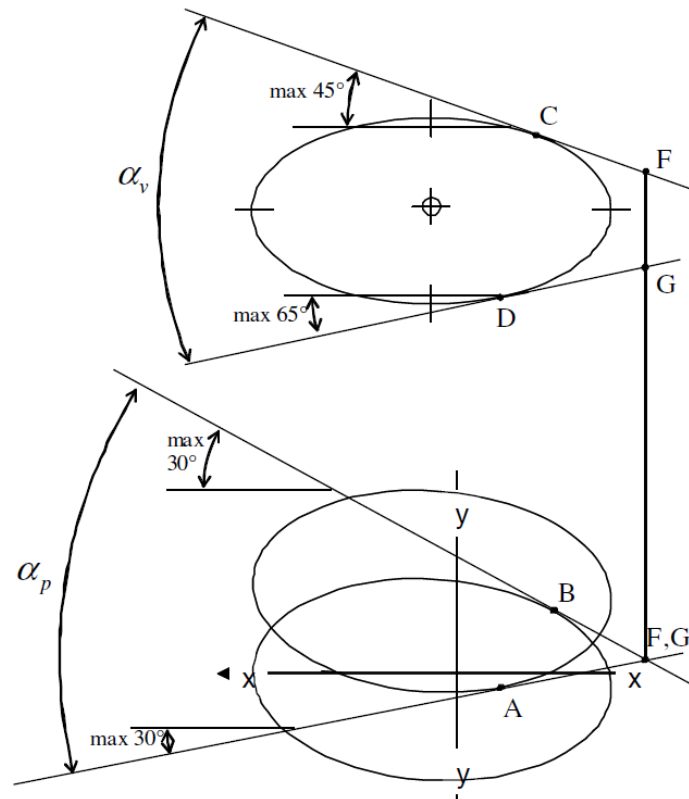
4.2. Διοφθαλμικό πεδίο ορατότητας

Για να προσδιοριστεί το διοφθαλμικό πεδίο ορατότητας σχεδιάζονται δύο γραμμές στο επίπεδο XY , μία στην έλλειψη του αριστερού ματιού και μία στου αριστερού, με μέγιστη γωνία 30 μοιρών από την οριζόντια ευθεία γραμμή όρασης, οι οποίες

αντιπροσωπεύουν την περιστροφή των ματιών χωρίς τη περιστροφή του κεφαλιού. Η μεθοδολογία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό αυτών των γραμμών είναι η παρακάτω :

- Ζωγραφίζεται μία γραμμή εφαπτόμενη στην έλλειψη του δεξιού ματιού, η οποία είναι το μέγιστο 30 μοίρες προς τα αριστερά. Το σημείο που εφάπτεται η ευθεία με την έλλειψη είναι το σημείο A .
- Ζωγραφίζεται μία γραμμή εφαπτόμενη στην έλλειψη του αριστερού ματιού, η οποία είναι το μέγιστο 30 μοίρες προς τα δεξιά. Το σημείο που εφάπτεται η ευθεία με την έλλειψη είναι το σημείο B .
- Το σημείο που τέμνονται οι 2 ευθείες είναι το σημείο F που συμπίπτει με το σημείο G .

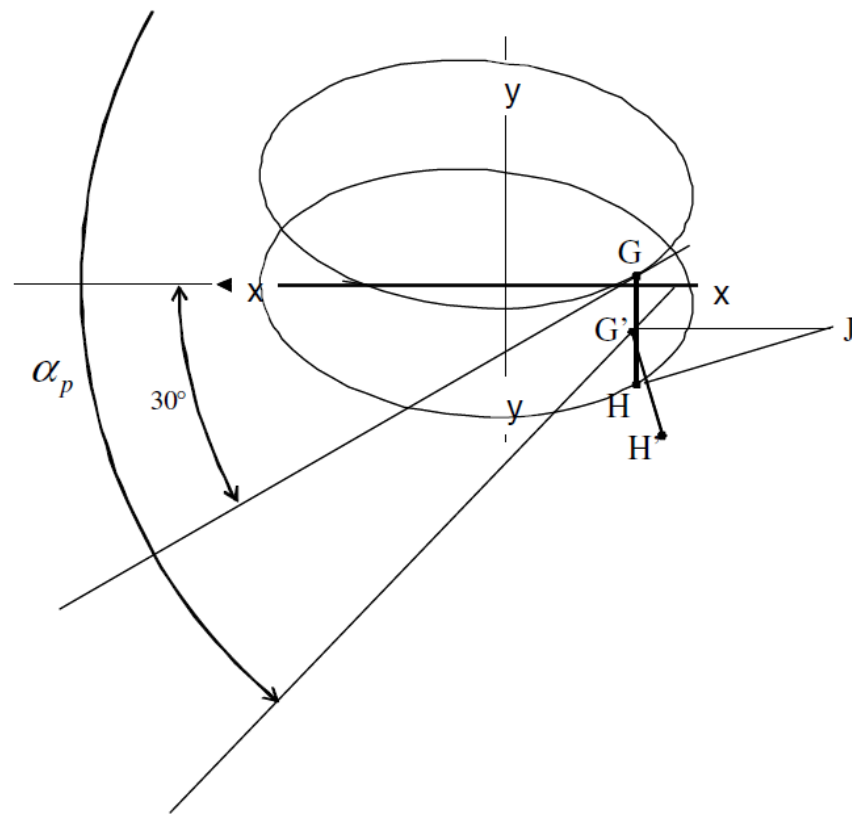
Το διοφθαλμικό πεδίο ορατότητας (α_p) που σχηματίζεται στο οριζόντιο επίπεδο, χωρίς τη περιστροφή του κεφαλιού, έχει ένα εύρος 60 μοιρών το μέγιστο και προσδιορίζεται από τις γραμμές που περνούν από τα σημεία A και B . Το διοφθαλμικό πεδίο ορατότητας (α_v) που σχηματίζεται στο κάθετο επίπεδο (XZ) έχει εύρος 45 μοίρες προς τα πάνω και 60 μοίρες προς τα κάτω. Σχηματίζονται και εδώ δύο ευθείες, μία προς τα πάνω και μία προς τα κάτω με τις αντίστοιχες κλίσεις που προαναφέρθηκαν, εφαπτόμενες στην ελλειψοειδή όραση στο κάθετο επίπεδο. Τα σημεία που εφάπτονται οι ευθείες με την έλλειψη είναι τα σημεία C και D . Ύστερα σχεδιάζεται μία κάθετη γραμμή, παράλληλη με τον άξονα Z που περνάει από τα σημεία F και G . Το σημείο που τέμνεται η γραμμή που περνά από το σημείο C και η ευθεία που προαναφέρθηκε είναι το σημείο F , ενώ το σημείο G είναι το σημείο τομής της ίδιας κάθετης ευθείας και της ευθείας που περνά από το σημείο D [4].



