



# ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών Και Αυτομάτου Ελέγχου

*‘ Σχεδιασμός Και Μελέτη Ηλεκτροκίνητου Οχήματος Πόλεως ’*



Διπλωματική Εργασία του  
Χρήστου Θ. Κοκολάκη

Επιβλέπων Καθηγητής : Κ.Ν. Σπέντζας

Αθήνα 2007

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και την παρέα μου για την κατανόηση που έδειξαν κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ιδιαίτερα , θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κωνσταντίνο Σπέντζα, επιβλέπων καθηγητή της διπλωματικής , για την άριστη συνεργασία που είχαμε και για τις γνώσεις τις οποίες μου προσέφερε.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3-
2. ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ‘ΜΙΚΡΑ’ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	4-
3. ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΝΩ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ	
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	15-
3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	16-
3.3 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	18-
3.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ.....	20-
3.5 ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ.....	23-
3.6 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELL).....	29-
3.7 ΠΥΚΝΩΤΕΣ ( ULTRACAPACITORS ).....	32-
4. ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ	
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	33-
4.2 ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	34-
4.3 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	
4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	37-
4.3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	38-
4.3.3 ΙΝΕΣ.....	40-
4.3.4 ΜΗΤΡΑ.....	44-
4.3.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	45-
4.3.6 ΥΛΙΚΑ ΠΥΡΗΝΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΥΠΟΥ SANDWICH.....	46-
4.3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	48-
5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	
5.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΠΡΟ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	50-
5.2 ΠΟΡΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	54-
5.3 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ.....	57-
5.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ – ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ.....	59-
5.5 ΣΑΣΙ	
5.5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	69-
5.5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ.....	72-
5.5.3 ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	57-
5.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΣ – ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ	
5.6.1 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΝ.....	79-
5.6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΡΑΤΗΜΑΤΟΣ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	81-
5.6.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – ΑΝΤΟΧΗ ΜΠΡΟΣΤΑ ΨΑΛΙΔΙΩΝ.....	89-
5.6.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΙΣΩ ΨΑΛΙΔΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	96-
5.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗ ΟΡΟΦΗΣ – ΤΖΑΜΙΑ.....	100-
5.8 ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ – ΠΑΚΕΤΟ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ.....	105-

5.9 ΧΩΡΟΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ – ΘΕΣΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ.....	-113-
5.10 ΛΟΙΠΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
5.10.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ.....	-117-
5.10.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ.....	-117-
5.10.3 ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΙΜΟΤΗΤΑ –ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	-118-
5.11 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ.....	-120-
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ.....	-122-
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
7.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ.....	-123-
7.2 ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	-124-
7.3 ΛΟΙΠΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ.....	-126-
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	-129-



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο σχεδιασμός και η μελέτη της κατασκευής ενός διθέσιου ηλεκτροκίνητου οχήματος με τρεις τροχούς για χρήση μέσα στην πόλη. Επειδή οι σύγχρονες πόλεις παρουσιάζουν πολλά προβλήματα, όπως η κυκλοφοριακή συμφόρηση, οι μειωμένες θέσεις στάθμευσης, ο θόρυβος και η ρύπανση, το όχημα αυτό θα έχει κάποιες ιδιαιτερότητες σε μια προσπάθεια να βρει την χρυσή τομή των προβλημάτων αυτών.

Όλες αυτές οι δυσκολίες που περιγράψαμε παραπάνω σε συνδυασμό με μια προσπάθεια για δημιουργία ενός ασφαλέστερου οχήματος, θα προδιαγράψουν σταδιακά την μορφή που θα πρέπει να έχει το όχημά μας και τελικά τα τεχνικά του χαρακτηριστικά ώστε να μπορεί να μεταφέρει τους επιβάτες άνετα και με ασφάλεια.

Πιο συγκεκριμένα, η μεγαλύτερη ιδιαιτερότητα του οχήματος θα βρίσκεται στο μειωμένο του φάρδος, προσδίδοντάς του ευελιξία κινήσεων και την δυνατότητα να “τρυπώνει” ενδιάμεσα από άλλα οχήματα σχεδόν όσο άνετα μπορεί μια μηχανή μεγάλου κυβισμού. Η διαφορά με μια μηχανή θα είναι ότι στη περίπτωση μας, οι επιβάτες θα είναι προστατευμένοι μέσα σε μία καμπίνα από σύνθετα υλικά που θα αποτελεί τον χώρο των επιβατών, ο οποίος θα είναι στεγανός.

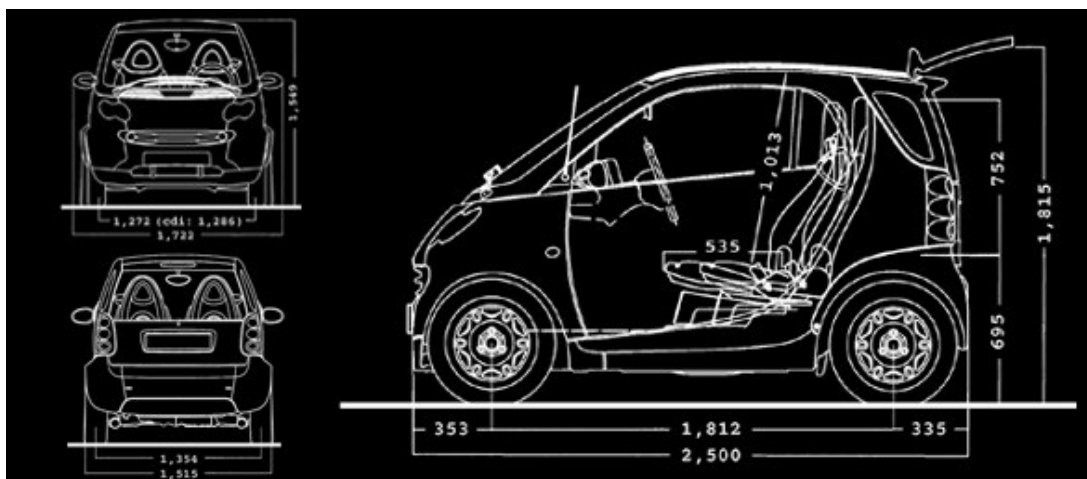
Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, ένας οδηγός που είναι αναγκασμένος να μετακινείται καθημερινά με το αυτοκίνητό του προς την δουλειά του, ξοδεύει τέσσερα χρόνια από την ζωή του σταματημένος στην κίνηση και ψάχνοντας χώρο να σταθμεύσει το όχημα του. Τα δίκυκλα οχήματα αποτελούν μια λύση στο πρόβλημα του μειωμένου χώρου στους δρόμους των πόλεων, που σημαίνει ευελιξία κινήσεων και ευκολία στάθμευσης. Αυτό που δεν παρέχουν, όμως, είναι ασφάλεια και άνεση στους επιβαίνοντες καθώς αυτοί είναι εκτεθειμένοι στις εκάστοτε συνθήκες περιβάλλοντος ενώ σε περίπτωση ατυχήματος είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι.

Στη μηχανολογία δεν υπάρχει η έννοια του καλύτερης λύσης, αλλά της βέλτιστης. Αυτό σημαίνει ότι το όχημα που θα σχεδιάσουμε δεν θα λύνει όλα τα προβλήματα που παρουσιάσαμε παραπάνω, αλλά θα δίνει μια “ικανοποιητική” προσέγγιση βρίσκοντας την χρυσή τομή μεταξύ άνεσης, ευελιξίας, πρακτικότητας και ασφάλειας.

## 2. ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ “ΜΙΚΡΑ” ΟΧΗΜΑΤΑ

Το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης και της στάθμευσης στις πόλεις έχει απασχολήσει πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες. Παρ'όλα αυτά, λίγες είναι αυτές που έχουν βγάλει στην παραγωγή οχήματα μικρών διαστάσεων, καθώς τα περισσότερα οχήματα της κατηγορίας αυτής βρίσκονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο (concept car). Πολλά από αυτά είναι υβριδικά διαθέτοντας ηλεκτροκινητήρα ως κύριο μέσο πρόωσης ενώ ο βενζινοκινητήρας τίθεται σε λειτουργία όταν οι απαιτήσεις ισχύος είναι αυξημένες ή όταν η αποθηκευμένη ενέργεια στις μπαταρίες δεν επαρκεί.

Το πιο διαδεδομένο όχημα μικρών διαστάσεων αποτελεί το smart fortwo της Mercedes. Είναι για δύο άτομα και το μειωμένου του μήκους του χαρίζει μεγάλη ευελιξία κινήσεων στους δρόμους των πόλεων, ενώ παράλληλα σταθμεύεται με ευκολία απαιτώντας πολύ μικρό χώρο.



Σχήμα 2.1

Οι διαστάσεις του είναι 2,5 m X 1,5 m X 1,8 m μήκος x πλάτος x ύψος και ζυγίζει 730 kg. Το κόστος της πιο απλής έκδοσης ανέρχεται σε 9.000 ευρώ με κινητήρα 60 ίππων.

Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει ηλεκτροκίνητη έκδοσή του ενώ το φάρδος του δεν του επιτρέπει να αποφεύγει την κυκλοφοριακή συμφόρηση.

Η BMW έχει κατασκευάσει το clever το οποίο ακόμα βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο. Είναι διαθέσιμο, με τους επιβάτες να κάθονται ο ένας πίσω από τον άλλο για λόγους ελαχιστοποίησης του συνολικού μήκους του οχήματος. Οι διαστάσεις του είναι 3 X 1,4 X 1 m<sup>3</sup> μήκος x ύψος x πλάτος. Κινείται με κινητήρα εσωτερικής καύσης 17 ίππων με καύσιμο φυσικό αέριο,

έχει κατανάλωση 2,4 lt/100 Km που του προσδίδει αυτονομία 150 Km. Η τελική του ταχύτητα φτάνει τα 100 Km/h. Έχει δύο τροχούς πίσω και ένα μπροστά ενώ η σταθερότητά του εξασφαλίζεται μέσω ενός μηχανισμού που επιτρέπει στο όχημα να γέρνει προς το εσωτερικό της στροφής.



Σχήμα 2.2



Σχήμα 2.3

Η τιμή του δεν έχει ακόμα καθοριστεί αλλά υπολογίζεται να είναι της τάξης των 10.000 ευρώ.

Ένα άλλο όχημα που εξελίχθηκε παράλληλα με το clever της bmw είναι το Carver με το οποίο έχουν παρόμοιες εξωτερικές διαστάσεις (3 X 1,4 X 1,3 m<sup>3</sup> μήκος x ύψος x πλάτος). Έχει τρεις τροχούς και δύο θέσεις και κινείται με βενζινοκινητήρα 659 cc που αποδίδει ισχύ 68 ίππων με μέση κατανάλωση 6 lt/100Km. Το βάρος του είναι 670 κιλά, η τελική του ταχύτητα φτάνει τα 185 Km/h, ενώ για τα 100 Km/h χρειάζεται 8,2 δευτερόλεπτα.



Σχήμα 2.4



Σχήμα 2.5

Είναι χειροποίητης κατασκευής με περιορισμένο αριθμό μοντέλων και το κόστος του είναι 30.000 ευρώ.

Ίδιας φιλοσοφίας κατασκευής με το Carver είναι και το ιαπωνικής κατασκευής Rhiaero με το οποίο έχουν ίδιες εξωτερικές διαστάσεις.Κινείται με βενζινοκινητήρα 660 cc ο οποίος αποδίδει ισχύ 65 ίππων.Έχει τρεις τροχούς και ικανότητα μεταφοράς έως και δύο ατόμων.



**Σχήμα 2.6**



**Σχήμα 2.7**



Η Myers motors διαθέτει ένα καθαρά ηλεκτροκίνητο μονοθέσιο όχημα που φορτίζει τοποθετώντας το στην πρίζα. Έχει ισχύ 20 ίππων και αυτονομία 50 Km ενώ η τελική του ταχύτητα φτάνει τα 120 Km/h. Για την ταχύτητα των 100 Km/h χρειάζεται 12,5 δευτερόλεπτα. Οι διαστάσεις του είναι 2,84 χ 1,32 χ 1,44 m<sup>3</sup> μήκος χ πλάτος χ ύψος.



Σχήμα 2.8



Σχήμα 2.9

Το κόστος του οχήματος είναι 25.000 αμερικάνικα δολάρια.

Μία ελβετική εταιρία, η Cree Ltd, κατασκευάζει το SAM all electric, ένα καθαρό ηλεκτροκίνητο όχημα. Ζυγίζει 600 κιλά και η τελική του ταχύτητα είναι 85 Km/h.



**Σχήμα 2.10**



**Σχήμα 2.11**

Η εταιρία κατασκεύασε 80 κομμάτια και τα πούλησε 8.500 δολάρια ενώ δεν γνωρίζουμε παραπάνω στοιχεία γιατί η παραγωγή έχει σταματήσει προσωρινά.

Μια ιταλική εταιρία κατασκευάζει το open street, διθέσιο ηλεκτροκίνητο όχημα με τέσσερις τροχούς και βάρος 490kg. Η ισχύς του κινητήρα είναι 4 KW, η τελική ταχύτητα του οχήματος 45 Km/h ενώ η αυτονομία του είναι 68 Km.



**Σχήμα 2.12**

Η Hammacher schlemmer θα βγάλει στην αγορά μέχρι το 2009 ένα καθαρά ηλεκτροκίνητο διθέσιο τετράτροχο όχημα που θα έχει κόστος 85.000 δολάρια. Αναμένεται να έχει τελική ταχύτητα 190 Km/h με αυτονομία από 65 μέχρι 100 Km ενώ θα χρειάζεται 4,2 δευτερόλεπτα για να αναπτύξει ταχύτητα 100 Km/h. Οι διαστάσεις του θα είναι 2,16 x 0,99 x 1,52 m<sup>3</sup> μήκος x πλάτος x ύψος και το βάρος του 1500 kg.



**Σχήμα 2.13**





**Σχήμα 2.14**

Η Mercedes ,για ερευνητικούς σκοπούς κατασκεύασε το lifejet το οποίο ποτέ δεν βγήκε στην παραγωγή.Είναι διαθέσιμο με δύο τροχούς εμπρός και ένα πίσω.Κινείται με πετρελαιοκινητήρα 1600 κυβικών εκατοστών, αναπτύσσει τελική ταχύτητα 215 Km/h ενώ για τα 100 Km χρειάζεται 7,7 δευτερόλεπτα.



**Σχήμα 2.15**



**Σχήμα 2.16**

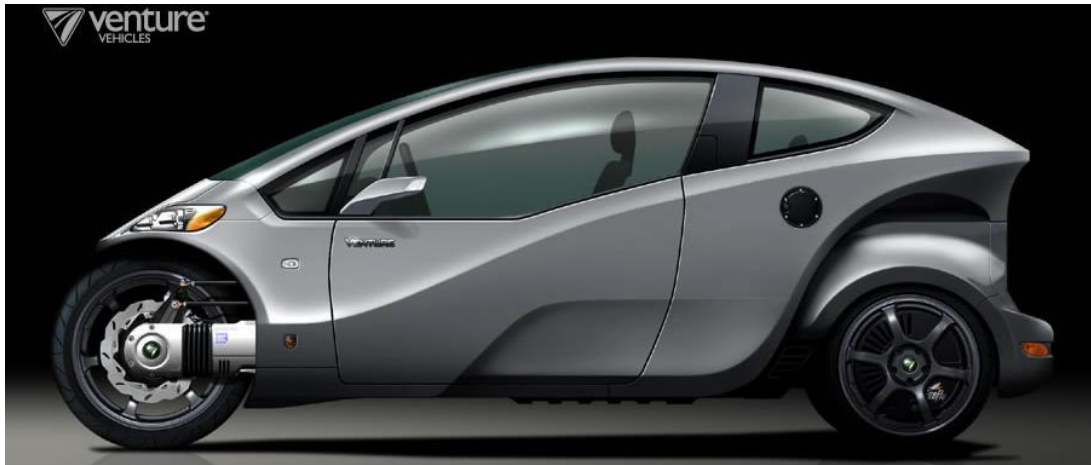
Το βάρος του είναι 800 Kg και οι διαστάσεις του είναι 3,95 χ 1,73 χ 1,52 m<sup>3</sup> μήκος χ πλάτος χ ύψος.

Το όχημα Reva κυκλοφορεί ευρέως στους δρόμους της Μάλτας. Είναι ηλεκτροκίνητο, διαθέτει δύο θέσεις κανονικού μεγέθους μπροστά και δύο μικρές πίσω. Έχει διαστάσεις 2,6 χ 1,3 χ 1,5 m<sup>3</sup> μήκος χ πλάτος χ ύψος. Ο κινητήρας του έχει ισχύ 4,8 Kw, η τελική του ταχύτητα είναι 70 Km/h και έχει αυτονομία 80 Km. Το κόστος του είναι 10.000 ευρώ.

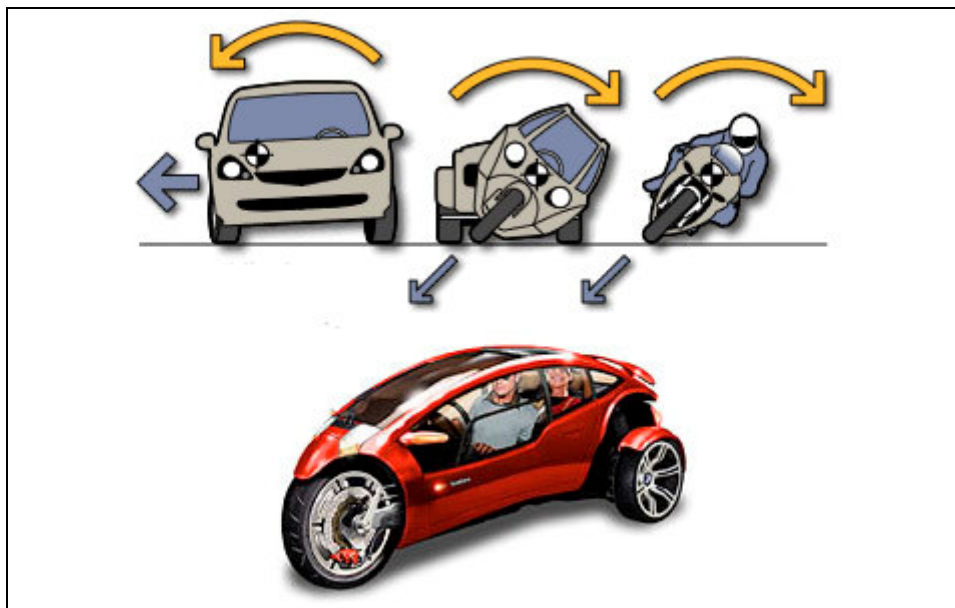


**Σχήμα 2.17**

Άλλα οχήματα που βρίσκονται ακόμα στο στάδιο της έρευνας και για τα οποία δεν έχουμε πολλά στοιχεία παρουσιάζονται παρακάτω.



Σχήμα 2.18



Σχήμα 2.19





Σχήμα 2.20

**i-urban<sup>EV</sup>**  
*Leading the Way*

Three Wheeled Platform  
 Aerodynamic Design  
 Battery Powered  
 Designed around  
 the occupants

**TECH SPECS:**

**Performance:**  
 Top Speed: 65 mph  
 Range: 40 - 60 miles  
 Wheelbase: 2.2 metres

**Construction:**  
 Aluminium spaceframe  
 Plastic Composite  
 body panels

**Drive System:**  
 Ni-Mn Batteries  
 brush DC Motor

**Safety Features:**  
 Rear view cameras for  
 360° visibility  
 Battery weight carried low  
 for stability

Σχήμα 2.21

### **3. ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΝΩ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΟ ΟΧΗΜΑ**

#### **3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Το 1909 ο Henry Ford ξεκίνησε την μαζική παραγωγή των βενζινοκίνητων οχημάτων με αποτέλεσμα την δραστική μείωση της τιμής τους. Το 1911 ο Charles F. Kettering εφηύρε την ηλεκτρική μίζα, δίνοντας έτσι μεγάλη ώθηση στην εξέλιξη και πώληση των βενζινοκίνητων οχημάτων. Κάτω από τις συνθήκες αυτές, η εξέλιξη του ηλεκτροκίνητου οχήματος σταμάτησε, με αποτέλεσμα στις μέρες μας να αποτελεί ακόμα αντικείμενο έρευνας.

Τα κυριότερα προβλήματα των σημερινών μεγάλων πόλεων που οφείλονται στην χρήση των κινητήρων εσωτερικής καύσης είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος και ο θόρυβος. Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών επανέρχονται στο προσκήνιο τα ηλεκτροκίνητα οχήματα, η χρήση των οποίων θεωρείται ως η μόνη λύση για την βελτίωση της ποιότητας του αέρα στις πόλεις.

Οι επιπτώσεις της χρήσης των ηλεκτροκίνητων οχημάτων στην συνολική κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ σημαντικές. Ένας κινητήρας εσωτερικής καύσης έχει βαθμό απόδοσης της τάξης του 20 % σε αντίθεση με τον ηλεκτροκινητήρα του οποίου ο βαθμός απόδοσης μπορεί να ξεπεράσει και το 97 % . Επιπλέον, ένα ηλεκτροκίνητο όχημα δεν καταναλώνει ενέργεια όταν βρίσκεται ακινητοποιημένο στην κίνηση της πόλης. Γενικά, πειραματικά στοιχεία δείχνουν ότι το ηλεκτροκίνητο όχημα καταναλώνει περίπου τη μισή ενέργεια από ένα θερμικό για την παραγωγή του ίδιου έργου.

Το ηλεκτροκίνητο όχημα είναι μηδενικών εκπομπών αλλά μόνο στην περιοχή όπου αυτό λειτουργεί. Στην πραγματικότητα, η ενέργεια που καταναλώνει, παράγεται σε κάποιο σταθμό παραγωγής ενέργειας με συνέπεια, απλά την μεταφορά των ρύπων σε ένα άλλο σημείο. Για να υπάρξει πραγματικό κέρδος σε ότι αφορά την ρύπανση του περιβάλλοντος, πρέπει να δημιουργηθούν σταθμοί παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά στοιχεία ή ανεμογεννήτριες. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει την συμβολή διαφόρων τύπων οχημάτων στη ρύπανση του Βελγίου. Τα στοιχεία ρύπανσης που αντιστοιχούν στα ηλεκτροκίνητα προέρχονται από τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

	Βενζινοκίνητα	Πετρελαιοκίνητα	Ηλεκτροκίνητα
CO <sub>2</sub>	25.8	19.8	10
SO <sub>2</sub>	0.005	0.027	0.004
NO <sub>x</sub> + HC	0.098	0.098	0.026
Σωματίδια	αμελητέα	0.019	0.0025
CO	0.27	0.27	0.0025

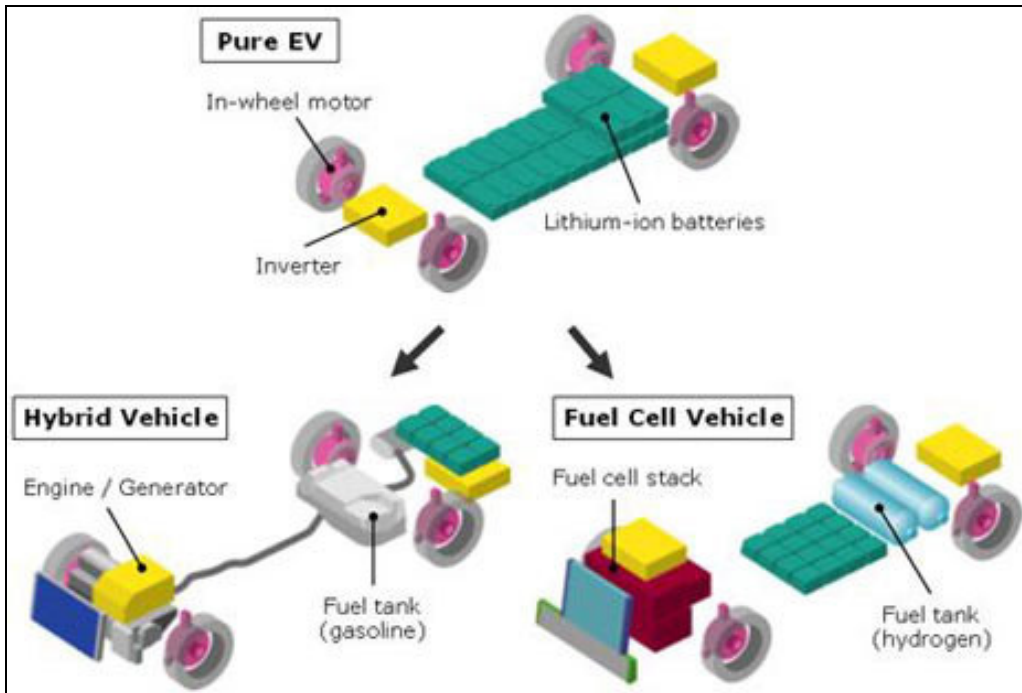
**Σχήμα 3.1**

### **3.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ**

Ηλεκτροκίνητο ονομάζεται το όχημα που κινείται με την βοήθεια ενός ή περισσότερων ηλεκτροκινητήρων. Η ενέργεια για την κίνηση του οχήματος μπορεί να προέρχεται από πολλές πηγές. Ανάλογα με την προέλευση της ενέργειας, έχουμε ηλεκτροκίνητα οχήματα :

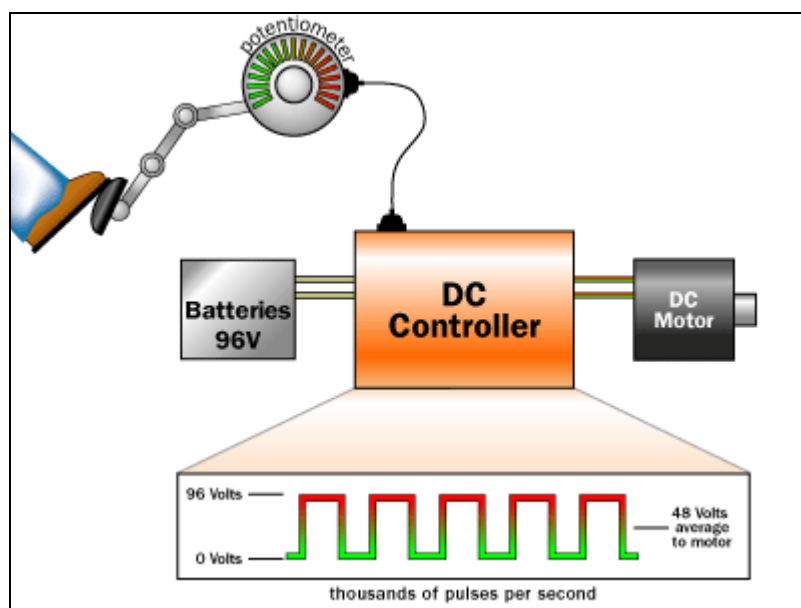
- με ηλεκτροχημικούς συσσωρευτές (συστοιχία μπαταριών)
- με συστοιχία πυκνωτών (ultracapacitors)
- με μηχανικούς συσσωρευτές (βολάν)
- συνδεδεμένα σε δίκτυο (trolley)
- που διαθέτουν σύνδεση με δίκτυο ενώ παράλληλα φέρουν και συσσωρευτές για δυνατότητα απομάκρυνσης από το δίκτυο
- με συσσωρευτές και κινητήρα εσωτερικής καύσης (υβριδικά)
- με φωτοβολταϊκά στοιχεία
- με κυψέλες καυσίμου (fuel cell)

Οι πιο διαδεδομένες μορφές ηλεκτροκίνητου οχήματος είναι τα αμιγώς ηλεκτρικά, που διαθέτουν μόνο μπαταρίες για την αποθήκευση της απαιτούμενης ενέργειας και τα υβριδικά. Παρακάτω φαίνεται η διάταξη ενός αμιγώς ηλεκτροκίνητου οχήματος, ενός υβριδικού και ενός οχήματος με κυψέλες καυσίμου.



Σχημα 3.2

Η ηλεκτρική ενέργεια των μπαταριών μετατρέπεται σε κινητική μέσω ηλεκτροκινητήρα, ο οποίος συνδέεται με τους κινητήριους τροχούς είτε απευθείας, είτε με την παρεμβολή κιβωτίου ταχυτήτων. Υπεύθυνα για την ρύθμιση της ροπής και των στροφών του κινητήρα είναι τα ηλεκτρονικά ισχύος (controller), τα οποία παρεμβάλλονται ενδιάμεσα στον κινητήρα και το πακέτο μπαταριών. Το πετάλι επιτάχυνσης κινεί ένα ποτενσιόμετρο που δίνει εντολή στον controller ο οποίος με τη σειρά του μεταβάλλει την κυματομορφή της τάσης που τροφοδοτεί τον κινητήρα.

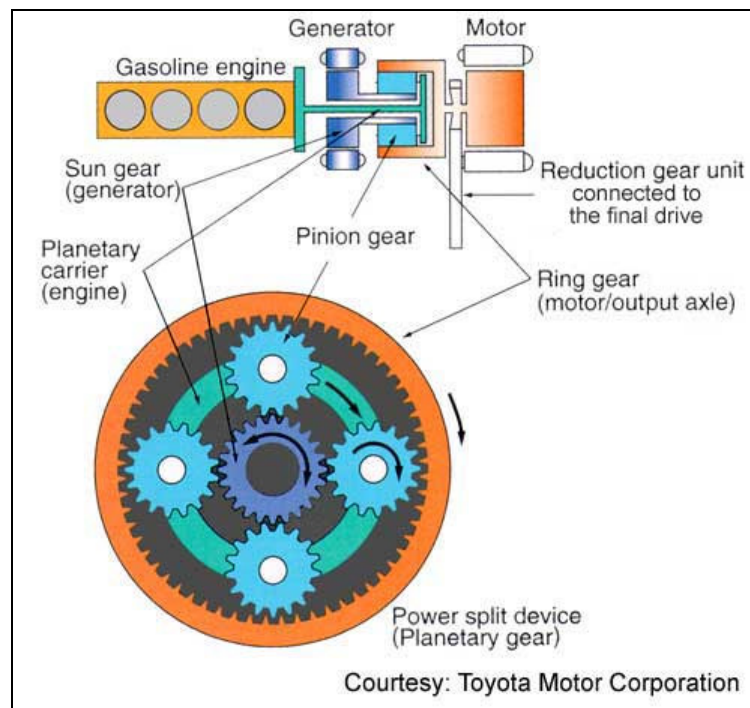


Σχίμα 3.3

Για την φόρτιση των μπαταριών υπάρχουν δύο τρόποι, με αγώγιμη σύνδεση και με επαγωγική σύνδεση. Η πρώτη περίπτωση απαιτεί στεγανή σύνδεση του οχήματος με την πρίζα ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας του χρήστη. Κατά την επαγωγική σύνδεση, ένα ειδικό βίσμα εισάγεται σε μία σχισμή τοποθετημένη επάνω στο όχημα. Το βίσμα περιέχει το ένα τύλιγμα ενός μετασχηματιστή ενώ εντός της σχισμής πάνω στο όχημα βρίσκεται το άλλο τύλιγμα. Όταν το βίσμα εισέρθει στη σχισμή, το μαγνητικό κύκλωμα ολοκληρώνεται μεταφέροντας ενέργεια στις μπαταρίες. Το θετικό της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας αφού δεν υπάρχουν εκτεθειμένοι αγωγοί.

### 3.3 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

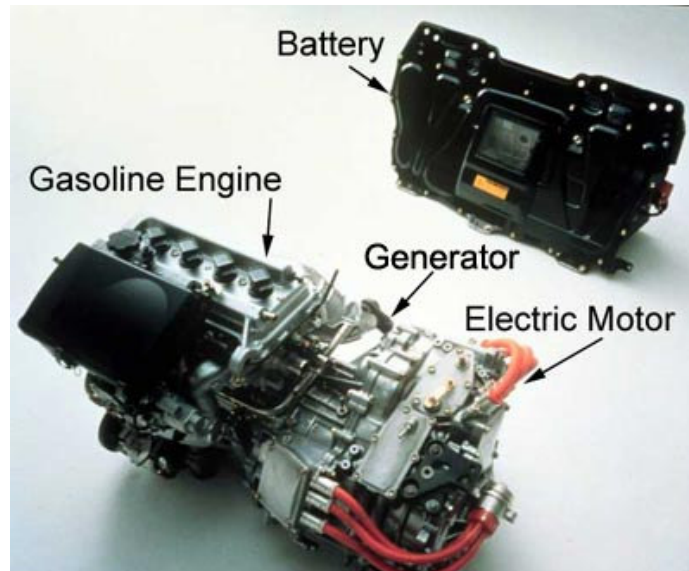
Τα υβριδικά οχήματα κινούνται με την βοήθεια μπαταριών όπου οι απαιτήσεις ισχύος είναι μειωμένες ενώ όταν απαιτείται αυξημένη ισχύ ή στην περίπτωση που η ενέργεια των μπαταριών εξαντληθεί, τίθεται σε λειτουργία ο κινητήρας εσωτερικής καύσης. Ένα υβριδικό όχημα που έχει ήδη βγει στην παραγωγή με ανταγωνιστική τιμή είναι το prius της Toyota. Αποτελείται από ένα βενζινοκινητήρα ισχύος 76 ίππων, ένα ηλεκτροκινητήρα μόνιμου μαγνήτη 68 ίππων και μια γεννήτρια η οποία λειτουργεί ως μίζα κατά την εκκίνηση του βενζινοκινητήρα ενώ παράλληλα ρυθμίζει τις στροφές του πλανητικού κιβωτίου ταχυτήτων μεταβλητής μετάδοσης.



Σχήμα 3.4



Το πλανητικό κιβώτιο συνδέει τον βενζινοκινητήρα με την γεννήτρια και τους τροχούς του οχήματος ενώ ο ηλεκτροκινητήρας συνδέεται και αυτός στην στεφάνη του επικυκλικού μηχανισμού. Κάτω από το πάτωμα πίσω από τα πίσω καθίσματα υπάρχει πακέτο μπαταριών νικελίου υδριδίου μετάλλου τάσης 500 volt.



Σχήμα 3.5

Κατά την εκκίνηση του βενζινοκινητήρα η γεννήτρια λειτουργεί σαν μίζα φέρνοντάς τον στις 1000 rpm. Μέχρι ο κινητήρας να φτάσει τις 1000 στροφές, οι βαλβίδες βρίσκονται σε τέτοια ρύθμιση ώστε να υπάρχει μειωμένη συμπίεση.



Σχήμα 3.6

Ο βενζινοκινητήρας είναι συνδεδεμένος με τους πλανήτες του επικυκλικού μηχανισμού, η γεννήτρια με τον ήλιο και ο ηλεκτροκινητήρας με την στεφάνη. Αν δεν υπάρχει αντίσταση από την γεννήτρια, ο κινητήρας στρέφει τους πλανήτες χωρίς την μεταφορά ισχύος στους τροχούς (όχημα σε νεκρά). Όταν στην γεννήτρια τοποθετηθεί φορτίο, είτε για τροφοδοσία του ηλεκτροκινητήρα είτε για φόρτιση των μπαταριών, ένα ποσοστό της ισχύος μεταφέρεται στους τροχούς και το όχημα κινείται. Με σταθερές τις στροφές του βενζινοκινητήρα, ρυθμίζοντας το φορτίο της γεννήτριας, δημιουργείται ένα κιβώτιο ταχυτήτων μεταβλητού λόγου μετάδοσης και τελικά ρυθμίζονται οι στροφές των κινητήριων τροχών. Για την λειτουργία της όπισθεν, τίθεται σε ισχύ μόνο ο ηλεκτροκινητήρας. Κατά την πέδη, η κινητική ενέργεια που θα αχρηστευόταν στα φρένα μετατρέπεται μέσω της γεννήτριας σε ηλεκτρική κατά ένα ποσοστό και επιστρέφει στις μπαταρίες (regenerative braking). Όταν η απαιτούμενη επιβράδυνση ξεπεράσει την τιμή που μπορεί η γεννήτρια να επιβάλλει με την αντίστασή της, τότε αρχίζουν να λειτουργούν τα φρένα.

### **3.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΩΝ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ**

Οι συσσωρευτές αποτελούν το μεγαλύτερο πρόβλημα του ηλεκτρικού αυτοκινήτου. Έχουν μικρότερη πυκνότητα ενέργειας από αυτή των υγρών καυσίμων, που σημαίνει ότι χρειαζόμαστε ένα μεγάλο αριθμό συσσωρευτών και κατ' επέκταση όγκο και βάρος, προκειμένου να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό επίπεδο αυτονομίας. Μεγάλο βάρος σημαίνει μεγάλη αδρανειακή μάζα, το οποίο με τη σειρά του σημαίνει μειωμένες επιδόσεις τόσο στην επιτάχυνση όσο και στην οδική συμπεριφορά. Ο πιο διαδεδομένος συσσωρευτής μέχρι σήμερα παραμένει ο συσσωρευτής μολύβδου - οξέος, ο οποίος έχει μικρό κόστος κατασκευής, ικανοποιητική χωρητικότητα σε αμπερόρια και μεγάλη διάρκεια ζωής, αλλά και μεγάλο βάρος. Η πυκνότητα ενέργειας των συσσωρευτών μολύβδου είναι περίπου ίση με 40 Wh/kg.

Ένας εξίσου διαδεδομένος τύπος επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι οι μπαταρίες νικελίου καδμίου (NiCd). Χρησιμοποιούν σαν ηλεκτρόδια οξείδιο του νικελίου και κάδμιο. Υπάρχουν δύο τύποι μπαταριών NiCd, οι κλειστού τύπου (sealed) και οι ανοιχτού τύπου (vented). Οι κλειστού τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανεξάρτητα κύτταρα ή να συνθέσουν ένα μεγαλύτερο πακέτο από δύο ή περισσότερα κύτταρα. Η ονομαστική τάση κάθε κυττάρου είναι 1,2 volt. Συγκριτικά με άλλου τύπου μπαταρίες, οι νικελίου καδμίου αντέχονται μεγάλους ρυθμούς αποφόρτισης για αρκετό χρόνο, ενώ δεν δημιουργείται πρόβλημα αν αποθηκευτούν για μεγάλο χρονικό διάστημα πλήρως αποφορτισμένες. Κατά την φόρτισή τους, παρέχεται μεγαλύτερη ενέργεια από την πραγματική τους χωρητικότητα ώστε να αντισταθμίσει τις

απώλειες της φόρτισης, με την ταχυφόρτιση να είναι πιο αποδοτική. Όταν δεν είναι σε χρήση, χάνουν 10 % της ενέργειάς τους κάθε μήνα σε θερμοκρασία 20° C, με το ποσοστό να φτάνει ακόμα και το 20% σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Κατά την αποσύνθεση των μπαταριών απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή καθώς το κάδμιο είναι τοξικό βαρύ μέταλλο. Έχουν πυκνότητα ενέργειας και ισχύος 60-100 Wh/kg και 150 W/kg αντίστοιχα ενώ η διάρκεια ζωής τους είναι 2000 φορτίσεις.