Εικόνα 4.3 Διοφθαλμικό πεδίο ορατότητας ως προς κάθετο επίπεδο XZ και ως προς το οριζόντιο επίπεδο XY. [4]

Η διαδικασία που ακολουθείται για να προσδιοριστεί το διοφθαλμικό πεδίο ορατότητας συμπεριλαμβανομένης και της περιστροφής του κεφαλιού είναι η παρακάτω [4]:

- Ζωγραφίζεται μία ευθεία στη δεξιά έλλειψη της όρασης κατά 30 μοίρες προς τα αριστερά. Το σημείο που εφάπτεται η ευθεία με την έλλειψη είναι το σημείο G .
- Σχεδιάζεται μία ευθεία από το σημείο G παράλληλη με τον άξονα Y . Στην ευθεία αυτή 60 mm πιο κάτω είναι το σημείο H που βρίσκεται πάνω στην αριστερή έλλειψη.
- Στη μέση του τμήματος GH (σημείο G') σχηματίζεται μία κάθετη σε αυτό ευθεία και σε μία απόσταση 98.6 mm από το σημείο G' πάνω σε αυτή την ευθεία βρίσκεται το σημείο J . Το σημείο J αναπαριστά το σημείο περιστροφής του κεφαλιού στο οριζόντιο επίπεδο. Τα σημεία G' και H' αναπαριστούν τα σημεία των ματιών μετά τη περιστροφή του κεφαλιού προς τα αριστερά και πρέπει να έχουν πάντα μία απόσταση 60 mm μεταξύ τους.
- Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για την δεξιά περιστροφή του κεφαλιού.



Εικόνα 4.4 Διοφθαλμικό επίπεδο συμπεριλαμβανομένης της κίνησης του κεφαλιού ως προς το οριζόντιο επίπεδο XY. [4]

Η μέγιστη επιτρεπόμενη περιστροφή από το σημείο J είναι 60 μοίρες σε κάθε μεριά.

4.3. Άμεσο πεδίο ορατότητας

Τα κριτήρια που πρέπει να τηρούνται ώστε ο οδηγός και ο συνοδηγός να έχουν την επιθυμητή ορατότητα μέσα από το παρμπρίζ είναι τα παρακάτω :

- Ο οδηγός πρέπει να είναι σε θέση να έχει καλή ορατότητα μέσα από το παρμπρίζ. Γι αυτό θα πρέπει να υπάρχει ένα ελάχιστο άνοιγμα στο διοφθαλμικό πεδίο ορατότητας και να επαληθεύεται ένας συγκεκριμένος αριθμός ευθειών ορατότητας.
- Τα ανοίγματα των επιφανειών που εμποδίζουν την όραση θα πρέπει να είναι περιορισμένα και κανένα κατασκευαστικό κομμάτι δεν θα πρέπει να βρίσκεται μπροστά από τα μάτια του οδηγού, εκτός από της μπροστινές κολόνες του οχήματος. επίσης η οροφή και η πόρτα δεν πρέπει να περιορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ορατότητα του οδηγού.
- Τα πεδία, τα οποία κανένα από τα δύο μάτια του οδηγού δεν μπορεί να δει, πρέπει να είναι περιορισμένα.

Σκοπός, λοιπόν, είναι να σιγουρευτεί ένα επαρκές πεδίο ορατότητας από το παρμπρίζ προς το οδικό περιβάλλον. Έτσι προσδιορίζονται 3 γραμμές όρασης που περνάνε από τα σημεία V_1 και V_2 σε διαφορετικές κατευθύνσεις (7 μοίρες προς τα πάνω και 17

μοίρες προς τα αριστερά από το V_1 και 5 μοίρες προς τα κάτω από το V_2). Οι 3 αυτές ευθείες πρέπει να διαπερνούν το παρμπρίζ με καλές οπτικές ιδιότητες. Η περιοχή ανάμεσα στο οριζόντιο επίπεδο που περνά από το σημείο V_1 και στην επιφάνεια της πυραμίδας που δημιουργείται με ανώτερο σημείο το V_2 δεν πρέπει να παρεμβάλλεται από κατασκευαστικά μέρη του οχήματος που εμποδίζουν την όραση. Η πυραμίδα έχει 4 επιφάνειες που η κάθε μία σχηματίζει 4 μοίρες με το οριζόντιο επίπεδο. Ένα μέρος του τιμονιού μπορεί να παρεμβάλλει τη παραπάνω περιοχή. Σε αυτή τη περίπτωση το ανώτερο σημείο του τιμονιού ενώνεται με το σημείο V_2 και η ευθεία που σχηματίζεται δεν πρέπει να έχει παραπάνω από μία μοίρα κλίση προς τα κάτω από το οριζόντιο επίπεδο.

Τα σημεία V_1 και V_2 δείχνουν το εύρος των τιμών του οριζοντίου επιπέδου των ελλειψοειδών οράσεων και πρέπει να πληρούνται οι παραπάνω προδιαγραφές.

4.4. Έμμεσο πεδίο ορατότητας

Οι συσκευές έμμεσης όρασης επιτρέπουν τη παρατήρηση των μερών του δρόμου, τα οποία είναι γειτονικά στο όχημα και αόρατα από την άμεση ορατότητα. Αυτές οι συσκευές μπορούν να είναι είτε καθρέπτες είτε οθόνες κάμερας.