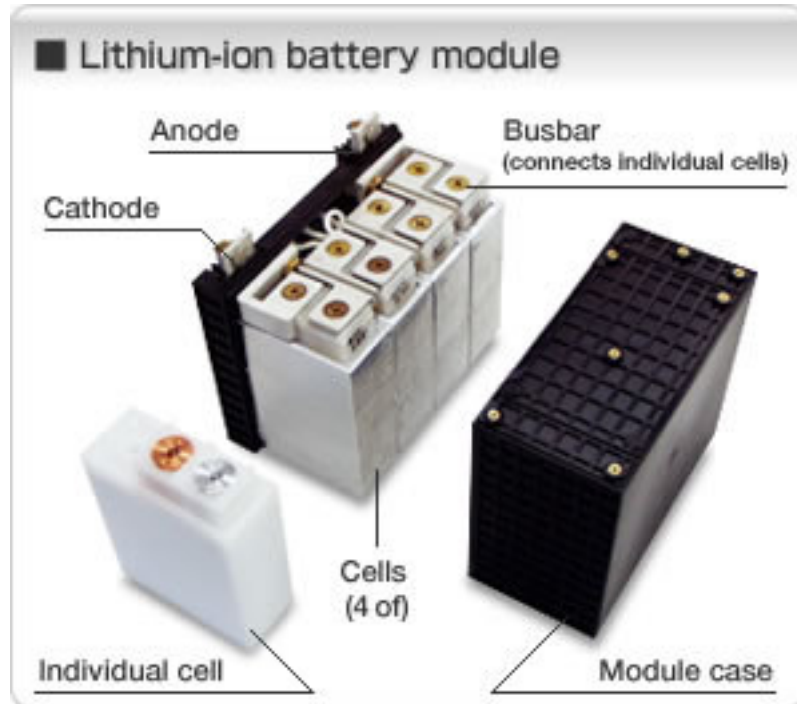


Σχήμα 3.7

Παρόμοια με την NiCd είναι και η μπαταρία νικελίου – υδριδίου μετάλλου (NiMH) με τη διαφορά ότι χρησιμοποιεί υδρογόνο στην άνοδο αντί για κάδμιο. Οι μπαταρίες υδριδίου μετάλλου μπορούν να έχουν έως και τριπλάσια χωρητικότητα από μία αντίστοιχη νικελίου καδμίου πετυχαίνοντας πυκνότητα ενέργειας και ισχύος 100–180 Wh/kg και 250–1000 W/kg αντίστοιχα. Το υβριδικό Prius της Toyota χρησιμοποιεί τέτοιου τύπου μπαταρίες ενώ χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορων ειδών ηλεκτρονικές εφαρμογές. Σε στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή ώστε κανένα από τα στοιχεία να μην αποφορτιστεί πλήρως καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της αντιστροφής της πολικότητάς του. Κατά την αποθήκευση των μπαταριών, αυτές χάνουν το 5 με 10 % της αρχικής τους ενέργειας την πρώτη μέρα ενώ μετά ο ρυθμός σταθεροποιείται σε 0,5 με 1 % κάθε μέρα σε θερμοκρασία 25 ° C. Λόγω της χαμηλής εσωτερικής αντίστασης των κυττάρων NiMH, μπορούν να δίνουν σχεδόν σταθερή τάση μέχρι να αποφορτιστούν πλήρως. Όσο αφορά το περιβάλλον, οι μπαταρίες υδριδίου μετάλλου είναι λιγότερο επιβλαβείς από τις νικελίου καδμίου κατά την αποσύνθεσή τους. Ο χρόνος ζωής τους είναι 500 με 1000 φορτίσεις.

Η καλύτερη πυκνότητα ενέργειας έχει επιτευχθεί με τις μπαταρίες λιθίου ιόντων και τις λιθίου πολυμερούς, που αποτελούν εξέλιξη των πρώτων. Μια συμβατική μπαταρία ιόντων λιθίου αποτελείται από τα ακόλουθα στρώματα: ένα συλλέκτη ρεύματος - ηλεκτρόδιο αλουμινίου, μια άνοδος από γραφίτη, το στρώμα SEI (ένα στρώμα που εμβαπτίζεται στα άλατα λιθίου και που ενεργεί ως ηλεκτρολύτης διευκολύνοντας την ανταλλαγή των ιόντων), την κάθοδο και ένα συλλέκτη από χαλκό. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι, η συμβατική μπαταρία ιόντων λιθίου χρειάζεται από δύο έως έξι ώρες για την

επαναφόρτισή της, η πυκνότητα ισχύος της είναι περίπου 4.000 W/kg, η πυκνότητα ενέργειας 130 -200 Wh/kg ενώ λειτουργεί μέσα σε μια περιοχή θερμοκρασιών από 0°C μέχρι 40°C.



**Σχήμα 3.8**

Η τάση των στοιχείων λιθίου πολυμερούς κυμαίνεται από 2,7 V (ξεφόρτιστο) μέχρι περίπου 4,2 V (πλήρως φορτισμένο), και τα στοιχεία πρέπει να προστατεύονται από υπερφόρτιση καθώς υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης τους. Εκτός από την μεγάλη πυκνότητα ενέργειας που διαθέτουν, ένα μεγάλο πλεονέκτημα των μπαταριών αυτών είναι ότι μπορούν να κατασκευαστούν σε ότι σχήμα απαιτείται.

Ο παρακάτω πίνακας δίνει τα χαρακτηριστικά διαφόρων συσσωρευτών όπως αυτά μετρήθηκαν εργαστηριακά.



Battery Description			Initial Module		Specific Energy (Wh/kg)	Volumetric Density (Wh/kg)	Peak Coulombic (%)	Efficiency		Life (cycles)
Technology	Manufacturer	Model	Weight (kg)	Capacity (Ah)				Power (W/kg)	Energy (%)	
Sodium/Sulfur	ABB	B-11	253	238	81	83	152	100	91	592
	CSPL	PB-MK3	29.2	292	79	123	90	100	88	795
Lithium/Monosulfide	SAFT of America	Prismatic	2.94	203	66	133	64	95	81	163
Zinc/Bromine	SEA	ZBB-5/48	81	126	79	56	40	93	75	334
Nickel/Zinc	Electrochemica	R&D Cell	1.69	60	67	142	105	91	77	114
Nickel/Metal Hydride	Ovonics	C-cell	0.081	3.6	54	186	158	92	80	333
	Ovonics	Ext. C-cell	0.093	4.5	57	209	105	90	74	108
	Ovonics	II-Cell	0.628	28.0	55	152	175	90	80	380
Nickel/Cadmium	SAFT	STM5-200	24.5	214	55	104	175	90	78	>900
Nickel/Iron	Eagle-Picher	NIF200	25	203	51	118	99	74	58	918
Lead-Acid	Sonnenschein	6V160	31.5	184	36	92	91	94	84	370
	CEVS	JET205	32.8	185	33	78	68	87	68	149

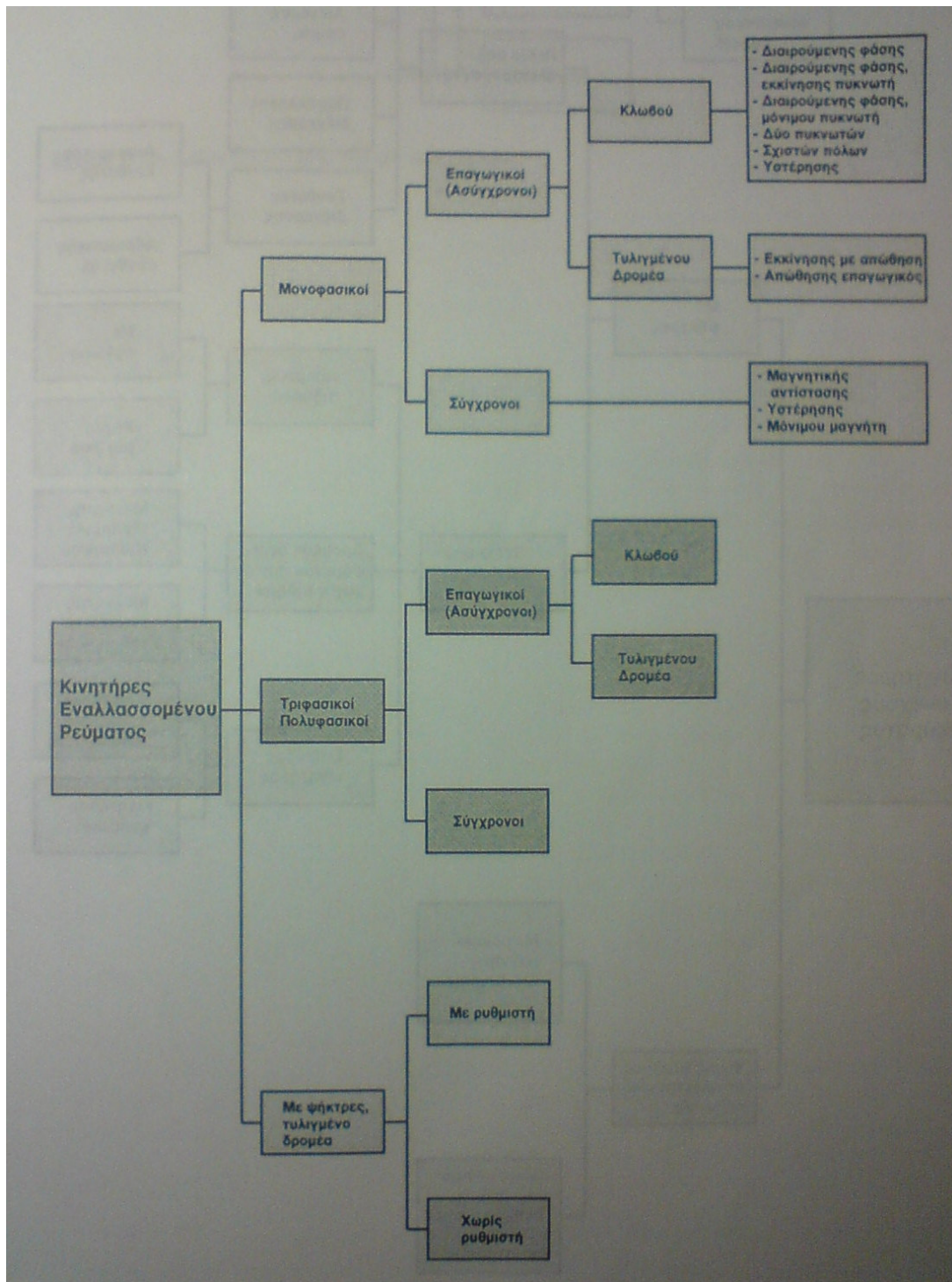
Σχήμα 3.9

### 3.5 ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ – ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ

Οι ηλεκτροκινητήρες συγκριτικά με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα ισχύος, με βάρος μόλις 0,15 kg/Kw έναντι 3,5 kg/Kw των ΜΕΚ.

Πέρα από τη διάκριση σε γραμμικούς (γραμμική μετατόπιση δρομέα) και περιστροφικούς κινητήρες (περιστροφική μετατόπιση δρομέα), διακρίνουμε τους κινητήρες κατ' αρχήν με βάση την τροφοδοσία τους, σε κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ), συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) και βηματικούς κινητήρες (όπου η τροφοδοσία είναι αποκλειστικά ηλεκτρονική).

Οι κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος κατατάσσονται σε μονοφασικούς (τροφοδοσία από μία φάση), τριφασικούς (τροφοδοσία από τρεις φάσεις) και κινητήρες με ψήκτρες ή ΕΡ σειράς (universal motors). Οι δύο πρώτες κατηγορίες χωρίζονται στους επαγωγικούς (όπου τα ρεύματα του δρομέα παράγονται με επαγωγή) και στους σύγχρονους κινητήρες (όπου ο δρομέας περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη της συχνότητας τροφοδοσίας). Οι επαγωγικοί κινητήρες μπορούν να διακριθούν με βάση το είδος του δρομέα τους σε δρομείς κλωβού (squirrel cage, χωρίς τύλιγμα), ή σε τυλιγμένους δρομείς (wound rotor).



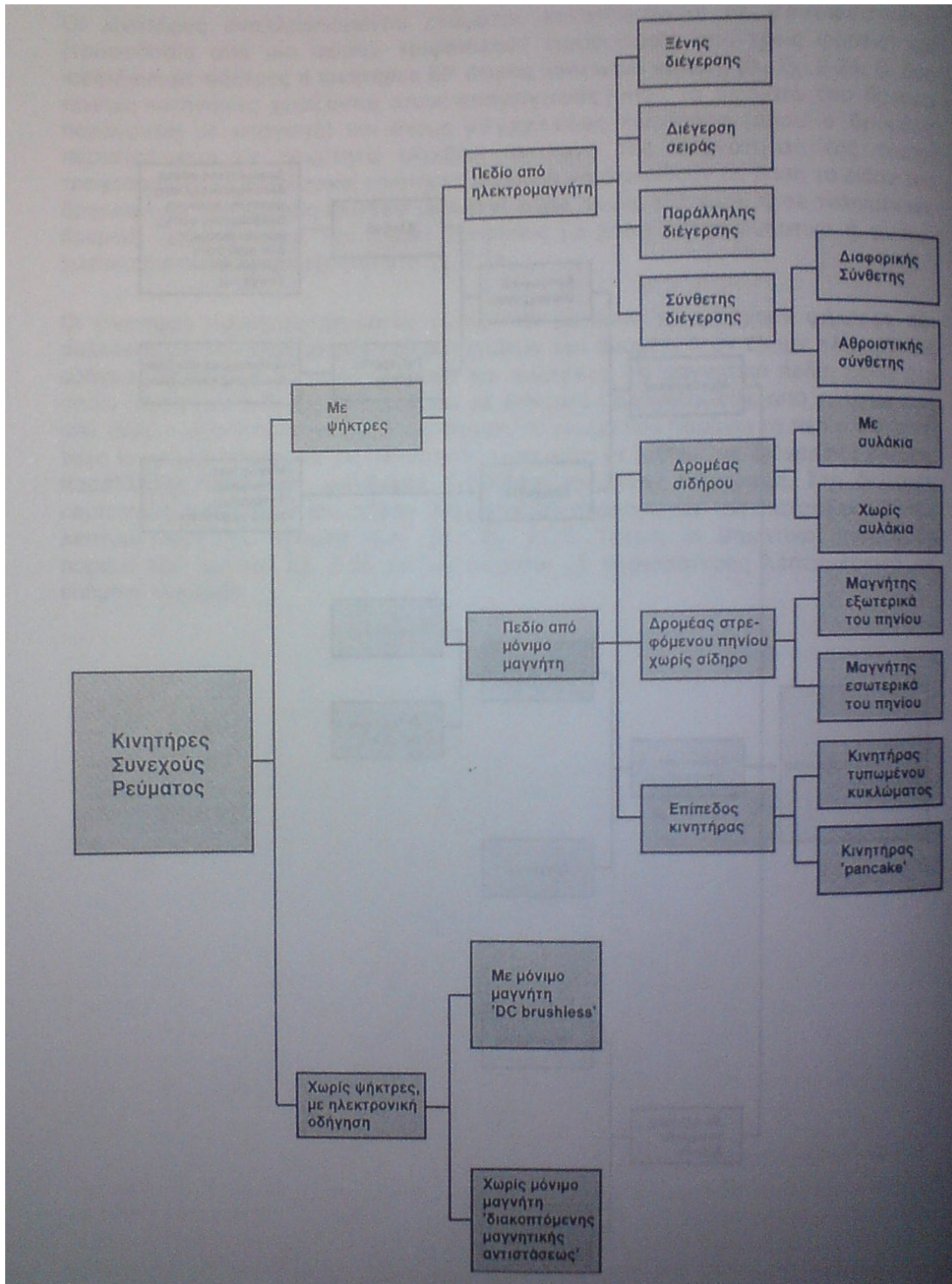
**Σχημα 3.10**

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίζονται με βάση το αν έχουν ψήκτρες και συλλέκτη για την τροφοδοσία των τυλιγμάτων του δρομέα, ή αν έχουν ηλεκτρονική οδήγηση που παίζει το ρόλο ψηκτρών και συλλέκτη. Το μαγνητικό πεδίο μέσα στο οποίο στρέφεται ο δρομέας κινητήρων με ψήκτρες παράγεται είτε από τύλιγμα είτε από μόνιμο μαγνήτη. Στην πρώτη περίπτωση, το ρεύμα που παράγει το πεδίο διακρίνει τους κινητήρες όπως και

τις γεννήτριες συνεχούς ρεύματος σε διέγερσης σειράς, παράλληλης διέγερσης, σύνθετης διέγερσης και ξένης διέγερσης.

Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος μετατρέπουν ηλεκτρική ισχύ σε μορφή συνεχούς τάσης και ρεύματος σε μηχανική ισχύ. Η ρύθμιση των στροφών τους μπορεί να γίνει με μεγάλη ευκολία ενώ έχουν την δυνατότητα μεταβολής της χαρακτηριστικής ροπής-στροφών σε σχεδόν οποιαδήποτε μορφή και με μεγάλο συντελεστή απόδοσης. Μπορούν να εφαρμόζουν ροπή μέχρι και πέντε φορές μεγαλύτερη της ονομαστικής τους με την προϋπόθεση ότι η απαιτούμενη ισχύς είναι διαθέσιμη, σε αντίθεση με τους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος που τείνουν να σταματούν όταν η ανάγκη για ροπή υπερβαίνει ένα όριο. Έχουν ευκολία αλλαγής της φοράς περιστροφής τους και δυνατότητα τροφοδοσίας από συσσωρευτές, χαρακτηριστικό πολύ χρήσιμο όπου δεν υπάρχει ισχύς δικτύου.

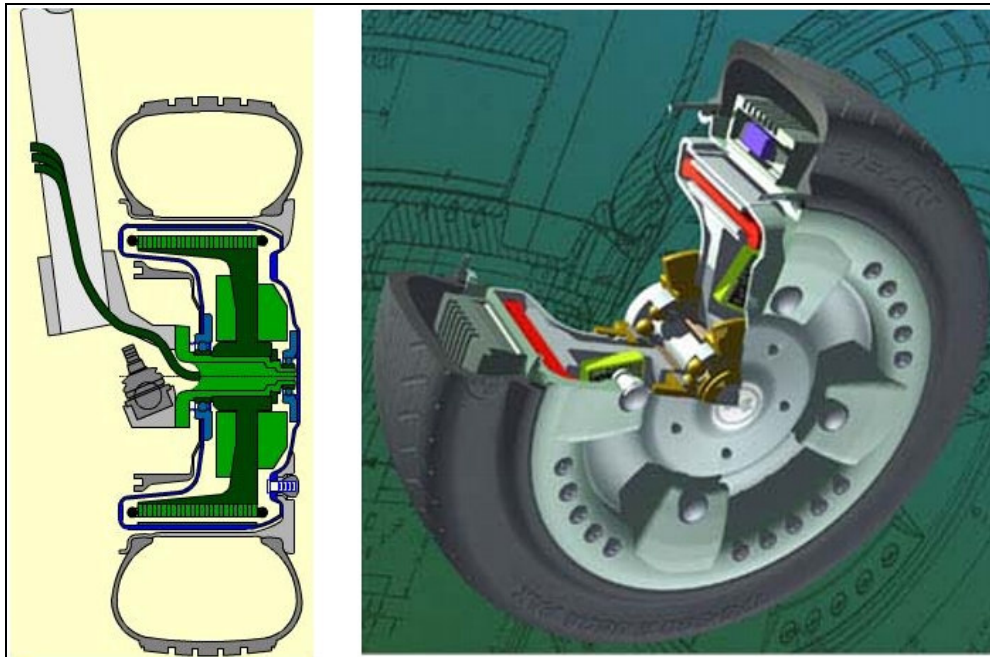




**Σχημα 3.11**

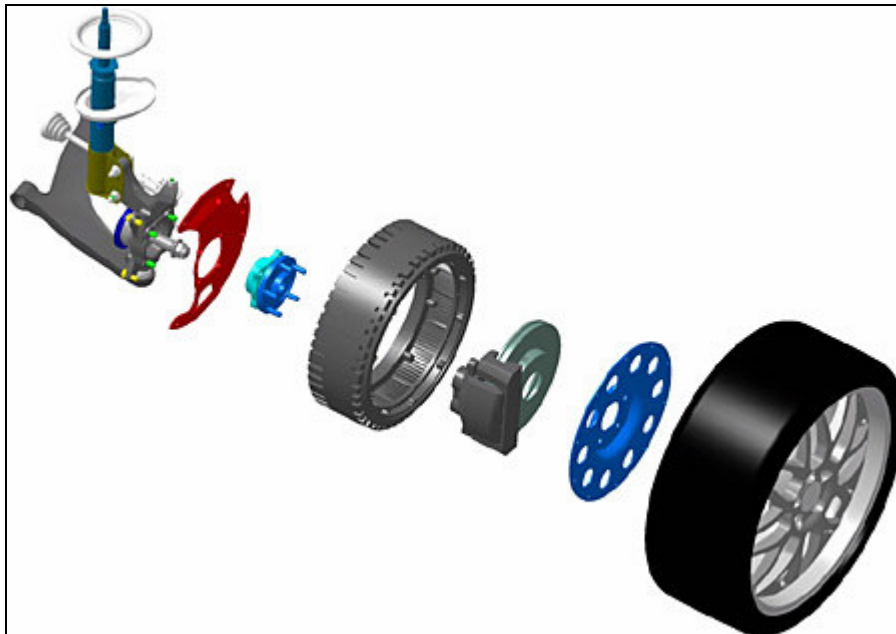
Μια ειδική κατασκευαστική διαμόρφωση ηλεκτροκινητήρων που τοποθετούνται εντός της κοιλότητας του τροχού έχει άμεση εφαρμογή σε οχήματα (hub motor ή in wheel motor). Είναι ιδιαίτερα διαδεδομένοι λόγω της οικονομίας χώρου ενώ έχουν εξελιχθεί σε τέτοιο επίπεδο που να καταφέρνουν να έχουν ισχύ 120 Kw με βάρους μόλις 18 Kg.