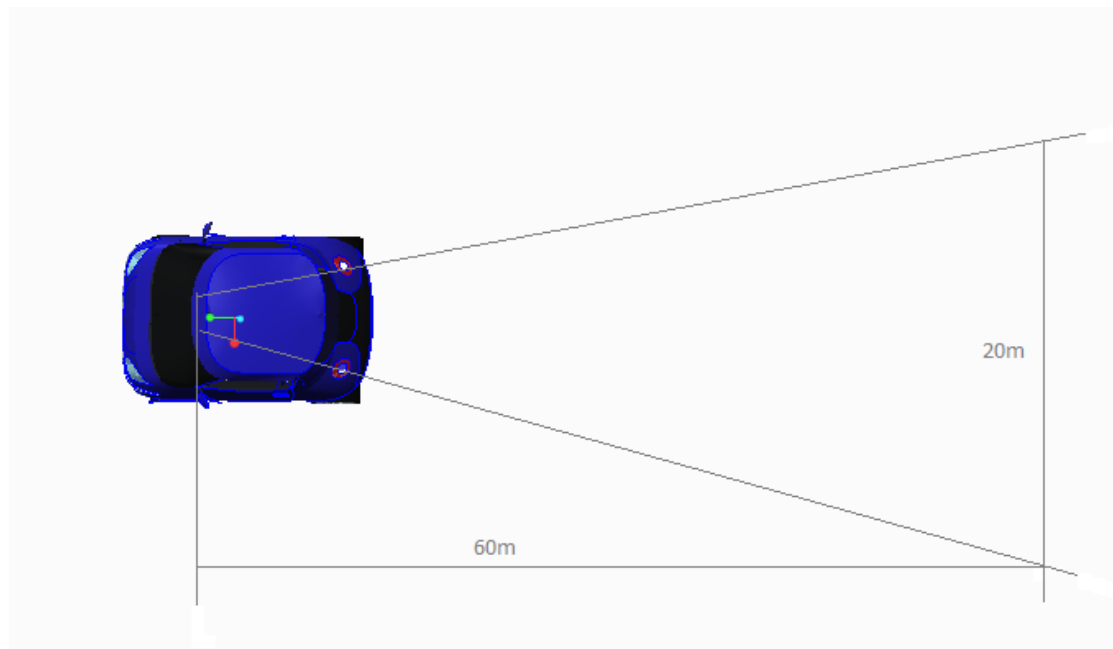
Στη περίπτωση των καθρεπτών υπάρχουν οι παρακάτω κατηγορίες :

- Κατηγορία 1 (εσωτερικός καθρέπτης): πρόκειται για τον καθρέπτη που τοποθετείται εσωτερικά του οχήματος.
- Κατηγορία 2 (εξωτερικοί καθρέπτες): τοποθετείται σε ένα μέρος στην εξωτερική επιφάνεια του οχήματος.

Το πρόβλημα που προκύπτει με τους καθρέπτες είναι ότι ο οδηγός δυσκολεύεται να υπολογίσει τις αποστάσεις των αντικειμένων που βρίσκονται στο έμμεσο οπτικό του πεδίο.

4.4.1. Κατηγορία 1 (εσωτερικός καθρέπτης)

Ο οδηγός πρέπει να έχει ένα οπτικό πεδίο το οποίο στα 60 μέτρα απόστασης από τα μάτια του, του καλύπτει ένα εύρος ορατότητας 20 μέτρων. Αυτός ο καθρέπτης τοποθετείται εσωτερικά στο κέντρο του πλάτους του οχήματος.



Εικόνα 4.5 οπτικό πεδίο που πρέπει να έχει ο οδηγός, το οποίο στα 60 μέτρα απόστασης από τα μάτια του, του καλύπτει ένα εύρος ορατότητας 20 μέτρων.

Ο εσωτερικός καθρέπτης αποτελείται από ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο που έχει 40 mm ύψος και α mm πλάτος [5]:

$$\alpha = 150 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1000}{r}} \quad (4.3)$$

Το r είναι ο μέσος όρος των ακτινών της καμπυλότητας της επιφάνειας ανάκλασης και μπορεί να βρεθεί χρησιμοποιώντας την ελάχιστη r_{min} και τη μέγιστη r_{max} ακτίνα από το κέντρο αυτής της επιφάνειας[5].

$$r = \frac{r_{min} + r_{max}}{2} > 1200mm \quad (4.4)$$

Ο εσωτερικός καθρέπτης τοποθετείται πάνω από το σημείο V_I και σε μία διαμήκη απόσταση από αυτό 350 mm [4].

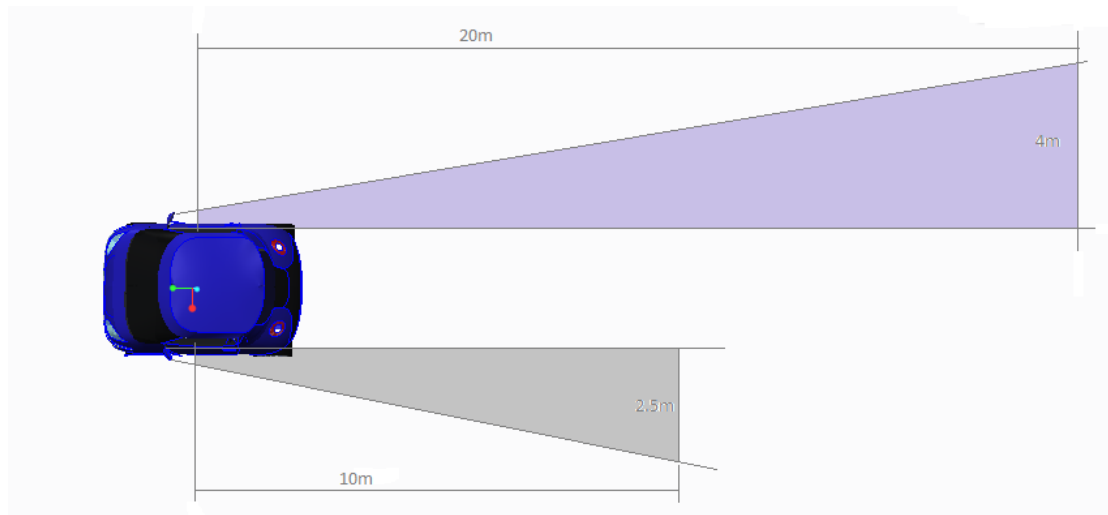
4.4.2. Κατηγορία 2 (εξωτερικοί καθρέπτες)

Ο αριστερός εξωτερικός καθρέπτης πρέπει να έχει σε απόσταση 10 μέτρων από τα μάτια ένα εύρος ορατότητας 2.5 μέτρων. Ο δεξιάς εξωτερικός καθρέπτης πρέπει να έχει σε απόσταση 20 μέτρων από τα μάτια του οδηγού 4 μέτρα εύρος. Η ανακλώμενη επιφάνεια είναι ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο με διαστάσεις ύψους 40 mm και πλάτους α mm [5].

$$\alpha = 130 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1000}{r}} \quad (4.5)$$

Το r υπολογίζεται όμοια με αυτό του εσωτερικού καθρέπτη.

Οι εξωτερικοί καθρέπτες βρίσκονται κάτω από το οριζόντιο επίπεδο των ματιών και πρέπει το κέντρο των ανακλώμενων επιφανειών τους να βρίσκονται σε μία ευθεία που σχηματίζει τουλάχιστον 55 μοίρες με την ευθεία όραση των ματιών. Επίσης, ο κάθε καθρέπτης δεν θα πρέπει να αυξάνει το πλάτος του οχήματος περισσότερο από 200 mm.

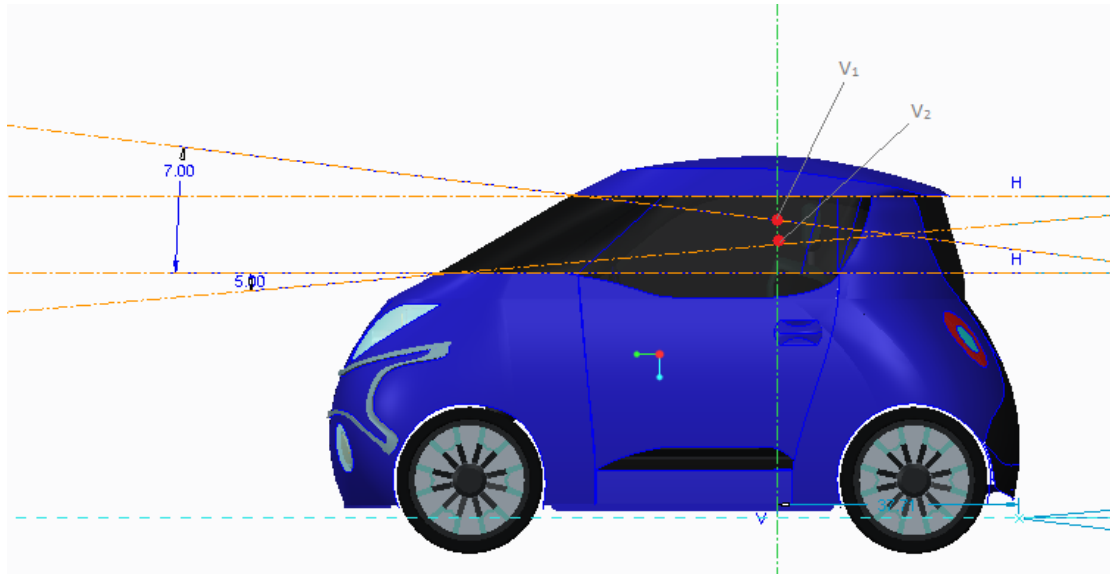


Εικόνα 4.6 Το οπτικό πεδίο που πρέπει να καλύπτει ο αριστερός εξωτερικός καθρέπτης είναι να έχει σε απόσταση 10 μέτρων από τα μάτια ένα εύρος ορατότητας 2.5 μέτρων. Ο δεξιάς εξωτερικός καθρέπτης πρέπει να έχει σε απόσταση 20 μέτρων από τα μάτια του οδηγού 4 μέτρα εύρος.

4.5. Τοποθέτηση εσωτερικών μερών οχήματος σύμφωνα με το άμεσο πεδίο ορατότητας

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν και τους εργονομικούς κανονισμούς που πρέπει να πληροί ένα όχημα η τοποθεσία των πεταλιών του τιμονιού και του καθίσματος στο συγκεκριμένο όχημα θα πραγματοποιηθεί όπως φαίνεται παρακάτω.

Αρχικά προσδιορίζονται τα σημεία V_1 και V_2 σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που προαναφέρθηκαν. Στο όχημα οι αποστάσεις αυτές είναι 936 mm και 838 mm αντίστοιχα από το πάτωμα του οχήματος.

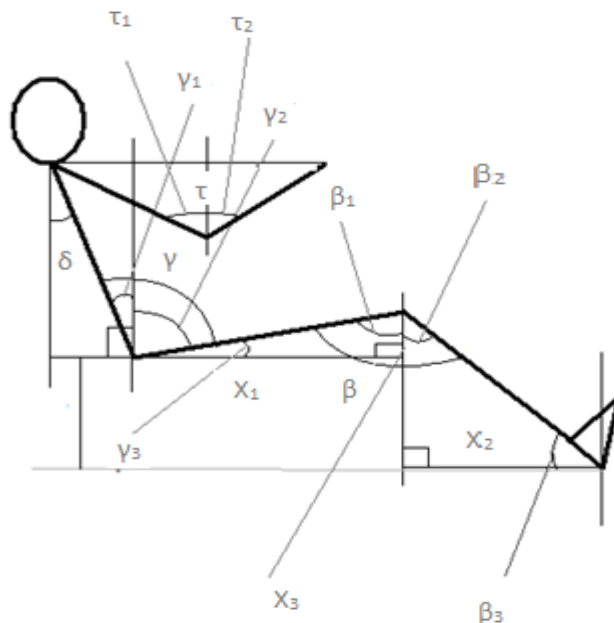


Εικόνα 4.7 Παρουσίαση τοποθέτησης των σημείων V_1 και V_2 σύμφωνα με τις 3 ευθείες όρασης που πρέπει να διαπερνούν το παρμπρίζ.

Επίσης, επειδή το όχημα είναι μικρό σε διαστάσεις η γωνία $\delta = 20$ μοίρες. Τέλος, σαν δεδομένα έχουν προσδιοριστεί η γωνία γ και τα στις 100 μοίρες και οι ανθρωπομετρικές διαστάσεις του μέσου όρου του $50^{\text{ου}}$ εκατοστημορίου των ανδρών και των γυναικών (Πίνακας 3.2 και 3.3):

1. Το ύψος των ματιών στη καθιστή θέση από το κατώτερο μέρος των γλουτών είναι $(800 + 737)/2 = 768.5 \text{ mm}$
2. Το μήκος από το πίσω μέρος των γλουτών μέχρι και την επιγονατίδα είναι $(568 + 592)/2 = 580 \text{ mm}$.
3. Το μήκος της επιγονατίδας από το κατώτερο μέρος του πέλματος είναι $(544 + 500)/2 = 522 \text{ mm}$.
4. Η απόσταση των ώμων στη καθιστή θέση από το κατώτερο σημείο των γλουτών είναι $(592 + 579)/2 = 585.5 \text{ mm}$.
5. Η απόσταση του ώμου από τον αγκώνα είναι $(363 + 332)/2 = 347.5 \text{ mm}$.