**Σχημα 3.12**

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατασκευαστική διαμόρφωση κινητήρα hub από πειραματικό μοντέλο της Mitsubishi.



**Σχημα 3.13**



**Σχημα 3.14**

Το σύστημα ελέγχου (controller) του κινητήρα αποτελεί βασικό κομμάτι ενός συστήματος ηλεκτρικής κίνησης, αφού είναι εκείνο που θα φέρει την παρεχόμενη από τις μπαταρίες, ηλεκτρική ενέργεια στη μορφή που χρειάζεται για τη λειτουργία του κινητήρα. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να ελέγχουμε τη ροπή του ηλεκτροκινητήρα κατά βούληση, πιέζοντας το πεντάλ του γκαζιού. Σε ένα ηλεκτροκίνητο όχημα απουσιάζει το κιβώτιο ταχυτήτων και ο συμπλέκτης που το κάνουν πολύ ευκολοδήγητο. Να τονίσουμε ότι το κιβώτιο ταχυτήτων στους θερμικούς κινητήρες υπάρχει για να καλύψει τις ατέλειές τους (ανομοιόμορφη κατανομή ροπής) και να προσαρμόσει τη ροπή του κινητήρα ανάλογα με τις συνθήκες (ανηφόρα, εκκίνηση κ.λπ.). Ένα τέτοιο σύστημα δεν είναι απαραίτητο στον ηλεκτροκινητήρα, διότι το μεγαλύτερο ποσοστό της ροπής είναι διαθέσιμο ήδη από 0 στροφές ανά λεπτό. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειαζόμαστε συμπλέκτη, ο οποίος αναλαμβάνει να φέρει τον κινητήρα σε τέτοιες στροφές ώστε να έχει ανεκτή ροπή για να ξεκινήσει το όχημα. Σε ένα πιο πολύπλοκο σύστημα ελέγχου μπορούμε να έχουμε περισσότερους από έναν κινητήρες, εκ των οποίων ο καθένας να κινεί έναν τροχό. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται ένα είδος ηλεκτρικού διαφορικού στο οποίο κάθε κινητήρας περιστρέφεται ανεξάρτητα, όπως ορίζεται από το σύστημα διεύθυνσης. Επειδή τα ηλεκτρονικά ισχύος διαχειρίζονται μεγάλα ρεύματα και συνεπώς θερμαίνονται, πολλές φορές απαιτούν αερόψυξη ή ακόμα και ειδικό κύκλωμα υδρόψυξης.

### 3.6 ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (FUEL CELL)

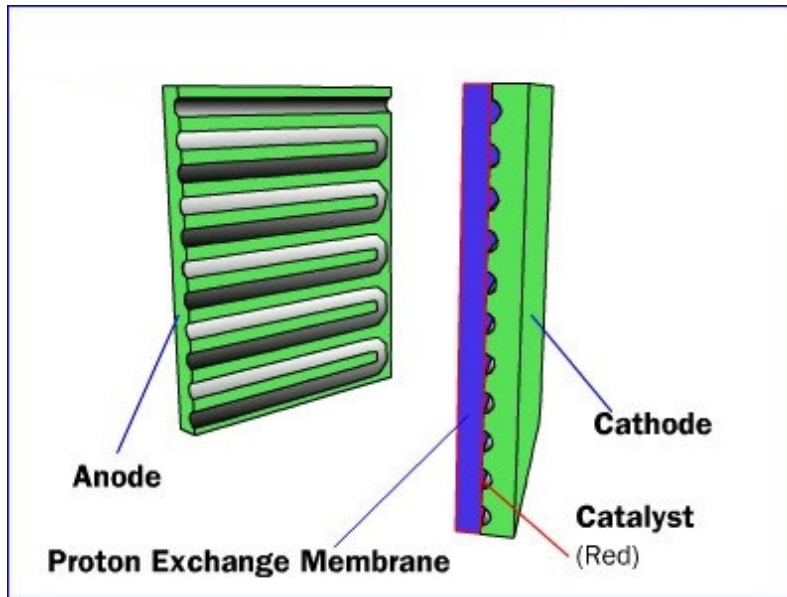
Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου, και η έρευνα για τη βελτίωση της αποδόσεών της γίνεται κυρίως σε αυτόν τον τομέα, τομέας εξ ορισμού μελετώμενος στην κλίμακα του νανομέτρου.



Σχημα 3.15

Η κυψέλη καυσίμου αποτελεί ένα μηχανισμό για την ηλεκτροχημική μετατροπή της ενέργειας μετατρέποντας υδρογόνο και οξυγόνο σε νερό, παράγοντας ταυτόχρονα με τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο ηλεκτρισμός παράγεται με τη μορφή συνεχούς ρεύματος.

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να ταξινομηθούν βάσει του τύπου του ηλεκτρολύτη τον οποίο χρησιμοποιούν. Το πιο γνωστό είδος είναι η κυψέλη καυσίμου με μεμβράνη ανταλλαγής πρωτονίου ( PEM ). Αυτές οι κυψέλες (κυψέλες καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίων, proton exchange membrane fuel cells , PEM ) λειτουργούν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και παράγουν ισχύ αρκετή για την εφαρμογή τους για την ικανοποίηση καθημερινών ενεργειακών αναγκών, όπως αυτή για την κίνηση ενός οχήματος. Σε αυτό βοηθά η ικανότητα τους να προσαρμόζονται σε γρήγορες αυξομειώσεις στην απαίτηση ισχύος. Η ισχύς που παράγει μια τέτοια κυψέλη κυμαίνεται μεταξύ των 50 και 250 kW ενώ έχει επιτευχθεί πυκνότητα ισχύος μέχρι και 0,94 Kw/kg , 1,6 Kw/lt. Ο συγκεκριμένος τύπος κυψέλης είναι αρκετά ευαίσθητος σε μη καθαρά καύσιμα.



Σχήμα 3.16

Δύο ηλεκτρόδια διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη. Το υδρογόνο τροφοδοτεί την άνοδο της κυψέλης, το αρνητικό ηλεκτρόδιο, το οποίο ερχόμενο σε επαφή με τον καταλύτη διαχωρίζεται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου και ηλεκτρόνια. Η άνοδος και ο καταλύτης είναι τέτοιας κατασκευής ώστε η διάχυση των ατόμων του υδρογόνου να γίνεται με ομογενή τρόπο. Τα ηλεκτρόνια τα οποία απελευθερώθηκαν μεταφέρονται μέσω εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την άνοδο δημιουργώντας ηλεκτρισμό αφού η μεμβράνη αποτρέπει τη διέλευση τους μέσω αυτής. Για αυτό το λόγο άνοδος και καταλύτης διαλέγονται αγωγικά υλικά. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα του υδρογόνου (στην ουσία αναφερόμαστε σε μεμονωμένα πρωτόνια) διαπερνούν τη μεμβράνη και ενώνονται με το οξυγόνο το οποίο τροφοδοτεί την κάθοδο, το θετικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο, και παράγεται νερό. Όπως και πριν, την ομογενή διάχυση του οξυγόνου στον καταλύτη εξασφαλίζει η κατασκευή του ηλεκτροδίου. Ο καταλύτης αναλαμβάνει την επιτάχυνση της δημιουργίας του νερού από τα συστατικά του. Στο σχηματισμό του νερού συμμετέχουν εκτός των μορίων του οξυγόνου και των ιόντων του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια τα οποία διοχετεύτηκαν μέσω του εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος στην κάθοδο, στην αρχή της διαδικασίας.

Τα δύο στρώματα (στηριζόμενου) καταλύτη χρησιμεύουν στην αύξηση της ταχύτητας των αντιδράσεων διάσπασης του μορίου του υδρογόνου και της ένωσης υδρογόνου οξυγόνου για τη δημιουργία νερού, στην άνοδο και στην κάθοδο αντίστοιχα. Συνήθως αποτελείται από ένα πολύ λεπτό στρώμα λευκόχρυσου (Pt) πάνω σε επιφάνεια άνθρακα. Το στρώμα αυτό είναι και το μέρος του καταλύτη το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τη μεμβράνη. Ο

καταλύτης είναι τραχύς και πορώδης ώστε να μεγιστοποιείται η εκτεθειμένη επιφάνειά του.

Για την αποθήκευση του υδρογόνου χρησιμοποιούνται δεξαμενές υψηλής πίεσης με εσωτερική επίστρωση ώστε να μην διαφεύγει το μόριο του υδρογόνου. Γενικά το υδρογόνο έχει καλή πυκνότητα ενέργειας κατά βάρος, αλλά χαμηλή κατά όγκο, που σημαίνει ότι απαιτείται μεγάλη δεξαμενή για την αποθήκευσή του. Με αύξηση της πίεσης του αερίου επιτυγχάνεται βελτίωση της πυκνότητας ενέργειας κατά όγκο, με το πρόβλημα ότι η συμπίεση απαιτεί ενέργεια. Εναλλακτικά, η αποθήκευση μπορεί να γίνει σε υγρή μορφή και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες με σημαντικό πρόβλημα τις απώλειες ενέργειας για την υγροποίηση.

Σχετικά με την αποθήκευση του υδρογόνου, από διάφορες ερευνητικές ομάδες έχουν τεθεί οι στόχοι που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα

Storage Parameter	2005	2010	2015
Gravimetric Capacity (Specific energy)	1.5 kWh/kg 0.045 kg H <sub>2</sub> /kg	2.0 kWh/kg 0.060 kg H <sub>2</sub> /kg	3.0 kWh/kg 0.090 kg H <sub>2</sub> /kg
<b>System Weight:</b>	<b>111 Kg</b>	<b>83 Kg</b>	<b>55.6 Kg</b>
Volumetric Capacity (Energy density)	1.2 kWh/L 0.036 kg H <sub>2</sub> /L	1.5 kWh/L 0.045 kg H <sub>2</sub> /L	2.7 kWh/L 0.081 kg H <sub>2</sub> /L
<b>System Volume:</b>	<b>139 L</b>	<b>111 L</b>	<b>62 L</b>
Storage system cost	\$6 /kWh	\$4 /kWh	\$2 /kWh
<b>System Cost:</b>	<b>\$1000</b>	<b>\$666</b>	<b>\$333</b>
Refueling rate	.5 Kg H <sub>2</sub> /min	1.5 Kg H <sub>2</sub> /min	2.0 Kg H <sub>2</sub> /min
<b>Refueling Time:</b>	<b>10 min</b>	<b>3.3 min</b>	<b>2.5 min</b>

Σχήμα 3.17

Ενας άλλος τρόπος για την τροφοδότηση της ενεργειακής κυψέλης με υδρογόνο είναι η επί τόπου παραγωγή του από βορυδρίδιο του νατρίου. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Το βορυδρίδιο του νατρίου θα πωλείται υπό την μορφή στερεού που όταν διαλυθεί σε νερό παράγει υδρογόνο. Έτσι αντί για δεξαμενή υδρογόνου, θα υπάρχει δεξαμενή νερού στην οποία θα διαλύεται το βορυδρίδιο του νατρίου.



### 3.7 ΠΥΚΝΩΤΕΣ ( ULTRACAPACITORS )

Πυκνωτής ονομάζεται ένα σύστημα δύο γειτονικών αγωγών ανάμεσα στους οποίους παρεμβάλλεται μονωτικό υλικό. Αυτό το μονωτικό υλικό μπορεί να είναι αέρας, πλαστικό, μίκα κ.α. Οι δύο αγωγοί ονομάζονται οπλισμοί του πυκνωτή, ενώ το παρεμβαλλόμενο υλικό διηλεκτρικό του. Βασικό χαρακτηριστικό κάθε πυκνωτή είναι η ιδιότητά του να αποθηκεύει ηλεκτρικό φορτίο, επομένως ηλεκτρική ενέργεια. Όταν ένας πυκνωτής είναι φορτισμένος, οι οπλισμοί του έχουν ηλεκτρικά φορτία κατά μέτρο ίσα και αντίθετα. Ονομάζουμε φορτίο του πυκνωτή το φορτίο του θετικά φορτισμένου οπλισμού του.

Ειδική κατηγορία πυκνωτών αποτελούν οι supercapacitors και οι ultracapacitors, οι οποίοι έχουν πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας σε σύγκριση με τους συμβατικούς πυκνωτές, χαρακτηριστικό που τους κάνει κατάλληλους για χρήση σε ηλεκτροκίνητα οχήματα. Μπορούν είτε να χρησιμοποιηθούν σαν συμπληρωματική αποθήκη ενέργειας είτε να υποβοηθούν τις μπαταρίες σε στιγμιαίες απαιτήσεις για μεγάλη ισχύ.



Σημα 3.18

Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι μπορούν να φορτίζονται σε ελάχιστα δευτερόλεπτα ενώ κατά την αποφόρτισή τους μπορούν να δίνουν υψηλές τιμές ρεύματος της τάξης των 1000 αμπερ όταν συνδιάζονται σε συστοιχίες.

Λόγω της ικανότητας για ταχεία φόρτιση, οι ultracapacitors είναι ιδανικοί σε ηλεκτροκίνητα οχήματα για να συσσωρεύουν την ενέργεια από την αναγεννητική πέδηση. Η περίπτωση να αντικαταστήσουν πλήρως τις συμβατικές μπαταρίες στα οχήματα βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο.

## 4. ΔΙΑΘΕΣΙΜΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Υπάρχει μία πολύ μεγάλη ποικιλία διαθέσιμων υλικών που ένας μηχανικός έχει στη διάθεσή του για σχεδιασμό και κατασκευή προϊόντων για ποικίλες εφαρμογές. Έτσι, έχουμε από συνήθη υλικά (σίδηρος, χαλκός, κ.λ.π.) που χρησιμοποιούνται εκατοντάδες χρόνια μέχρι προηγμένα υλικά τελευταίας τεχνολογίας όπως σύνθετα, κεραμικά κ.λπ. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των διαθέσιμων υλικών, είναι μια μεγάλη πρόκληση για τον μηχανικό να κάνει την σωστή επιλογή υλικών και μεθόδου καταργασίας, ανάλογα με τις εκάστοτε τεχνοοικονομικές απαιτήσεις της κατασκευής.

Τα υλικά ανάλογα με τις βασικές τους ιδιότητες μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

- Μεταλλικά
- Πλαστικά
- Κεραμικά
- Σύνθετα

Κάθε κατηγορία περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία υλικών με ένα μεγάλο εύρος ιδιοτήτων που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι παρόμοιες με τις ιδιότητες υλικών άλλης κατηγορίας. Γενικά τα μέταλλα τείνουν να αλλάζουν την μικροδομή τους σε μεγάλες θερμοκρασίες με συνέπεια την υποβάθμιση των ιδιοτήτων τους. Ο παρακάτω πίνακας δίνει μία συνοπτική παρουσίαση διαφόρων υλικών που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες κατασκευές. Η μέγιστη θερμοκρασία που αναγράφεται στον πίνακα είναι αυτή στην οποία τα υλικά διατηρούν τις τιμές αντοχής και μέτρου ελαστικότητας τουλάχιστον σε ποσοστό 90% από την αρχική τους τιμή.

Typical Properties of Some Engineering Materials						
Material	Density ( $\rho$ ) (g/cc)	Tensile Modulus (E) (GPa)	Tensile Strength ( $\sigma$ ) (GPa)	Specific Modulus (E/ $\rho$ )	Specific Strength ( $\sigma/\rho$ )	Max. Service Temp. (°C)
<b>Metals</b>						
Cast iron, grade 20	7.0	100	0.14	14.3	0.02	230–300
Steel, AISI 1045 hot rolled	7.8	205	0.57	26.3	0.073	500–650
Aluminum 2024-T4	2.7	73	0.45	27.0	0.17	150–250
Aluminum 6061-T6	2.7	69	0.27	25.5	0.10	150–250
<b>Plastics</b>						
Nylon 6/6	1.15	2.9	0.082	2.52	0.071	75–100
Polypropylene	0.9	1.4	0.033	1.55	0.037	50–80
Epoxy	1.25	3.5	0.069	2.8	0.055	80–215
Phenolic	1.35	3.0	0.006	2.22	0.004	70–120
<b>Ceramics</b>						
Alumina	3.8	350	0.17	92.1	0.045	1425–1540
MgO	3.6	205	0.06	56.9	0.017	900–1000
<b>Short fiber composites</b>						
Glass-filled epoxy (35%)	1.90	25	0.30	8.26	0.16	80–200
Glass-filled polyester (35%)	2.00	15.7	0.13	7.25	0.065	80–125
Glass-filled nylon (35%)	1.62	14.5	0.20	8.95	0.12	75–110
Glass-filled nylon (60%)	1.95	21.8	0.29	11.18	0.149	75–110
<b>Unidirectional composites</b>						
S-glass/epoxy (45%)	1.81	39.5	0.87	21.8	0.48	80–215
Carbon/epoxy (61%)	1.59	142	1.73	89.3	1.08	80–215
Kevlar/epoxy (53%)	1.35	63.6	1.1	47.1	0.81	80–215

Σχήμα 4.1

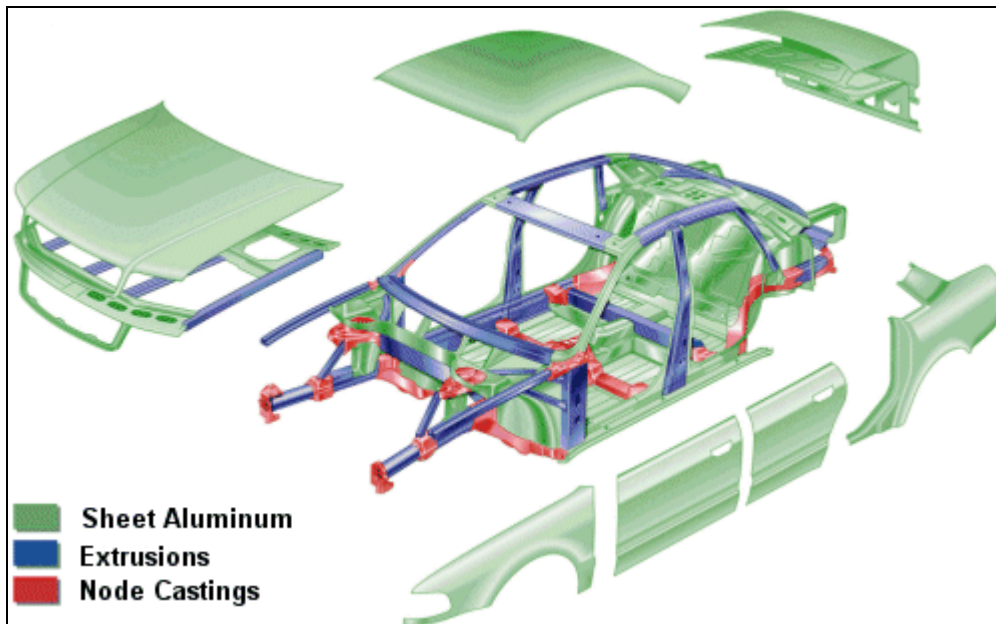
## 4.2 ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Τα μέταλλα στο παρελθόν ήταν τα κυρίαρχα υλικά στις κατασκευές. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είναι ο σίδηρος, το αλουμίνιο, ο χαλκός, το μαγνήσιο, ο ψευδάργυρος, το νικέλιο και το τιτάνιο. Στις κατασκευαστικές εφαρμογές τα κράμματα των μετάλλων χρησιμοποιούνται πιο συχνά από τα καθαρά μέταλλα λόγω των βελτιωμένων ιδιοτήτων τους. Γενικά τα μέταλλα απαιτούν αρκετά στάδια κατεργασίας μέχρι να έρθουν στην τελική τους μορφή.