6. Η απόσταση του αγκώνα από την άκρη των δαχτύλων του χεριού είναι $(480+424)/2=452mm$



Εικόνα 4.8 στο σχήμα φαίνονται οι γωνίες που σχηματίζουν οι αρθρώσεις του ανθρώπινου σώματος κατά την οδήγηση, καθώς και οι υπογωνίες που είναι απαραίτητες για τους υπολογισμούς των διαστάσεων του εσωτερικού μέρους του οχήματος ως προς το ανθρώπινο σώμα.

Προσδιορίζεται το σημείο R ως προς το σημείο V_2 . Για $\delta=25$ μοίρες το R βρίσκεται 635 mm πιο κάτω στο επίπεδο Z . Από τον πίνακα 3 για $\delta=20$ μοίρες το R βρίσκεται $635 + 44 = 679$ mm πιο κάτω. Άρα το R βρίσκεται στα $936 - 679 = 257$ mm από το πάτωμα.

Το ύψος του καθίσματος υπολογίζεται όπως φαίνεται παρακάτω. Το ύψος των ματιών στη καθιστή θέση από το κατώτερο μέρος των γλουτών είναι 768.5 mm και η γωνία $\delta = 20$ μοίρες άρα το ύψος του καθίσματος από το σημείο V_2 είναι $768.5 \cdot \cos(20) = 722.15$ mm. Άρα το ύψος καθίσματος είναι $936 - 722.15 = 213.85$ mm.

Η γωνία γ είναι 100 μοίρες, η γωνία γ_2 είναι $100 - 20 = 80$ μοίρες και η γ_3 είναι $90 - 80 = 10$ μοίρες. Άρα έχουμε ότι η απόσταση X_3 είναι $213.85 + 580 \cdot \sin(10) = 313.85$ mm. Επομένως, η γωνία β_3 είναι $\sin^{-1}\left(\frac{313.85}{522}\right) = 36.96$ μοίρες.

Επομένως η συνολική διαμήκης απόσταση του πιο μπροστινού σημείου της πλάτης από τα πετάλια του οχήματος πρέπει να είναι $522 \cdot \cos(36.96) + 580 \cdot \cos(10) = 988.2$ mm.

Η απόσταση της επιφάνειας του καθίσματος από τους ώμους στο κάθετο επίπεδο είναι $585.5 \cdot \cos(20) = 550.2 \text{ mm}$ και στο οριζόντιο $585.5 \cdot \sin(20) = 200.3 \text{ mm}$. Για να προσδιοριστεί η απόσταση των ώμων από το τιμόνι στο οριζόντιο επίπεδο πρέπει αρχικά να βρεθούν οι γωνίες τ_1 και τ_2 . Έχουμε:

$$\tau_1 + \tau_2 = 100 \text{ μοίρες} \quad \text{ή} \quad \tau_2 = \tau - \tau_1$$

επίσης,

$$347.5 \cdot \cos(\tau_1) = 452 \cdot \cos(\tau_2) \quad \text{ή}$$

$$\frac{\cos(\tau_1)}{\cos(\tau - \tau_1)} = 1.3 \quad \text{ή}$$

$$\frac{\cos(\tau_1)}{\cos(\tau) \cdot \cos(\tau_1) + \sin(\tau) \cdot \sin(\tau_1)} = 1.3 \quad \text{ή}$$

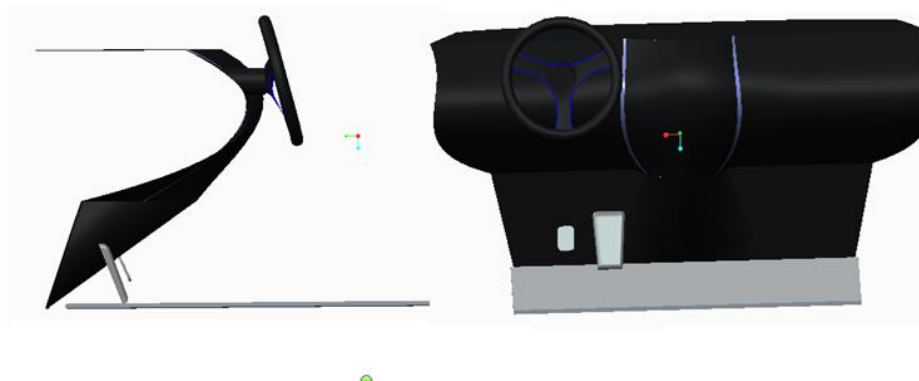
$$\tan(\tau_1) = \frac{1 - 1.3 \cdot \cos(\tau)}{1.3} \quad \text{ή}$$

$$\tan(\tau_1) = 0.9 \quad \text{ή}$$

$$\tau_1 = \tan^{-1}(0.9) = 42 \text{ μοίρες}$$

άρα $\tau_2 = 58 \text{ μοίρες}$

Επομένως η απόσταση του τιμονιού από τους ώμους είναι $347.5 \cdot \sin(\tau_1) + 452 \cdot \sin(\tau_2) = 615.8 \text{ mm}$ και από το πιο μπροστινό σημείο της πλάτης είναι $615.8 - 200.3 = 415.5 \text{ mm}$. Τέλος η διαμήκης απόσταση του τιμονιού από τα πετάλια είναι 572.7 mm .



Εικόνα 4.9. Στο σχήμα φαίνεται η τοποθέτηση των πεταλιών και του τιμονιού σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς.

Κεφάλαιο 5. Συστήματα συγκράτησης

Προκειμένου οι επιβάτες του οχήματος να διατηρούνται στη σωστή τους θέση και να αποφύγουν οποιοδήποτε τραυματισμό εξαιτίας κάποιας πρόσκρουσης ή ταχείας επιβράδυνσης, έχουν αναπτυχθεί τα συστήματα συγκράτησης. Τα συστήματα αυτά είναι οι ζώνες ασφαλείας και οι αερόσακοι.

5.1. Ζώνες ασφαλείας

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κανονισμό οι επιβάτες του οχήματος εφ' όσων φοράνε κανονικά τις ζώνες ασφαλείας πρέπει να είναι προστατευμένοι. Οι ζώνες ασφαλείας πρέπει να είναι σχεδιασμένες έτσι, ώστε να διατηρούν τους επιβάτες στη σωστή θέση κατά τη διάρκεια των γεγονότων που μπορούν να δημιουργήσουν τραυματισμούς από τα εσωτερικά μέρη του οχήματος, ενώ παράλληλα να εξασφαλίζουν την άνεση και την ελευθερία κινήσεων των επιβατών.

5.1.1. Αποτελεσματικές αγκυρώσεις της ζώνης ασφαλείας

Οι αποτελεσματικές αγκυρώσεις είναι τα σημεία όπου τοποθετούνται στα αντίστοιχα μέρη της ζώνης. Τα μέρη αυτά είναι το άνω μέρος στο οποίο στερεώνεται η ζώνη (βρόχος πυλώνα), τα δύο κάτω μέρη που συγκρατούν τους επιβάτες κατά τη χρήση της ζώνης, όπου το ένα βρίσκεται στην δεξιά μεριά του οδηγού και την αριστερή του συνοδηγού (πόρπη) και το άλλο στην αντίθετη μεριά του καθίσματος για κάθε μία από τις περιπτώσεις (βραχίονας στερέωσης). Η ζώνη κατά τη χρήση αλλάζει κατευθύνσεις και τα σημεία στα οποία πρέπει να στερεώνεται οφείλουν να τηρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις.

Τα σημεία αυτά είναι :

- R σημείο: είναι το σημείο που προσδιορίζει τη σωστή θέση του επιβάτη όσων αφορά την άρθρωση μεταξύ του μηριαίου οστού και του ισχίου.
- S σημεία: είναι τα σημεία που αντιστοιχούν στην ανώτερη και στη κατώτερη αγκύρωση και συμβολίζονται με S_1 και S_2 αντίστοιχα. Το μέγεθος S είναι η απόσταση σε χιλιοστά μεταξύ των σημείων S και το πλάνο xz το οποίο περνά από το σημείο R ή διαφορετικά το διαμήκη ενδιάμεσο πλάνο του μπροστινού καθίσματος.
- J σημείο: είναι το σημείο όπου γίνεται η σύνδεση του ώμου με το χονδρό ύφασμα της ζώνης όταν αυτή στερεώνεται.
- L_1 , L_2 σημεία: Το σημείο L_1 αντιστοιχεί στον βραχίονα στερέωσης και το L_2 στην πόρπη.
- α_1 , α_2 γωνίες: είναι οι γωνίες που δημιουργούνται μεταξύ των γραμμών που περνούν από τα L_1 , L_2 αντίστοιχα και της οριζόντιας γραμμής που περνά από το σημείο R .

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τις συνδέσεις της ζώνης καλύπτεται από τον κανονισμό R 96/38 « Αγκύρωση για ζώνες ασφαλείας ενηλίκων για μπροστινές θέσεις επιβατών ».

5.1.2. Ανώτερη αγκύρωση

Η διαδικασία [6] για να προσδιοριστεί η περιοχή στην οποία πρέπει να τοποθετηθούν οι αγκυρώσεις προκειμένου να είναι αποτελεσματικές συνοψίζεται στα 3 παρακάτω στάδια :

Στάδιο 1: προσδιορισμός του σημείου C. Τοποθετείται το σημείο R και ύστερα σχεδιάζεται μία ευθεία από το σημείο R προς την κατεύθυνση του σώματος του οδηγού ή του επιβάτη (ευθεία 1). Στη συνέχεια τοποθετείτε μία κάθετη γραμμή που περνά από το σημείο R και στα 450 mm από αυτό το σημείο τοποθετείται το σημείο C. Ύστερα σχεδιάζεται μία οριζόντια γραμμή που περνά το σημείο C.



Εικόνα 5.1 Στην εικόνα φαίνεται η τοποθέτηση του σημείου C ως προς το σημείο R.

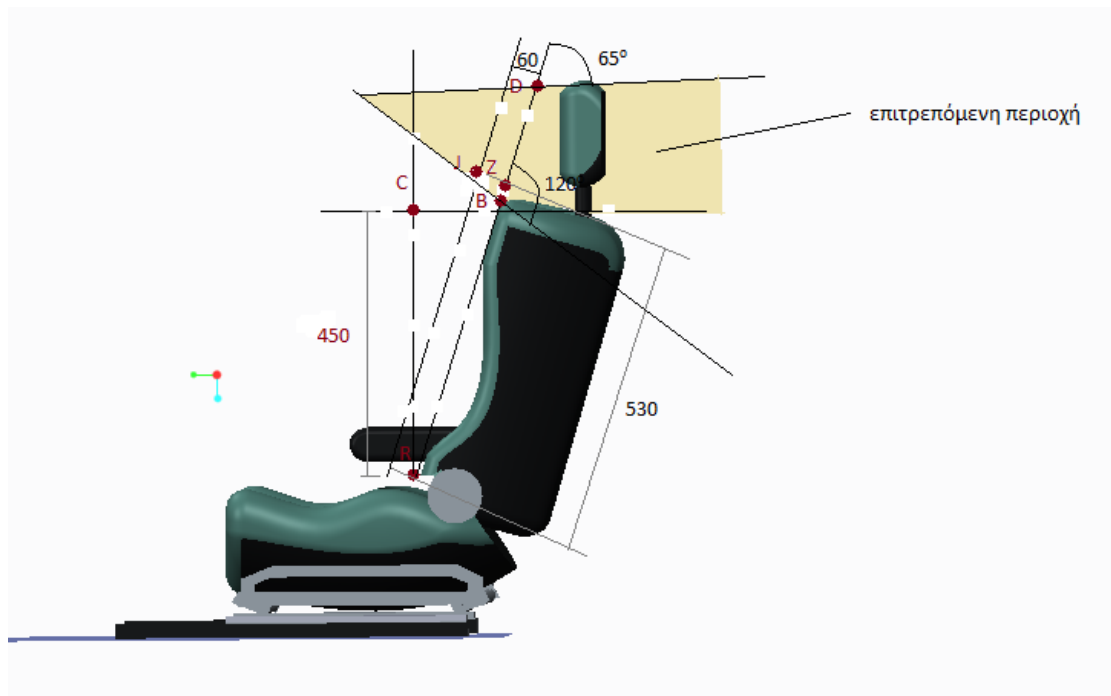
Στάδιο 2: προσδιορισμός των σημείων J, B, D. Στην ευθεία που έχει σχεδιαστεί από το σημείο R κατά μήκος του σώματος του επιβάτη τοποθετείται ένα σημείο Z σε απόσταση 530 mm από το σημείο αυτό. Στην συνέχεια σχεδιάζεται μία παράλληλη στην προηγούμενη ευθεία με απόσταση 60 mm και στο ίδιο ύψος με το σημείο Z τοποθετείται στη δεύτερη γραμμή το σημείο J (σύνδεση ώμου με χονδρό ύφασμα ζώνης). Τα σημεία B και D υπολογίζονται με τους κάτωθι τρόπους:

$$BR = 260 + S, \quad DR = 315 + S$$



Εικόνα 5.2. Στην εικόνα φαίνεται η τοποθέτηση των σημείων J,Z,B και D σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο στάδιο 2.