Στην αυτοκινητοβιομηχανία, τα περισσότερα μοντέλα παραγωγής είναι κατασκευασμένα από μέταλλα, σε ότι αφορά τα δομικά τους στοιχεία. Στα συμβατικά μοντέλα, το σασί αποτελείται από επίπεδα φύλλα λαμαρίνας σφυρηλατημένα και κολλημένα με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργούν την καμπίνα των επιβατών και τις θέσεις στήριξης των διαφόρων μερών του



οχήματος. Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει την κατασκευή του σασί ενός Audi εξ' ολοκλήρου από φύλλα αλουμινίου.

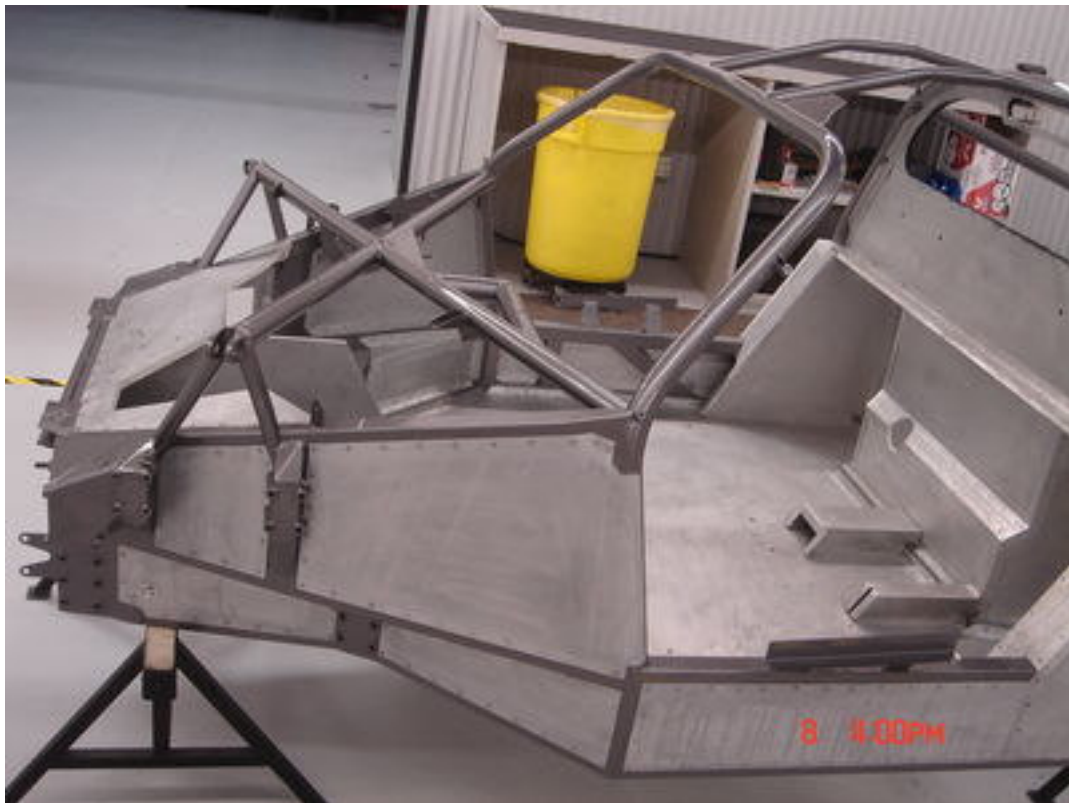


Σχήμα 4.2

Σε κατασκευές υψηλότερων απαιτήσεων και προδιαγραφών το σασί αποτελεί χωροδικτύωμα κατασκευασμένο από μπάρες (συνήθως κυκλικής διατομής) συγκολλημένες με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα προστατευτικό “κλουβί” που δημιουργεί τον χώρο των επιβατών. Στην συνέχεια τοποθετούνται μεταλλικές ή πλαστικές επιφάνειες ώστε να στεγανοποιήσουν το εσωτερικό και τέλος το αμάξωμα. Παρακάτω φαίνεται το σασί του saleen s7, όχημα αγωνιστικών επιδόσεων. Στο σχήμα 4.3 διακρίνουμε το χωροδικτύωμα που αποτελεί το σασί ενώ στο επόμενο σχήμα το σασί αρχίζει να κλείνει με τμήματα από αλουμίνιο (panel). Στο σχήμα 4.5 φαίνεται το αμάξωμα με χρώμα μαύρο που είναι αυτό που δίνει την τελική μορφή στο όχημα.



Σχήμα 4.3



Σχήμα 4.4



**Σχήμα 4.5**

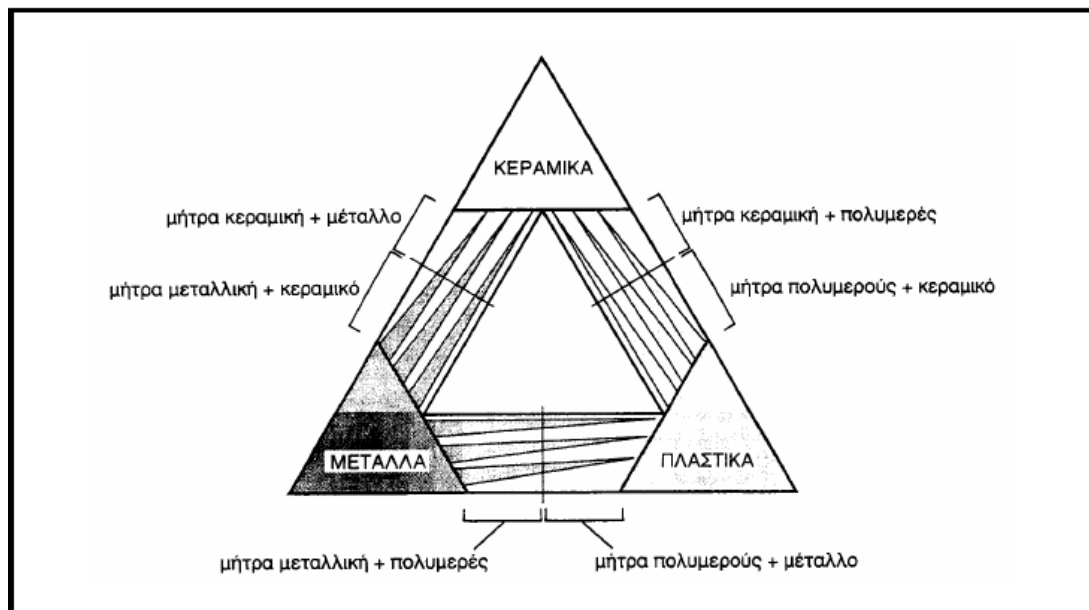
Με αυτού του είδους τις κατασκευές επιτυγχάνεται πολύ καλή σχέση ακαμψίας – βάρους. Σε κατασκευές όπου απαιτείται ακόμα καλύτερη σχέση ακαμψίας – βάρους το σασί κατασκευάζεται από σύνθετα υλικά, με σημαντική, όμως, αύξηση του κόστους.

### **4.3 ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ**

#### **4.3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Για ένα σύστημα ο όρος “σύνθετο” σημαίνει ότι τούτο αποτελείται από δύο ή περισσότερα διακριτά μέρη. Από γενική άποψη, λοιπόν, ένα υλικό αποτελούμενο από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά ή φάσεις, μπορεί να χαρακτηριστεί ως σύνθετο υλικό (composite material). Πιο ειδικά, σήμερα, ως σύνθετα αναγνωρίζονται εκείνα τα υλικά, τα οποία συντίθενται από επιμέρους υλικά με σημαντικά διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μεταξύ τους, ενώ και το ίδιο το σύνθετο υλικό έχει επίσης σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες των συστατικών του. Για να καταταχθεί ένα υλικό στην κατηγορία των σύνθετων, θα ακολουθείται ο εξής κανόνας:

Το υλικό πρέπει να προκύπτει ως συνδυασμός συστατικών μερών, στα οποία οι ιδιότητες του ενός από τα μέρη αυτά να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από του άλλου (τουλάχιστον 5πλάσιες) και η κατ' όγκο περιεκτικότητα του ενός να μην είναι πολύ μικρή (> 10 %). Το ένα, από τα συστατικά μέρη, χαρακτηρίζεται ως συστατικό ενίσχυσης και προσδίδει στο σύνθετο βελτιωμένες μηχανικές, κυρίως, ιδιότητες. Το δεύτερο συστατικό καλείται μήτρα, είναι συνήθως χαμηλής πυκνότητας και η συμμετοχή του στο σύνθετο εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της ενίσχυσης. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο συνδυασμός ανά δύο των βασικών οικογενειών υλικών (μεταλλικά, πολυμερικά και κεραμικά υλικά) και οι ομάδες συνθέτων που προκύπτουν.



Σχήμα 4.6

#### 4.3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάλογα με τη μορφή του συστατικού ενίσχυσης, τα σύνθετα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Ινώδη σύνθετα (fibrous composites): Με ενίσχυση ινών εμποτισμένων σε υλικό μήτρας.
- Στρωματικά σύνθετα (laminated composites): Με επάλληλες στρώσεις υλικών.
- Κοκκώδη σύνθετα (particulate composites): Με ενίσχυση σωματιδίων διασκορπισμένων στο υλικό της μήτρας.

Τα ινώδη σύνθετα υλικά διακρίνονται περαιτέρω ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη διάταξη των ινών μέσα στη μήτρα. Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή τα ινώδη σύνθετα διακρίνονται σε:

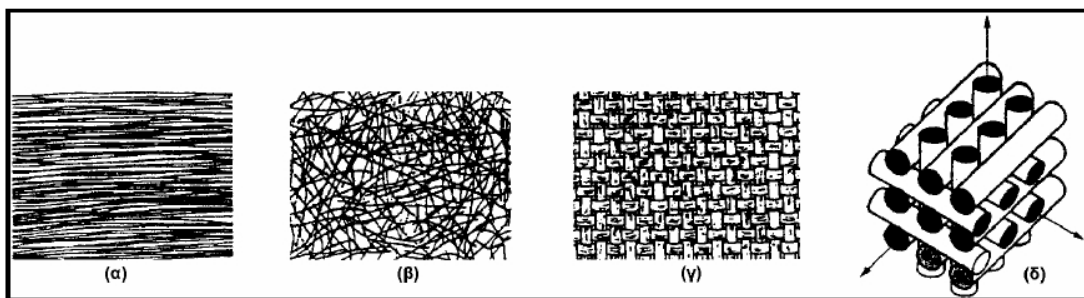
- Μονοδιευθυντικά σύνθετα, στα οποία οι ίνες έχουν όλες την ίδια διεύθυνση.
- Πολυδιευθυντικά σύνθετα, στα οποία, οι ίνες έχουν διαφορετικές διευθύνσεις.

Η ιδιότητα αυτή οδηγεί άμεσα σε ταξινόμηση των πολυδιευθυντικών συνθέτων στις ακόλουθες υπο-ομάδες (σχήμα 4.7)

- Σύνθετα με ίνες τυχαίας διεύθυνσης.(β)
- Σύνθετα με ίνες σε πλέξη ύφανσης.(γ)
- Σύνθετα με ίνες σε τρισσορθογώνια ύφανση.(δ)

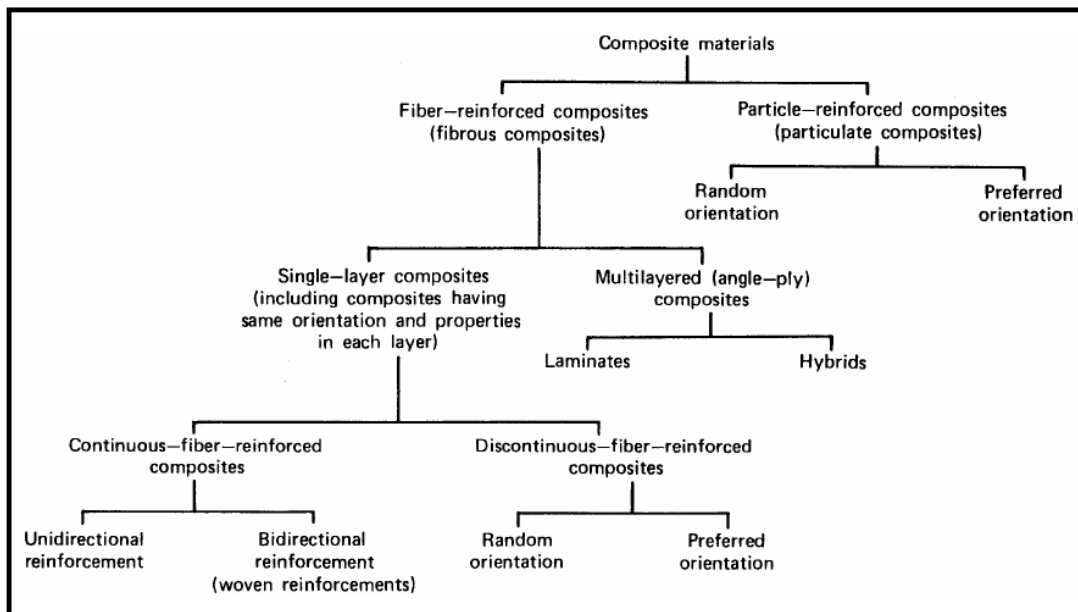
Μία επιπλέον διάκριση των ινωδών συνθέτων στηρίζεται στο λόγο μήκους προς διάμετρο ( $l/d$ ) των ινών, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως:

- Συνεχείς ή μεγάλου μήκους ίνες (continuous fibers ), όταν είναι  $l/d \geq 100$
- Ασυνεχείς ή κοντές ίνες (discontinuous fibers), όταν είναι  $l/d < 100$
- Νηματίδια ή τριχίτες (whiskers): Με  $d < 1\mu\text{m}$  και  $l \approx 100\mu\text{m}$  (πρόκειται για λεπτούς μονοκρυστάλλους κεραμικού υλικού).



Σχήμα 4.7

Με βάση όσα έχουν ήδη αναφερθεί για τις κατηγορίες των συνθέτων υλικών, έχει καθιερωθεί η ταξινόμηση τους, όπως φαίνεται παρακάτω



Σχήμα 4.8

### 4.3.3 ΙΝΕΣ

Προκειμένου οι ίνες να προσφέρουν ικανοποιητική ενίσχυση των μηχανικών ιδιοτήτων της μήτρας, το υλικό κατασκευής τους επιλέγεται, έτσι ώστε να παρουσιάζει υψηλό μέτρο ελαστικότητας (E), υψηλή τάση θραύσης σε εφελκυσμό (UTS), μεγάλη ακαμψία (stiffness), χαμηλή δυσθραυστότητα (toughness) και επιπλέον να έχει μικρή πυκνότητα. Στα προηγμένα σύνθετα υλικά, οι ενισχυτικές ίνες είναι κατασκευασμένες είτε από ανόργανα υλικά (γυαλί, άνθρακας, μέταλλα, κεραμικά) είτε από οργανικά υλικά (πολυμερή).

Οι ίνες γυαλιού χρησιμοποιήθηκαν στα σύνθετα πρώτης γενιάς (1940) και η χρήση τους συνεχίζεται επιτυχώς μέχρι σήμερα. Είναι από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ενισχυτικών ινών στα σύνθετα πολυμερικής μήτρας. Η δομική τους βάση είναι τα οξείδια πυριτίου, ασβεστίου, βορίου, αλουμινίου, κ.ά.. Θεωρούνται από τα πιο φθηνά ενισχυτικά υλικά.

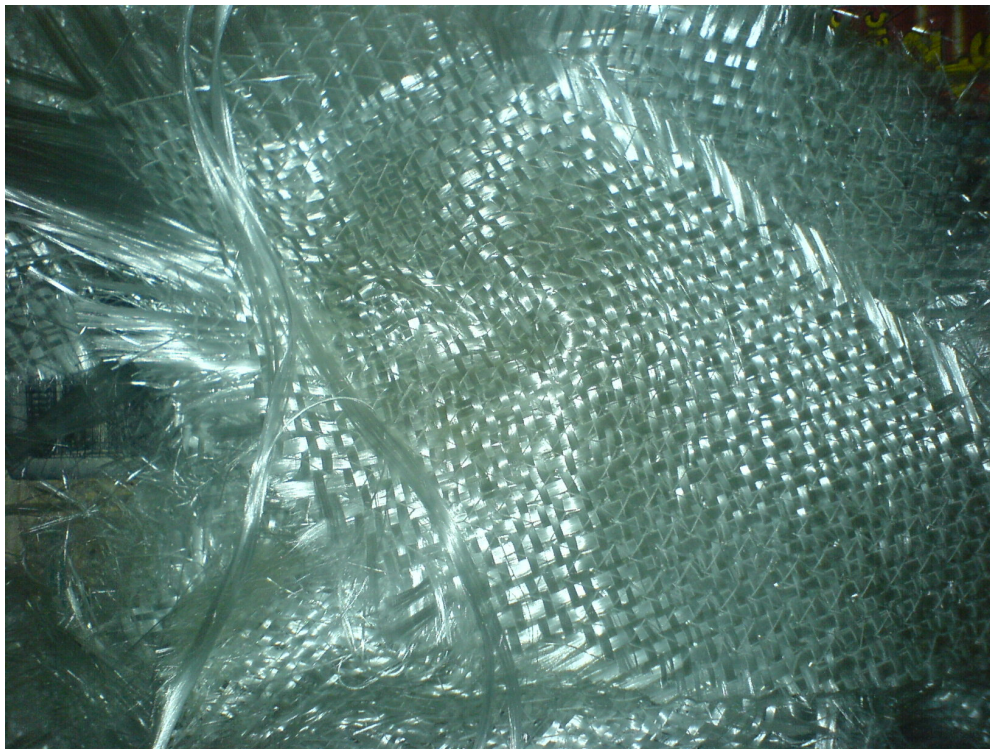
Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση οι ίνες γυαλιού χαρακτηρίζονται ως τύπου E, C και S :

- E-glass (E=electrical): Πρόκειται για τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα υαλοήματα με καλές ηλεκτρικές ιδιότητες, αντοχή και δυσκαμψία, καθώς και πολύ καλή συμπεριφορά στην αλλαγή των καιρικών συνθηκών, αλλά με μέτρια αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια.



- C-glass (C=corrosion): Υαλονήματα με υψηλή αντίσταση στη χημική διάβρωση, αλλά και με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τις ίνες τύπου E, από τις οποίες όμως είναι ακριβότερες.
- S-glass (S=stiffness): Ακριβότερο υλικό από το E-glass, αλλά με υψηλότερη δυσκαμψία και θερμική αντοχή. Χρησιμοποιείται κυρίως στην αεροπορική βιομηχανία.

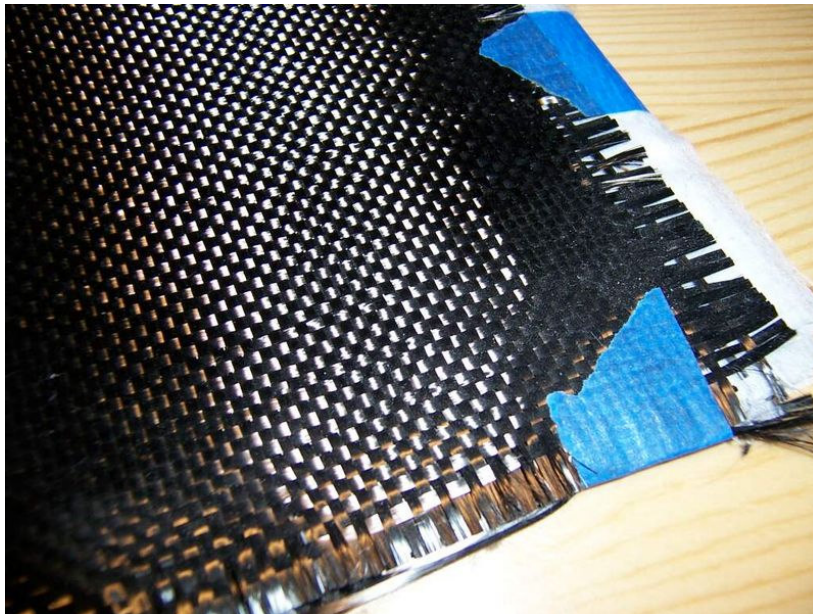
Τα βασικά πλεονεκτήματα των υαλονημάτων είναι το χαμηλό κόστος και η υψηλή αντοχή, ενώ στα κύρια μειονεκτήματα τους εντάσσονται το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας και η μικρή αντοχή τους έναντι φθοράς εκτριβής (λύση της συνέχειας της επιφάνειάς τους). Εγχαράξεις και εκδορές δημιουργούν περιοχές συγκέντρωσης τάσεων στην επιφάνεια της ίνας, με αποτέλεσμα την ταχεία υποβάθμιση των μηχανικών τους ιδιοτήτων και της ικανότητας πρόσφυσης τους στην πολυμερική μήτρα. Παρακάτω φαίνεται γυαλί τύπου E σε πλέξη (woven roving).



**Σχήμα 4.9**

Οι ίνες γραφίτη (carbon fibers) είναι η επικρατέστερη ενίσχυση υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας, η οποία χρησιμοποιείται για την παρασκευή υψηλών επιδόσεων σύνθετων υλικών ρητινικής μήτρας. Γενικά, όταν απαιτείται ο βέλτιστος συνδυασμός μηχανικής συμπεριφοράς και ελάττωσης του βάρους, οι χρησιμοποιούμενες ίνες είναι, συνήθως, ίνες άνθρακα. Επίσης, οι ίνες άνθρακα προτιμούνται όταν η θερμική διαστολή ενός υλικού πρέπει να συγκρατηθεί σε χαμηλό επίπεδο ή όταν απαιτείται συμβατότητα των χαρακτηριστικών διαστολής δύο συνενωμένων

διαφορετικών υλικών. Η υπεροχή αυτή των ανθρακονημάτων οφείλεται στη φύση του άνθρακα (ως στοιχείου) και τους ενδοατομικούς δεσμούς που σχηματίζει με άλλα άτομα άνθρακα. Ο γραφίτης αποτελείται από ανισότροπους πολυκρυσταλλίτες, των οποίων η ανισοτροπία εξαρτάται από τις συνθήκες παρασκευής τους. Αποτέλεσμα του ισχυρού προσανατολισμού των κρυσταλλιτών παράλληλα στο διαμήκη άξονα των ανθρακονημάτων είναι η υψηλή στιβαρότητα και αντοχή σε θραύση και ο χαμηλός συντελεστής θερμικής διαστολής κατά τη διεύθυνση αυτή. Στη γραφίτική δομή τα άτομα C διατάσσονται πολύ πυκνά με τη μορφή εξαγωνικών επιπέδων. Ο ισχυρός δεσμός μεταξύ των ατόμων C στις επίπεδες αυτές εξαγωνικές στρώσεις οδηγεί σε εξαιρετικά υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Αντίθετα, ο ασθενής τύπου Van der Waals δεσμός που υφίσταται μεταξύ γειτονικών στρώσεων, έχει ως αποτέλεσμα ένα χαμηλότερης τιμής μέτρο ελαστικότητας σε αυτή τη διεύθυνση. Στην παραγωγή ανθρακονημάτων, ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται πολυμερικές ίνες πολυακρυλονιτρίλιου (PAN), ίνες τεχνητής μέταξας (rayon) και πίσσα.



**Σχήμα 4.10**

Οι πιο διαδεδομένες ίνες πολυμερούς είναι οι ίνες από Nylon, πολυαιθυλένιο και Kevlar. Τα νήματα Nylon και πολυεστέρα παράγονται με φυγοκεντρική περιδίνηση τήγματος, ενώ ακρυλικά και κυτταρινικά νήματα παρασκευάζονται με φυγοκεντρική περιδίνηση διαλύματος και συνακόλουθες τεχνικές καθίζησης ιζήματος. Η αντοχή τους δεν ξεπερνά τα 10 Pa, ενώ το μέτρο ελαστικότητας πλησιάζει τα 1000 Pa. Παρόλο που από μηχανικής άποψης δεν κατατάσσονται στις ίνες υψηλής απόδοσης, εντούτοις το χαμηλό κόστος παραγωγής τους τις καθιστά δημοφιλείς στην αγορά. Η πρώτη υψηλής απόδοσης οργανική ίνα αραμιδίου παρασκευάστηκε από την DuPont και έγινε γνωστή με την εμπορική ονομασία Kevlar και παράγεται σε τρεις τύπους:



- Kevlar-29: Με μέτρο ελαστικότητας 60 GPa και αντοχή σε εφελκυσμό 3.6 GPa.
- Kevlar-49: Με μέτρο ελαστικότητας 120 GPa και αντοχή σε εφελκυσμό 3.6 GPa.
- Kevlar-149: Με μέτρο ελαστικότητας 180 GPa και αντοχή σε εφελκυσμό 3.4 GPa.

Η πυκνότητα και των τριών τύπων είναι ίδια ( $1.45 \text{ g/cm}^3$ ), ενώ η διαφορετική ελαστικότητα οφείλεται στο γεγονός της βελτιωμένης ευθυγράμμισης των μοριακών αλυσίδων, που αυξάνει την δυσκαμψία στη διεύθυνση του άξονα της ίνας.



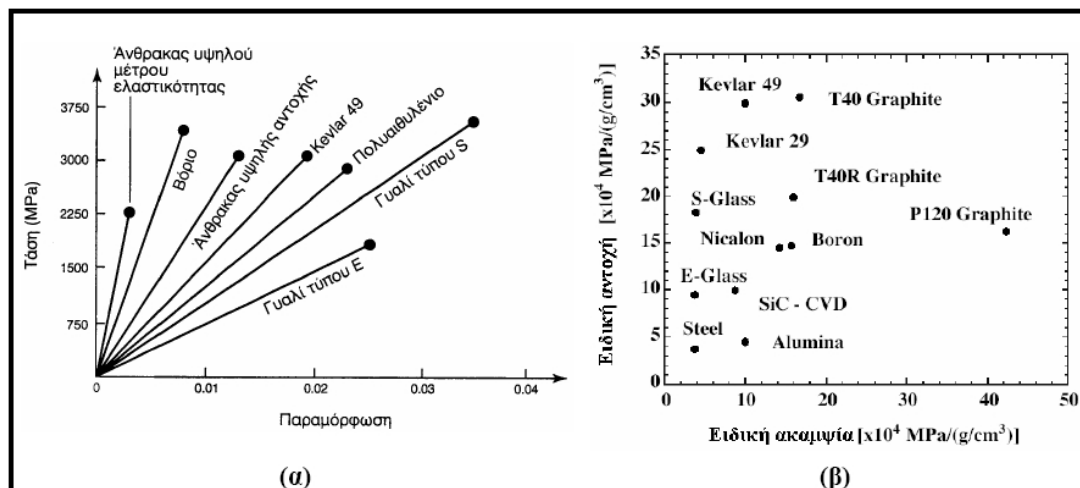
**Σχήμα 4.11**

Διάφορα μέταλλα όπως το βόριο (B), το βηρύλλιο (Be) και το βολφράμιο (W) θα μπορούσαν να αποτελέσουν εξαιρετικά ενισχυτικά συνθέτων υλικών, αφού παρουσιάζουν υψηλή τιμή ακαμψίας σε σχέση με το ειδικό βάρος τους (ειδική ακαμψία). Το βόριο είναι το περισσότερο υποσχόμενο υλικό για την κατασκευή ινών ενίσχυσης, ωστόσο οι τεχνικές παραγωγής μεταλλικών ινών ενίσχυσης εξακολουθούν να παραμένουν πολύ δαπανηρές.

Οι κεραμικές ίνες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών. Χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή, στιβαρότητα και θερμική ευστάθεια. Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες κεραμικές ίνες είναι οι ίνες καρβιδίου του πυριτίου (SiC) και αλούμινας ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ενώ σπανιότερα συναντώνται και ίνες  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , BeO,  $\text{B}_4\text{C}$  και  $\text{ZrO}_2$ . Το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως ενισχυτικό υλικό είτε με τη μορφή ινών είτε με τη μορφή

φυλλιδίων. Οι ίνες SiC παρουσιάζουν υψηλές τιμές αντοχής και ανώτερες μηχανικές ιδιότητες από τα φυλλίδια.

Το παρακάτω σχήμα συγκρίνει τις διάφορες ίνες ως προς την ειδική αντοχή και ειδική ακαμψία.



Σχήμα 4.12

#### 4.3.4 ΜΗΤΡΑ

Ο ρόλος της μήτρας συνίσταται σε:

- Συγκράτηση των ινών μεταξύ τους.
- Προστασία των ινών από περιβαλλοντικές φθορές και προσβολές.
- Μεταβίβαση των μηχανικών τάσεων που ασκούνται συνολικά στο σύνθετο υλικό προς τις ίνες.
- Ανακοπή της διάδοσης των ρωγμών, που ξεκινούν από θραύση των ινών.

Για να ικανοποιεί το ρόλο, με τον οποίο είναι επιφορτισμένη η μήτρα, πρέπει να χαρακτηρίζεται από:

- Ολκιμότητα.
- Ανθεκτικότητα.
- Σχετική ευκαμψία.
- Σημείο τήξης μεγαλύτερο από τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του συνθέτου υλικού.

Οι ιδιότητες αυτές πρέπει επίσης να παρουσιάζουν «συμβατότητα» με τις αντίστοιχες ιδιότητες των ενισχυτικών ινών. Συνήθως, το υλικό της μήτρας έχει χαμηλότερη πυκνότητα, αντοχή και δυσκαμψία από τις ίνες. Τέλος, για τη σωστή λειτουργία του συνθέτου υλικού, καθοριστικός παράγοντας είναι η καλή πρόσφυση ίνας – μήτρας.

Ανάλογα με το υλικό της μήτρας διακρίνουμε τις ακόλουθες ομάδες υλικών μήτρας για σύνθετα υλικά:

- Οργανικές.
- Μεταλλικές.
- Κεραμικές.

Η επιλογή κατάλληλης μήτρας εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το περιβάλλον χρήσης του συνθέτου. Μία γενική οδηγία αναφορικά με τα θερμοκρασιακά όρια για κάθε ομάδα υλικών παρουσιάζεται στο σχήμα 4.13 .



Σχήμα 4.13

#### 4.3.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η μορφοποίηση ινωδών συνθέτων υλικών περιλαμβάνει συνήθως τα ακόλουθα τρία στάδια:

- Παραγωγή των ινών.
- Διάταξη-διευθέτηση των ινών σε ιστό, πλέγμα ή πακέτα (yarn, tow, roving), όπου οι μεμονωμένες ίνες ομαδοποιούνται κατάλληλα ανά 100-100.000
- Εισαγωγή των ινών στη μήτρα.

Με βάση το υλικό της μήτρας, οι μέθοδοι μορφοποίησης ινωδών συνθέτων υλικών μπορούν να καταταγούν στις εξής κατηγορίες:

##### A. Μορφοποίηση συνθέτου οργανικής μήτρας

###### A1. Ασυνεχής μορφοποίηση συνθέτου (σχήμα 4.14)

- Χειροποίητη στρώση (hand lay-up)
- Χύτευση θαλάμου πίεσης (pressure bag)
- Χύτευση σε διαιρετό καλούπι (matched die-moulding)

###### A2. Συνεχής μορφοποίηση συνθέτου

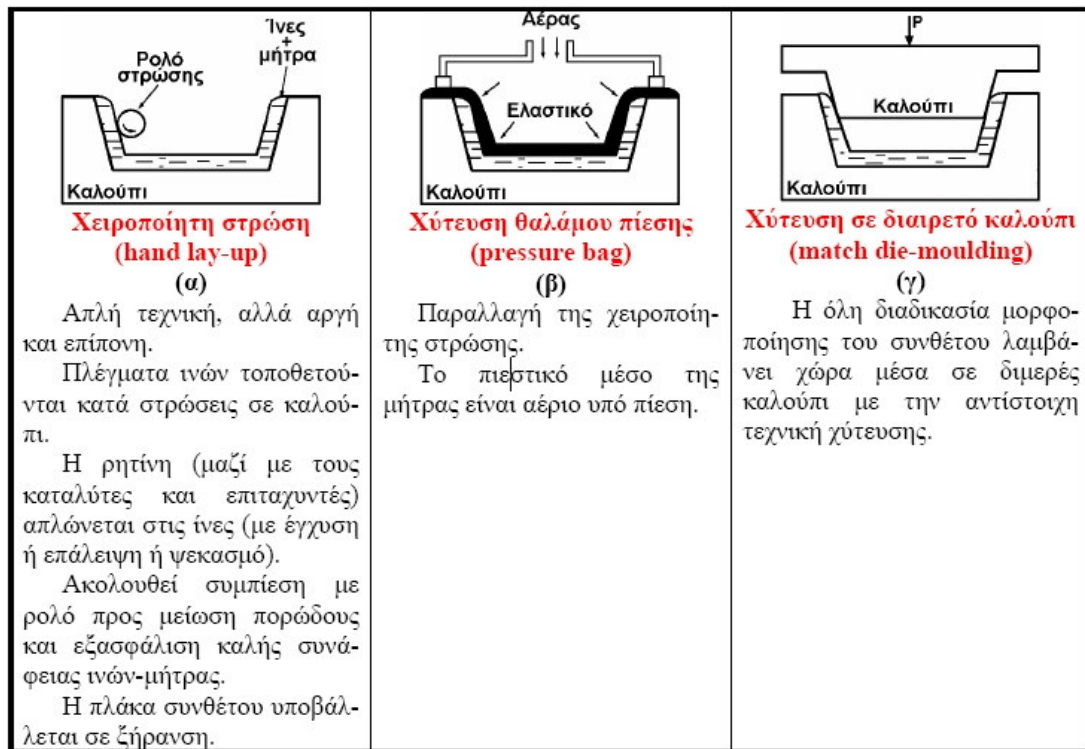
- Περιέλιξη νήματος (filament winding)
- Συνεχής μορφοποίηση ελάσματος (sheet moulding process, SMC)
- Μορφοποίηση με εμβάπτιση (pultrusion)

##### B. Μορφοποίηση συνθέτου μεταλλικής μήτρας

- Συνδιέλαση (co-extrusion)
- Μορφοποίηση με χύτευση (casting process)
- Συμπίεση σε στερεή κατάσταση
- Απόθεση υλικού μήτρας



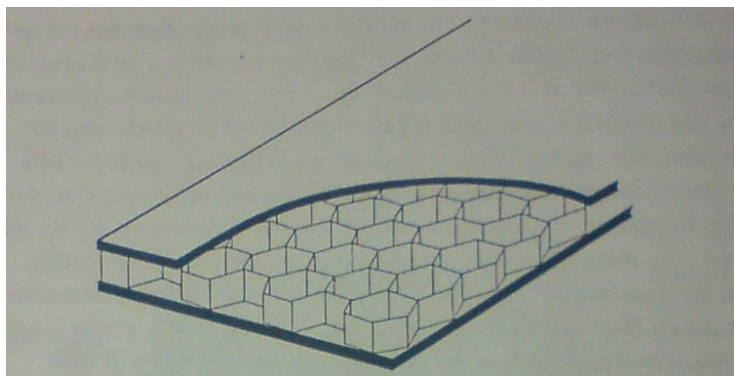
### Γ. Μορφοποίηση συνθέτου κεραμικής μήτρας



Σχήμα 4.14

#### 4.3.6 ΥΛΙΚΑ ΠΥΡΗΝΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΤΥΠΟΥ SANDWICH

Τα υλικά πυρήνα αποτελούν τη βάση των κατασκευών sandwich από σύνθετα υλικά. Ο πυρήνας είναι οποιοδήποτε υλικό μπορεί να κρατήσει απομακρυσμένα μεταξύ τους δύο ισχυρά περιβλήματα και να μεταδίδει διατμητικές δυνάμεις. Τα υλικά πυρήνα ποικίλλουν από φυσικά είδη, όπως το ξύλο balsa και το κόντρα πλακέ θαλάσσης (plywood), μέχρι υψηλής τεχνολογίας κυψελοειδείς και αφρώδεις κατασκευές (honeycomb and foam cores). Μια τυπική διαμόρφωση sandwich με κυψελοειδή πυρήνα φαίνεται στο σχήμα 4.15.