Στάδιο 3: προσδιορισμός της επιτρεπόμενης περιοχής. Σχεδιάζεται μία γραμμή που περνά από το σημείο D και έχει κλίση 65 μοιρών ως προς γραμμή που περνά από το σημείο R προς τη κατεύθυνση του σώματος του επιβάτη (ευθεία 2). Όμοια σχεδιάζεται και άλλη μία ευθεία από το σημείο B με κλίση 120 μοιρών (ευθεία 3). Στο σημείο που τέμνονται οι 2 αυτές γραμμές είναι το σημείο F . Η επιτρεπόμενη περιοχή τοποθέτησης του άνω αγκίστρου της ζώνης περικλείεται από τις ευθείες 1,2 και 3.

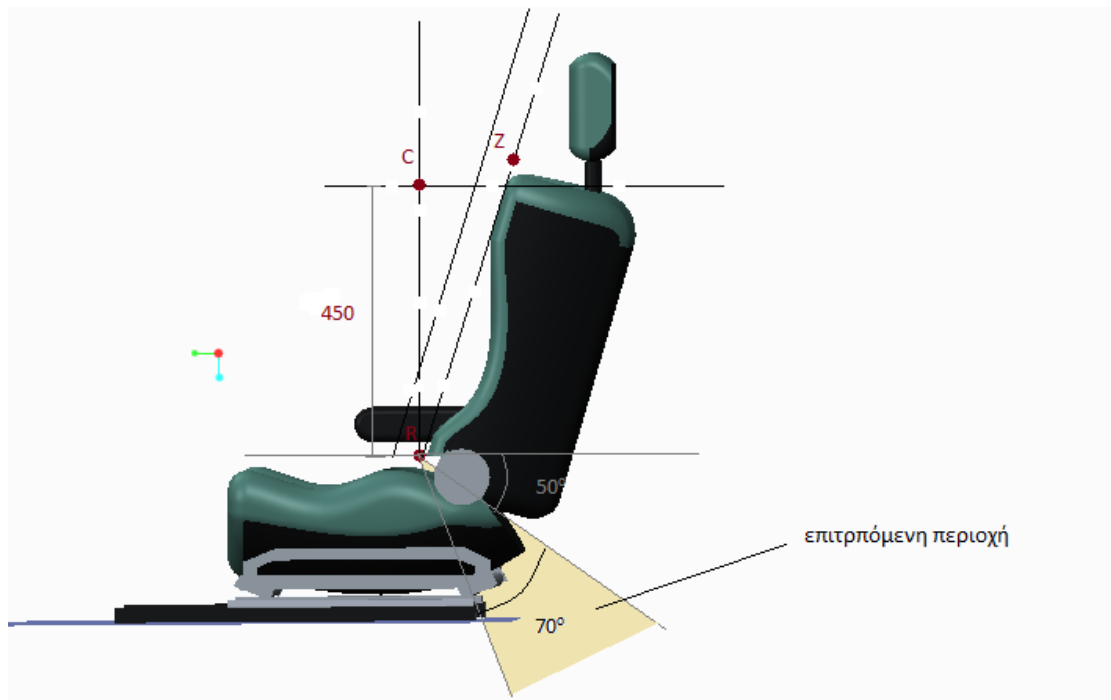


Εικόνα 5.3 Στο σχήμα φαίνεται η επιτρεπόμενη περιοχή τοποθέτησης του άνω αγκίστρου της ζώνης και διαγραμμίζεται με μπλε χρώμα.

5.1.3. Χαμηλότερες αγκυρώσεις

Οι θέσεις ώστε να είναι αποτελεσματικές οι χαμηλότερες αγκυρώσεις, σύμφωνα με τον κανονισμό R 96/38, βρίσκονται στα σημεία L_1 και L_2 και στην οριζόντια γραμμή που περνά από το σημείο R [6].

Ο προσδιορισμός των σημείων L_1 και L_2 επιτυγχάνεται με τον παρακάτω τρόπο. Τοποθετείται το σημείο R και στη συνέχεια σχεδιάζεται μία γραμμή ξεκινώντας από το σημείο αυτό και έχοντας κλίση 50 μοιρών ως προς την οριζόντια γραμμή που περνά από αυτό. Η ίδια διαδικασία γίνεται και με μία δεύτερη γραμμή, αλλά με κλίση 70 μοιρών. Τα L_1 και L_2 βρίσκονται ανάμεσα στη περιοχή που σχηματίζεται από τις 2 αυτές γραμμές και το ένα βρίσκεται στην αριστερή και το άλλο στη δεξιά μεριά του καθίσματος, ανάλογα με το κάθισμα το οποίο μελετάται.



Εικόνα 5.4 Στο σχήμα φαίνεται η επιτρεπόμενη περιοχή των σημείων L_1 και L_2 σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε για τις χαμηλότερες αγκυρώσεις.

5.1.4. Μέρη ζώνης ασφαλείας

Η ζώνη ασφαλείας απαρτίζεται από τα εξής μέρη:

- το παχύ ύφασμα που συγκρατεί τους επιβάτες στο κάθισμα. Αποτελείται από ύφασμα υφαντό με τεχνικές και υλικό που επιδεικνύουν υψηλή αντίσταση στη θραύση και στη γήρανση.
- Ο βρόχος του πυλώνα που τοποθετείται στη περιοχή της ανώτερης αγκύρωσης.
- Ο γάντζος που κλειδώνει και αποτρέπει οποιαδήποτε ανεπιθύμητη μετακίνηση του επιβάτη. Σε αυτόν εμπεριέχεται ένα γεωμετρικό και δυναμικό σύστημα. Το γεωμετρικό σύστημα κλειδώνει το παχύ ύφασμα της ζώνης όταν λόγω εξωτερικών γεγονότων το όχημα κινείται με συγκεκριμένο αριθμό μοιρών ως προς την οριζόντια θέση του. Δεν πρέπει ποτέ να κλειδώνει σε γωνιακές διακυμάνσεις κάτω των 12 μοιρών και πρέπει πάντα να κλειδώνει σε γωνιακές διακυμάνσεις άνω των 27 μοιρών. Το δυναμικό σύστημα της ζώνης παρεμβαίνει και κλειδώνει σε όταν το παχύ ύφασμα της ζώνης τεντώνει απότομα.
- Ο βραχίονας στερέωσης και η πόρπη που τοποθετούνται στις περιοχές χαμηλότερων αγκυρώσεων.
- Το άγκιστρο που κλειδώνει στη πόρπη.