**Σχήμα 4.15**

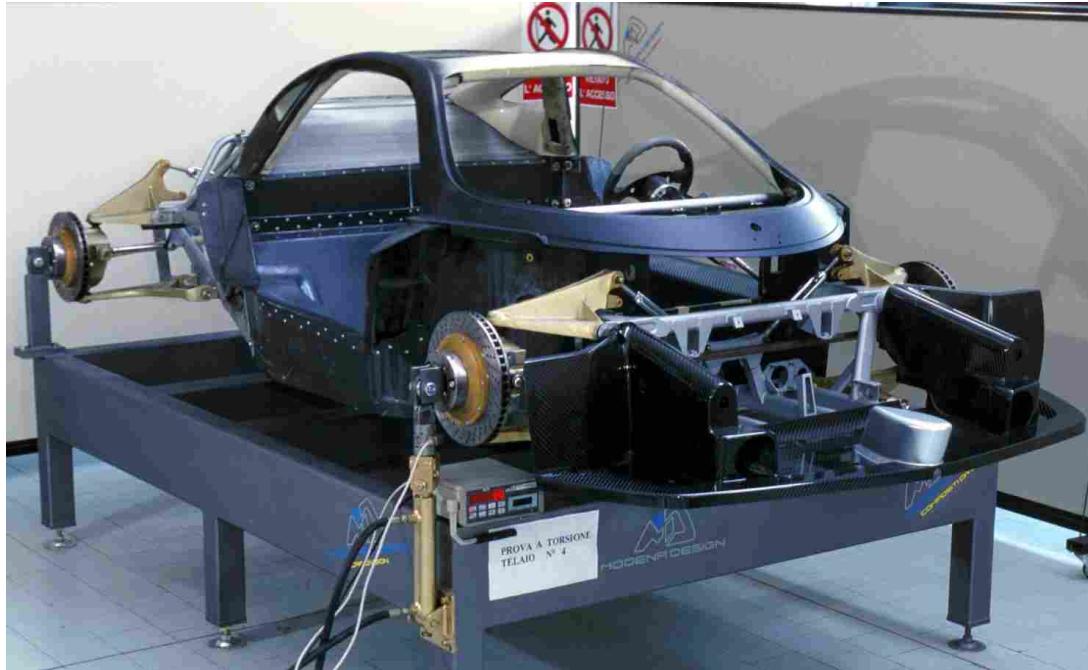
Βασικό πλεονέκτημα των υλικών αυτών είναι ότι αυξάνουν σημαντικά το πάχος της διατομής του σύνθετου, με συνέπεια την αύξηση της ακαμψίας του υλικού, χωρίς σημαντική αύξηση του τελικού βάρους της κατασκευής. Οι ιδιότητες των κυριότερων υλικών πυρήνα φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Είδος Πυρήνα	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	G (MPa) <sup>a</sup>	$\tau$ (MPa) <sup>a</sup>	$E_{zz}$ (MPa) <sup>a</sup>	$\sigma_{cz}$ (MPa) <sup>a</sup>
Αφρός PVC	0.075	25 (320)	0.8 (10.7)	50 (667)	1.1 (15)
Αφρός PVC	0.13	40 (308)	1.9 (14.6)	115 (885)	3.0 (23)
Αφρός PVC	0.19	50 (260)	2.4 (12.6)	160 (842)	4.0 (21)
Αφρός PU	0.10	10 (100)	0.6 (6.0)	39 (390)	1.0 (10)
Αφρός PU	0.19	30 (158)	1.4 (7.4)	83 (437)	3.0 (16)
Συντακτικός αφρός	0.40	430 (1070)	-	1200 (3000)	10 (25)
Συντακτικός αφρός	0.80	1000 (1250)	21 (26)	2600 (3250)	45 (56)
Ξύλο balsa	0.10	110 (1100)	1.4 (14)	800 (8000)	6 (60)
Ξύλο balsa	0.18	300 (1670)	2.5 (14)	1400 (7780)	13 (72)
Κυψέλες αλουμινίου <sup>b</sup>	0.07	455/205 (6500/2930)	2.2/1.4 (31/20)	965 (13790)	3.5 (50)
Κυψέλες αλουμινίου <sup>b</sup>	0.13	895/365 (6885/2810)	4.8/3.0 (37/23)	2340 (18000)	9.8 (75)
Κυψέλες GRP <sup>b</sup>	0.08	117/52 (1462/650)	2.3/1.4 (29/18)	580 (7250)	5.7 (71)
Κυψέλες από χαρτί Aramid (Nomex) <sup>b</sup>	0.065	53/32 (815/492)	1.7/1.0 (26/15)	193 (2970)	3.9 (60)

**Σχήμα 4.16**

#### 4.3.7 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στο σχήμα που ακολουθεί βλέπουμε το σασί από ανθρακονήματα του Pagani Zonda. Όπως και στις μεταλλικές κατασκευές, δημιουργείται ένα “ κλουβί ” που ορίζει τον χώρο των επιβατών. Η διαφορά είναι ότι εδώ δεν χρειάζεται να τοποθετηθούν επιπλέον panel ώστε η καμπίνα των επιβατών να στεγανοποιηθεί.



Σχήμα 4.17

Αντίστοιχης κατασκευής είναι και το σασί της formula 1 με βάρος μόλις 50 κιλά. Πάνω σε αυτό προσδένονται όλα τα υπόλοιπα τμήματα που αποτελούν το μονοθέσιο.



Σχήμα 4.18



Σχήμα 4.19

## **5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΝΕΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**

### **5.1 ΓΕΝΙΚΑ – ΠΡΟ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

Όπως αναφέραμε και στην εισαγωγή,στην εργασία αυτή θα γίνει παρουσίαση ενός πρωτότυπου οχήματος πόλης που σαν στόχο έχει να λύσει κάποια προβλήματα που παραμένουν άλυτα ή μερικώς λυμένα με τα ήδη υπάρχοντα οχήματα.Επειδή η σχεδίασή του γίνεται εξ'ολοκλήρου από την αρχή,είναι απαραίτητο να υπάρξει ένα σύνολο ειδικών προδιαγραφών που θα μας υποδείξει τις βασικές σχεδιαστικές γραμμές του οχήματος.Η λύση των προβλημάτων αυτών είναι που τελικά θα μας οδηγήσει σταδιακά στη δημιουργία των προδιαγραφών μέσω των οποίων θα καταλήξουμε στο κατάλληλο σχήμα που θα πρέπει να έχει το όχημά μας.Κρίνουμε λοιπόν σκόπιμο,να φανεί πρώτα η συλλογιστική πορεία βάσει της οποίας οδηγηθήκαμε στη σχεδίαση των βασικών γραμμών του οχήματος και μετά να γίνει η παρουσίαση της τελικής του μορφής.

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που εμφανίζεται κυρίως στις μεγάλες πόλεις.Οφείλεται γενικά στον υπερβολικό αριθμό οχημάτων που κινούνται (εκτός δικύκλων) και στον μεγάλο όγκο που καταλαμβάνει το κάθε όχημα σε σχέση με το υπάρχων οδικό δίκτυο.Στον όγκο και τον αριθμό των οχημάτων οφείλεται και το πρόβλημα της στάθμευσης που έχει δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια και είναι ιδιαίτερα έντονο σε περιοχές με παλαιά κτίρια που δεν διαθέτουν θέσεις στάθμευσης εντός του χώρου του κτιρίου.Εξίσου σημαντικό είναι και το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος από τους τόννους καυσαερίων που εκλύονται καθημερινά στην ατμόσφαιρα από τις εξατμίσεις των οχημάτων.Ιδιαίτερα σε πόλεις,όπου υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση οχημάτων,το πρόβλημα γίνεται εντονότερο με συνέπεια την υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε. Μετά από τα χιλιάδες τροχαία δυστυχήματα που συμβαίνουν κάθε χρόνο και τους εκατοντάδες νεκρών ανθρώπων τίθεται ένα πολύ σημαντικό ερώτημα.Πόσο ασφαλή είναι τα οχήματα που οδηγούμε;Και εάν αυτά κρίνονται ανασφαλής,τί μπορεί να γίνει ώστε να βελτιωθεί η ασφάλειά τους;

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το όχημα που θα σχεδιάσουμε πρέπει να έχει όσο το δυνατόν μικρότερο όγκο ώστε να μπορεί να είναι ευέλικτο στους δρόμους των πόλεων.Ξεκινάμε λοιπόν με τον καθορισμό των επιβατών.Είναι προφανές ότι ένα μονοθέσιο όχημα θα καταλαμβάνει τον ελάχιστο δυνατό όγκο.Επειδή όμως το όχημα θα πρέπει να είναι εύχρηστο,πρακτικό και ελκυστικό στο αγοραστικό κοινό,και επειδή ένα μονοθέσιο κάθε άλλο παρά πρακτικό θα ήταν για καθημερινή χρήση,καταλήγουμε στο ότι ο βέλτιστος αριθμός επιβατών είναι



δύο.Εξάλλου,είναι αποδεδειγμένο ότι τα διαθέσια οχήματα δεν υστερούν σε εμπορευσιμότητα από αυτά με περισσότερες θέσεις.

Αφού καταλήξαμε στον αριθμό των επιβατών,πρέπει τώρα να αποφασίσουμε για την σωστή διάταξη των θέσεων.Υπάρχουν δύο σενάρια,οι επιβάτες να είναι δίπλα ή ο ένας πίσω από τον άλλο.Προτιμάμε να περιορίσουμε το φάρδος του οχήματος ώστε αυτό να μπορεί να περνά από όσο το δυνατόν πιο στενά ανοίγματα,που σημαίνει ότι τοποθετούμε τους επιβάτες εμπρός και πίσω.

Προκειμένου να προδιαγράψουμε το φάρδος κρίνεται απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε στατιστικά στοιχεία που συλλέξαμε καταγράφοντας την κατάσταση στις κεντρικές οδικές αρτηρίες της Αθήνας.Τα στοιχεία αυτά αφορούν την μέση απόσταση δύο διπλανών οχημάτων καθώς αυτά είναι σταματημένα στην λωρίδα τους λόγω συμφόρησης.Έτσι,ως μια μέση απόσταση μετρήσαμε ενενήντα με εκατό εκατοστά (σχήμα 5.1). Προκειμένου η κατασκευή να μπορεί να “τρυπώσει” ενδιάμεσα από τα οχήματα με την ίδια άνεση που θα μπορούσε μία μηχανή μεγάλου κυβισμού,και μελετώντας τα στοιχεία των κεντρικών δρόμων καταλήγουμε στο ότι το μέγιστο φάρδος του οχήματος δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα εβδομηνταπέντε εκατοστά.

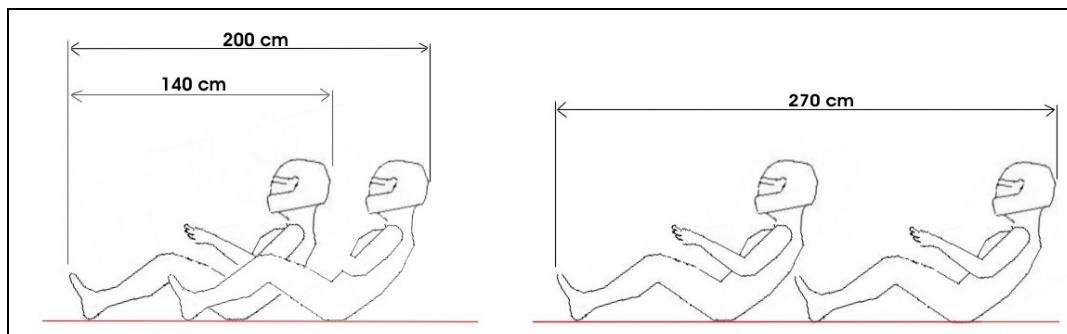


Σχήμα 5.1

Βέβαια είναι προφανές ότι δεν περιμένουμε το όχημά μας να έχει την ίδια ευελιξία όσο μια μηχανή,απλά προσπαθούμε να την προσεγγίσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο.

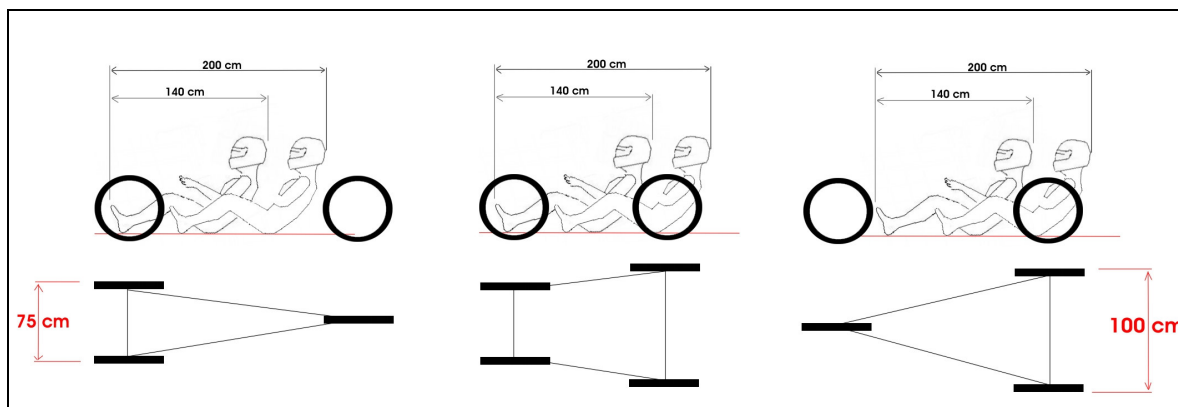
Στη συνέχεια θα γίνει καθορισμός του ελάχιστου δυνατού μήκους. Ξεκινάμε με το δεδομένο ότι έχουμε δύο επιβάτες,ο ένας πίσω από τον άλλο.Από πίνακες ανθρωπομετρικών στοιχείων καθώς και από φυσικές

μετρήσεις υπολογίζεται ότι το αναγκαίο μήκος της θέσης ενός επιβάτη είναι περίπου ενάμισο μέτρο. Η βέλτιστη διάταξη των επιβατών προκειμένου να έχουμε το ελάχιστο δυνατό μήκος είναι ο πίσω επιβάτης να αγκαλιάζει με τα πόδια του τον μπροστά (σχήμα 5.2). Στην περίπτωση αυτή το απαραίτητο φάρδος δεν ξεπερνά τα εβδομηνταπέντε εκατοστά, που θέσαμε πριν ως όριο.



Σχήμα 5.2

Το μήκος αυτό αφορά την καμπίνα των επιβατών. Αν οι ρόδες αγκαλιάζουν τους επιβάτες τότε το μήκος της καμπίνας μπορεί να είναι και το συνολικό μήκος της κατασκευής αλλιώς προστίθενται και οι ρόδες προκειμένου να υπολογίσουμε το τελικό μήκος, όπως φαίνεται στα σενάρια του παρακάτω σχήματος (σχήμα 5.3)



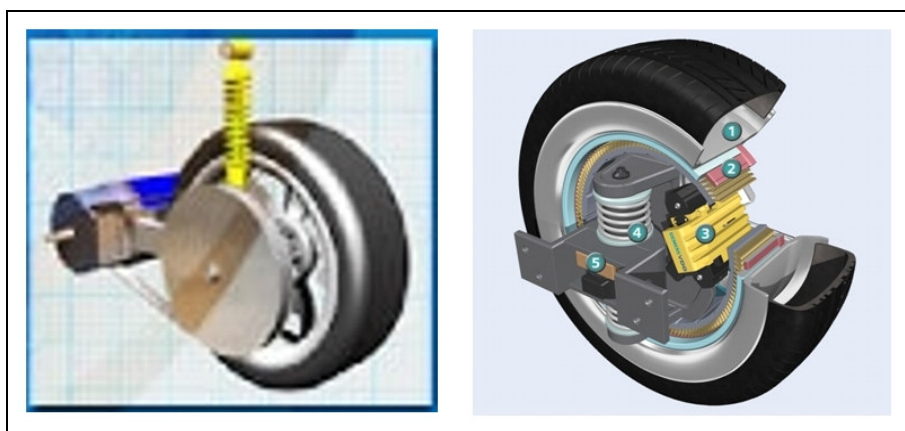
Σχήμα 5.3

Αναλύοντας τα παραπάνω σενάρια καταλήγουμε στον αριθμό και την διάταξη των τροχών. Στις περιπτώσεις όπου έχουμε δύο τροχούς πίσω, το φάρδος υπερβαίνει το όριο που θέσαμε, που σημαίνει ότι πίσω θα πρέπει να τοποθετηθεί ένας τροχός. Έτσι το όχημα θα έχει δύο τροχούς εμπρός και ένα πίσω, διάταξη που οδηγεί στο πιο ευέλικτο σχήμα. Λόγω της ειδικής απαίτησης του μικρού φάρδους, δημιουργείται πρόβλημα ευστάθειας στις στροφές. Για τον σκοπό αυτό μελετήθηκαν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί διατήρησης της ευστάθειας, από όπου επιλέγουμε έναν με κριτήριο αρχικά την σταθερότητα, και μετά την πολυπλοκότητα που συνεπάγεται και κόστος κατασκευής. Γενικά αποφεύγουμε τις σύνθετες κατασκευαστικές λύσεις

καθώς αυξάνουν το κόστος σε μη ανεκτά επίπεδα, αν σκεφτούμε ότι το όχημα θα πρέπει να είναι ανταγωνιστικό από πλευράς κόστους προκειμένου να μπορεί να σταθεί στην αγορά.

Η κατασκευή του σασί μπορεί να γίνει είτε με χωροδικτύωμα είτε με χρήση συνθέτων υλικών. Η χρήση συνθέτων υλικών, αν και είναι πιο πολύπλοκη στην καταργασία, δίνει κατασκευή με καλύτερη σχέση βάρους αντοχής, ενώ η καμπίνα των επιβατών (monocoque) είναι ασφαλέστερη σε περίπτωση κρούσης από το αντίστοιχο βάρους χωροδικτύωμα. Ανάλογα με την επιλογή του υλικού των ενισχυτικών ινών, μπορούμε να περιορίσουμε το κόστος των υλικών σε λογικά για την κατασκευή ποσά. Το σασί από σύνθετα υλικά δημιουργεί στεγανή καμπίνα επιβατών, ενώ για να επιτευχθεί στεγανότητα σε αντίστοιχη κατασκευή από χωροδικτύωμα χρειάζεται η δημιουργία panel που θα κλείσουν τα κενά. Περισσότερα για τον τρόπο κατασκευής του σασί θα δούμε παρακάτω.

Η κίνηση του οχήματος μπορεί να γίνει είτε με κινητήρα εσωτερικής καύσης είτε με ηλεκτροκινητήρα. Προκειμένου να βοηθήσουμε το περιβάλλον, προτιμάμε να κατασκευάσουμε ηλεκτροκίνητο όχημα. Εξάλλου η κιλοβατώρα είναι φθηνότερη από την αντίστοιχη ενέργειας ποσότητα βενζίνης. Έχουμε στην διάθεσή μας δύο ειδών διατάξεις μετάδοσης της κίνησης από τον κινητήρα στην ρόδα. Έτσι λοιπόν, στην μία περίπτωση ο κινητήρας βρίσκεται εκτός ρόδας και μεταδίδει κίνηση με αλυσίδα, ιμάντα ή άξονα ενώ στην δεύτερη έχουμε τον κινητήρα να “φωλιάζει” εντός της ρόδας (hub motor). Είναι προφανές ότι στην διάταξη με hub motor έχουμε εξοικονόμηση χώρου με το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να παρεμβάλλεται κιβώτιο ταχυτήτων μεταξύ κινητήρα και ρόδας (σχήμα 5.4). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο μόνος τρόπος με τον οποίο μπορούμε να ρυθμίσουμε την τελική ταχύτητα του οχήματος, δεδομένων των μέγιστων στροφών του ηλεκτροκινητήρα, να είναι η κατάλληλη επιλογή της διαμέτρου της ρόδας.

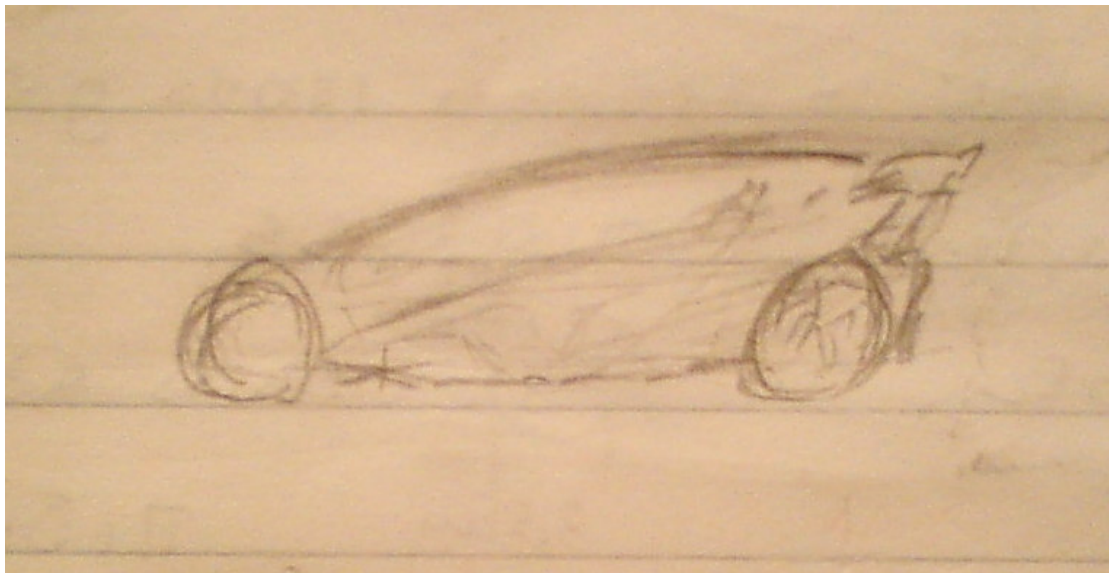


Σχήμα 5.4

Τώρα μένει να επιλέξουμε ποιού θα είναι οι κινητήριιοι τροχοί. Αν θέλουμε κίνηση εμπρός θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε δύο κινητήρες μιας και σε κάθε ρόδα θα πρέπει να φωλιάζει από ένας. Αυτό συνεπάγεται ανάγκη για χρήση ηλεκτρονικού διαφορικού, δηλαδή επιπλέον κόστος και κατανάλωση ισχύος. Το ίδιο θα γινόταν αν πίσω είχαμε δύο τροχούς και το όχημα θέλαμε να είναι έχει πίσω την κίνηση. Εξίσου σημαντικό είναι και το πρόβλημα χώρου που δημιουργείται σε περίπτωση τοποθέτησης κινητήρων στις μπροστά ρόδες, αφού θα είναι αρκετά στενότερες από την πίσω ρόδα. Είναι επίσης προφανές ότι το κόστος και το βάρος θα είναι αυξημένο στην περίπτωση που έχουμε δύο μικρότερους κινητήρες από ότι να έχουμε ένα μεγάλο.