5.2. Αερόσακοι

Οι αερόσακοι είναι σχεδιασμένοι να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τη ζώνη ασφαλείας. Σε περιπτώσεις ατυχήματος, σε ορισμένο εύρος ταχυτήτων, οι αερόσακοι δρουν έτσι ώστε να μειώσουν την έκταση και την ύπαρξη τραυματισμών των επιβατών του οχήματος. Σε περίπτωση ατυχήματος ή μιας δράσης με ορισμένη δύναμη που εξασκείται στο όχημα, ένας ή περισσότεροι αισθητήρες σωστά τοποθετημένοι στο όχημα, στέλνουν ηλεκτρικό σήμα σε μία ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου. Η χρήση μόνο της ζώνης, μπορεί να αρκεί για να είναι οι επιβάτες σε οποιαδήποτε περίπτωση στη σωστή θέση, όμως σε ορισμένα επίπεδα επιβράδυνσης μπορεί να υπάρξει συντριβή του θώρακα. Με τη χρήση των αερόσακων το φορτίο που ασκείται στους επιβάτες μπορεί να μειωθεί κατά 30%. Επίσης, οι αερόσακοι εμποδίζουν μία σημαντική επιτάχυνση του κεφαλιού καθώς προστατεύουν τους επιβάτες από τα εσωτερικά μέρη του οχήματος.

Τα βασικά μέρη ενός συστήματος αερόσακων είναι :

- Αισθητήρες
- Μονάδα ελέγχου
- Καλώδια
- Αερόσακοι

Οι τύποι των αερόσακων που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή τραυματισμών των επιβατών χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες [6]:

- ❖ Αερόσακοι που χρησιμοποιούνται για τη προστασία από σύγκρουση στο μπροστινό μέρος του οχήματος, οι οποίοι κατηγοριοποιούνται ως εξής:
 - Αερόσακος του οδηγού. Τοποθετείται στο κέντρο του τιμονιού και διογκώνεται με γεννήτρια αερίου. Η χωρητικότητα του είναι 55-60 λίτρα.
 - Αερόσακος του συνοδηγού. Τοποθετείται στο κέντρο του ταμπλό και έχει χωρητικότητα 120-130 λίτρα.
 - Αερόσακος για τα γόνατα. Τοποθετείται στο ταμπλό στο ύψος των γονάτων και έχει χωρητικότητα 12-16 λίτρα.
- ❖ Αερόσακοι για τη προστασία των επιβατών από πλευρική σύγκρουση. Κατηγοριοποιούνται ως εξής:
 - Αερόσακος για τη προστασία του θώρακα και της λεκάνης. Τοποθετείται στο πλαϊνό μέρος της πλάτης του καθίσματος και έχει χωρητικότητα 12-18 λίτρα.
 - Αερόσακος για τη προστασία του κεφαλιού των επιβατών. Τοποθετείται στην άκρη της κολώνας της οροφής του οχήματος και επεκτείνεται κυλινδρικά κατά μήκος των παραθύρων. Έχει χωρητικότητα 15-25 λίτρα.

- ❖ Αερόσακοι για τη προστασία των επιβατών κατά την ανατροπή του οχήματος. Χρησιμοποιείται για να προστατεύσει τους επιβάτες από τραυματισμό του κεφαλιού από την καμπίνα ή από το έδαφος κατά την ανατροπή του οχήματος. Είναι φτιαγμένοι από ύφασμα πολυαμιδίου με ένα στρώμα σιλικόνης . Η χωρητικότητά του είναι κατ ελάχιστο 40 λίτρα.

Συμπεράσματα

Βασικός στόχος της εργασίας αυτής ήταν ο εξωτερικός σχεδιασμός του σώματος του οχήματος σύμφωνα με τα κριτήρια που πρέπει να πληροί ένα όχημα προκειμένου να έχει υψηλές επιδόσεις. Σύμφωνα με τα κριτήρια αυτά το όχημα πρέπει να είναι έχει ένα σχήμα χωρίς έντονες ακμές, περιορισμένο βάρος και σχετικά μικρές διαστάσεις.

Ενώ επιτεύχθηκαν τα παραπάνω, οι διαστάσεις του οχήματος είναι σχετικά μικρές ώστε να φιλοξενηθούν οι επιβάτες με ασφάλεια και άνεση, για αυτό κι έγινε εργονομική ανάλυση προκειμένου να αξιοποιηθούν οι διαθέσιμοι χώροι όσο πιο αποτελεσματικά γίνεται. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην ανάλυση και στα υλικά από τα οποία αποτελείται το κάθισμα ενός οχήματος, μιας και οι αναρτήσεις του οχήματος είναι σκληρές και η πίεση των ελαστικών αρκετά υψηλή προκειμένου να αυξάνεται η ενεργειακή απόδοση, με αποτέλεσμα να μεταφέρονται πολλές δονήσεις στους επιβάτες.

Έτσι επιτεύχθηκε ο σχεδιασμός ενός οχήματος με μικρές σχετικά διαστάσεις που παράλληλα παρέχει άνεση και ασφάλεια κατά τη διάρκεια οδήγησης. Είναι αρκετά σημαντικό να ειπωθεί ότι ένα τέτοιο όχημα είναι ιδανικό για τη χρήση του στις πόλεις, μιας και συνδυάζει την οικολογία με την άνεση και την ασφάλεια. Ίσως η κατασκευή του να είναι ακριβή σε σύγκριση με τα οχήματα εσωτερικής καύσης όμως πρέπει να σημειωθεί ότι τα έξοδα ανεφοδιασμού και τα έξοδα συντήρησης είναι αισθητά περιορισμένα.

Βιβλιογραφία

- [1] James Larminie, J. L. (2003). *Electrical Vehicle Technology Explained*. Oxford,UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- [2] Okiishi, M. Y. (2005). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. John Wiley & Sons.
- [3] BOSCH. (1996). *AUTOMOTIVE HANDBOOK*. Stuttgart Germany: Robert Bosch GmbH.
- [4] L. Morello, L. R. (2014). *The Automotive Body Volume I*. Springer.
- [5] KARWOWSKI, B. P. (1993). *AUTOMOTIVE ERGONOMICS*. Taylor & Francis.
- [6] L. Morello, L. R. (2014). *The Automotive Body Volume II*. Springer.