## **5.2 ΠΟΡΕΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

Προκειμένου να καταλήξουμε στην τελική μορφή του οχήματος χρειάστηκε να γίνουν αρκετά σκαριφήματα στο χέρι μέχρι να οδηγηθούμε στο τελικό σχέδιο. Η πρώτη προσέγγιση είναι αυτή της εικόνας 5.5 ενώ στα επόμενα σχήματα ακολουθούν τροποποιημένες εκδόσεις μέχρι να φτάσουμε στο σχήμα που δείχνει η εικόνα 5.12 που είναι και το τελικό, ενώ είναι αυτό που περνάμε στον υπολογιστή και κατασκευάζουμε το τρισδιάστατο μοντέλο.

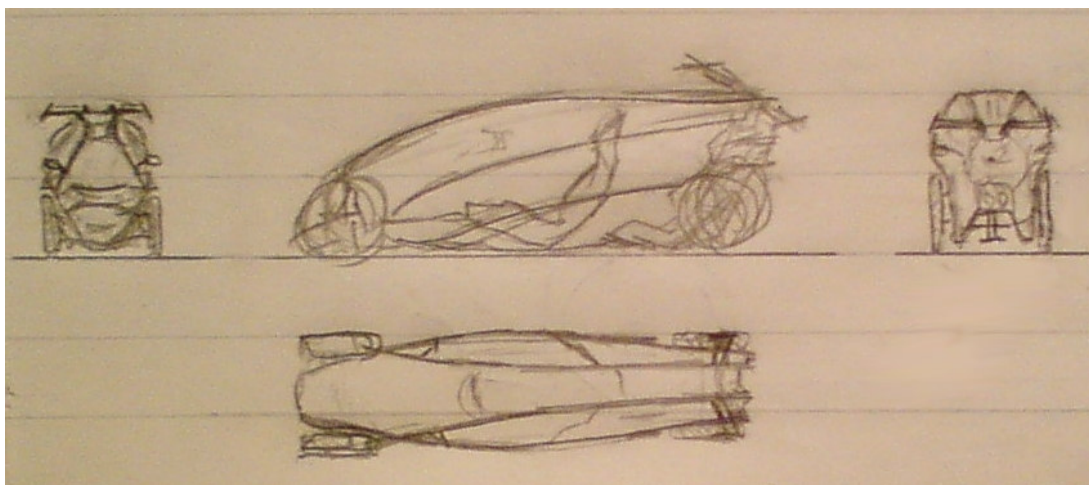


**Σχήμα 5.5**



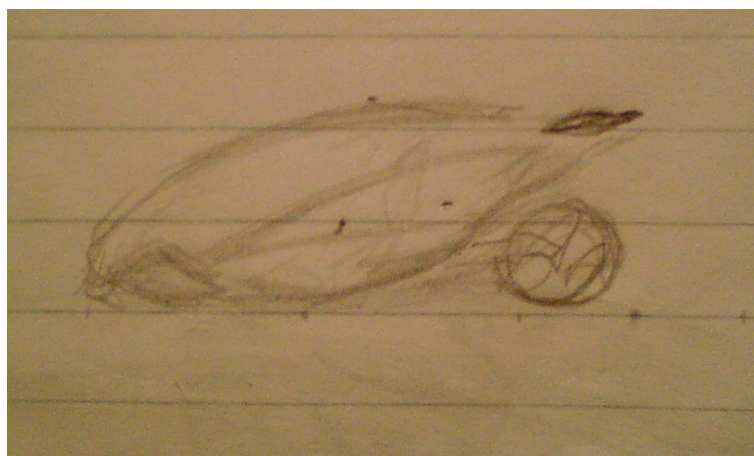


**Σχήμα 5.6**



**Σχήμα 5.7**

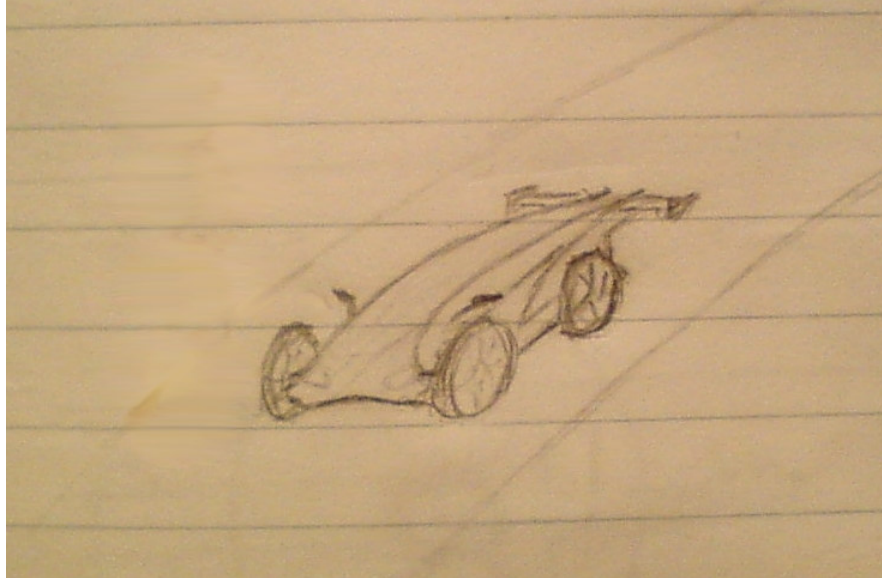
Όπως φαίνεται και παραπάνω, τα αρχικά σχέδια ήθελαν το όχημα να κινείται με τέσσερις τροχούς, ιδέα που απορρίφθηκε καθώς θα χρειαζόνταν δύο κινητήρες με ηλεκτρονικό διαφορικό, όπως επίσης και λόγω αυξημένου φάρδους της κατασκευής, βάρους και κατ'επέκταση κόστους. Έτσι οι δύο πίσω τροχοί αντικαταστάθηκαν με ένα φαρδύτερο (σχήμα 5.8).



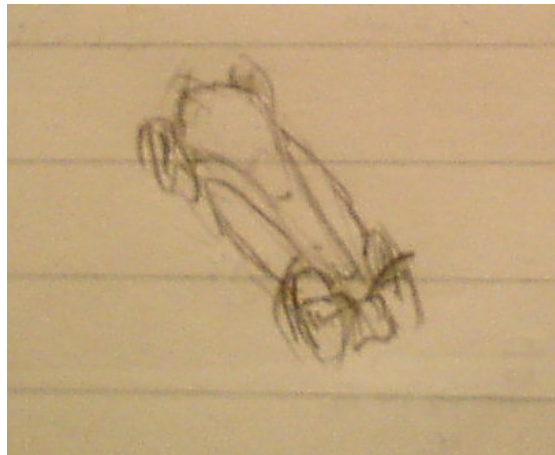
**Σχήμα 5.8**



Το παρπρίζ είναι αυτό που δίνει όλη την μορφή στο όχημα και εκτείνεται σε όλο το μήκος της κατασκευής (σχήματα 5.9 - 5.10)

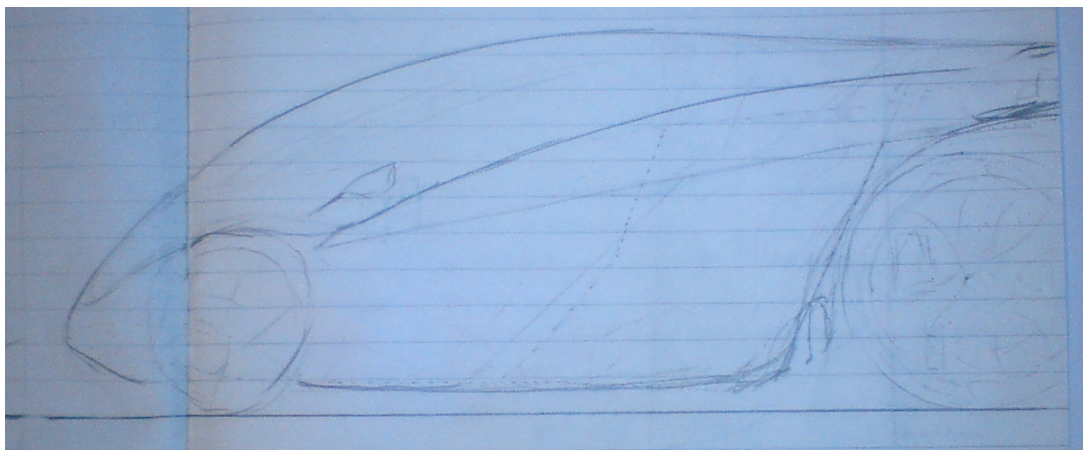


**Σχήμα 5.9**

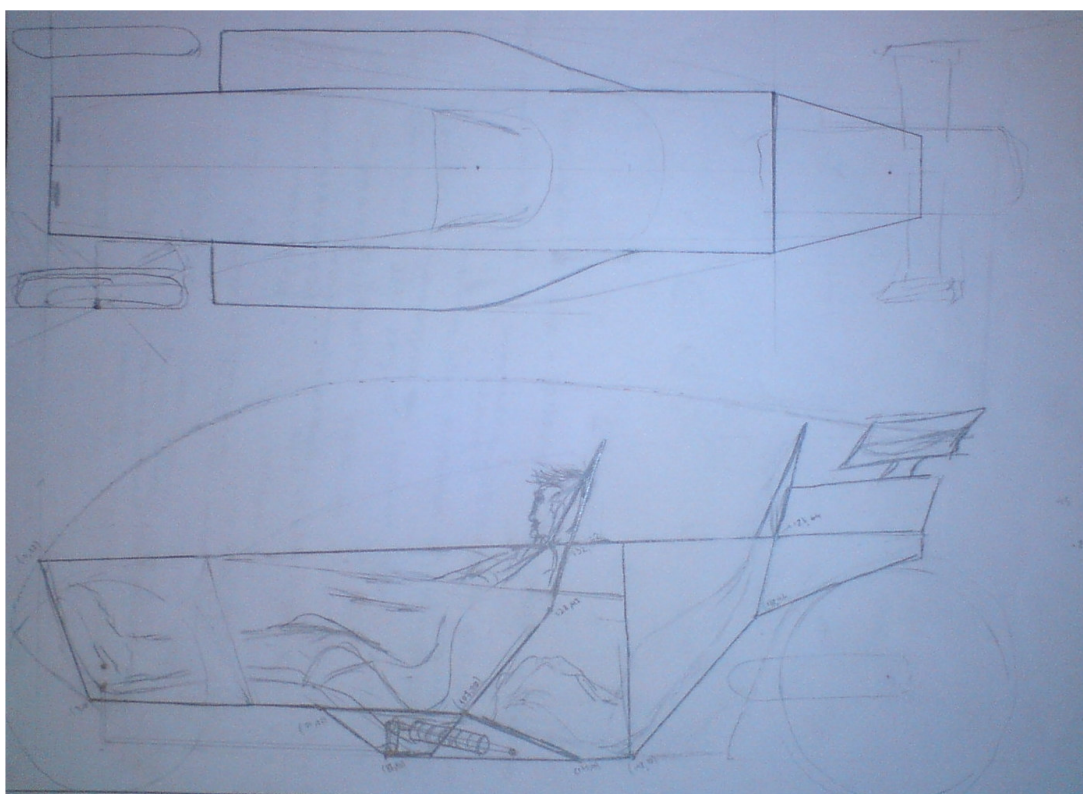


**Σχήμα 5.10**

Η σχεδίαση που φαίνεται παρακάτω είναι και η τελική ενώ φαίνεται ο συνοδηγός να αγκαλιάζει με τα πόδια του τον οδηγό για λόγους ελαχιστοποίησης του ολικού μήκους. Η διαφορά της έκτασης των ποδιών των επιβατών κατά μήκος της κατασκευής δημιουργεί τον χώρο στον οποίο τοποθετούνται οι μπροστά ρόδες προκειμένου το ολικό φάρδος να είναι το ελάχιστο δυνατό, όπως αυτό φαίνεται στο σχήμα 5.12.



**Σχήμα 5.11**

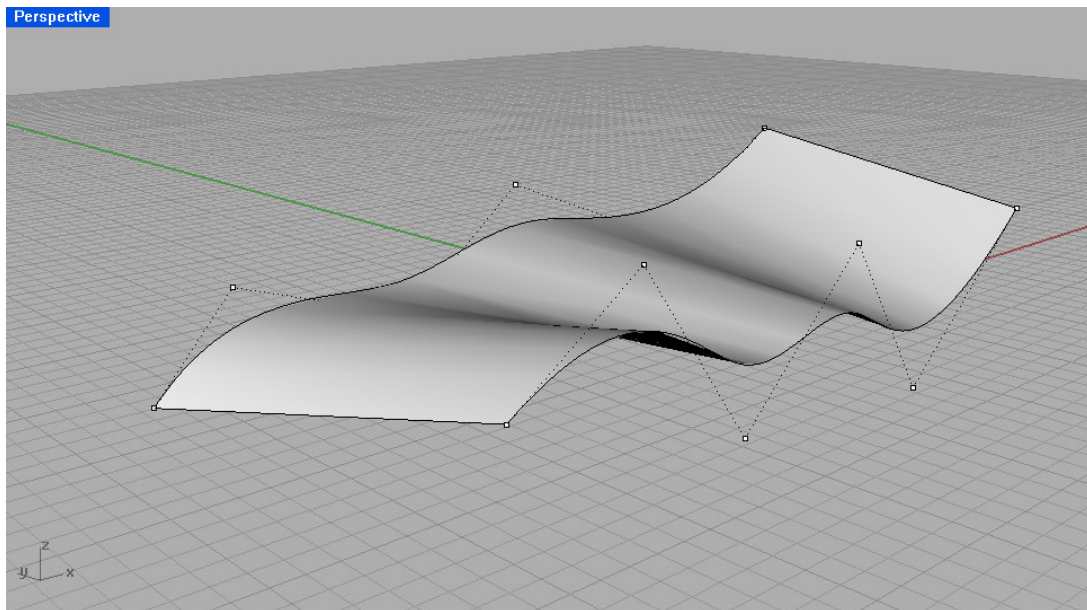


**Σχήμα 5.12**

### **5.3 ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**

Το σχεδιαστικό πρόγραμμα που χρησιμοποιούμε είναι το Rhinoceros (nurbs modeling) version 3. Το χρησιμοποιούν οι ναυπηγοί για την σχεδίαση της γάστρας των καραβιών ενώ σε κάποια παιχνίδια στον υπολογιστή χρησιμεύει στην μοντελοποίηση των γραφικών. Είναι αρκετά εύχρηστο

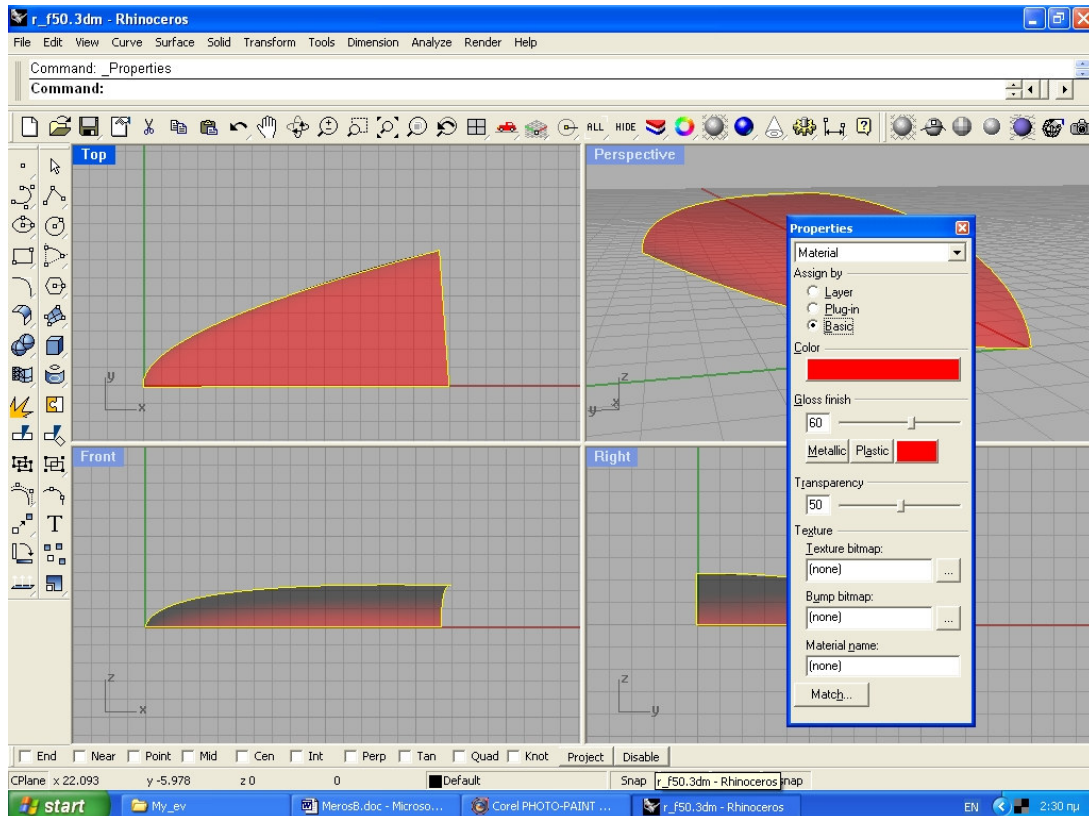
πρόγραμμα και έχει οργανωμένη βοήθεια με πολλά παραδείγματα (help). Έχει την δυνατότητα να παρουσιάζει ταυτόχρονα τρεις όψεις σχεδιασμού και μία προοπτική από όποια γωνία επιθυμεί ο χρήστης. Για τον σχεδιασμό της κάθε επιφάνειας αρκεί να ορίσουμε τις καμπύλες που την περιβάλλουν. Οι καμπύλες που χρησιμοποιούμε είναι τύπου splines καθώς έχουν εύκολο έλεγχο στο χώρο με την βοήθεια των σημείων ελέγχου (σχήμα 5.13). Αυτές με την βοήθεια της εντολής edge curves δίνουν την επιφάνεια.



**Σχήμα 5.13**

Για κάθε αντικείμενο μπορούμε να ρυθμίζουμε χωριστά το χρώμα, την σκιά, το σημείο φωτισμού, πόσο διάφανο ή πόσο γυαλιστερό είναι, ενώ υπάρχει η δυνατότητα φωτορεαλιστικής απεικόνισης με κάθε επιφάνεια να αντικατοπτρίζει το περιβάλλον το οποίο ορίζουμε (σχήμα 5.14).





Σχήμα 5.14

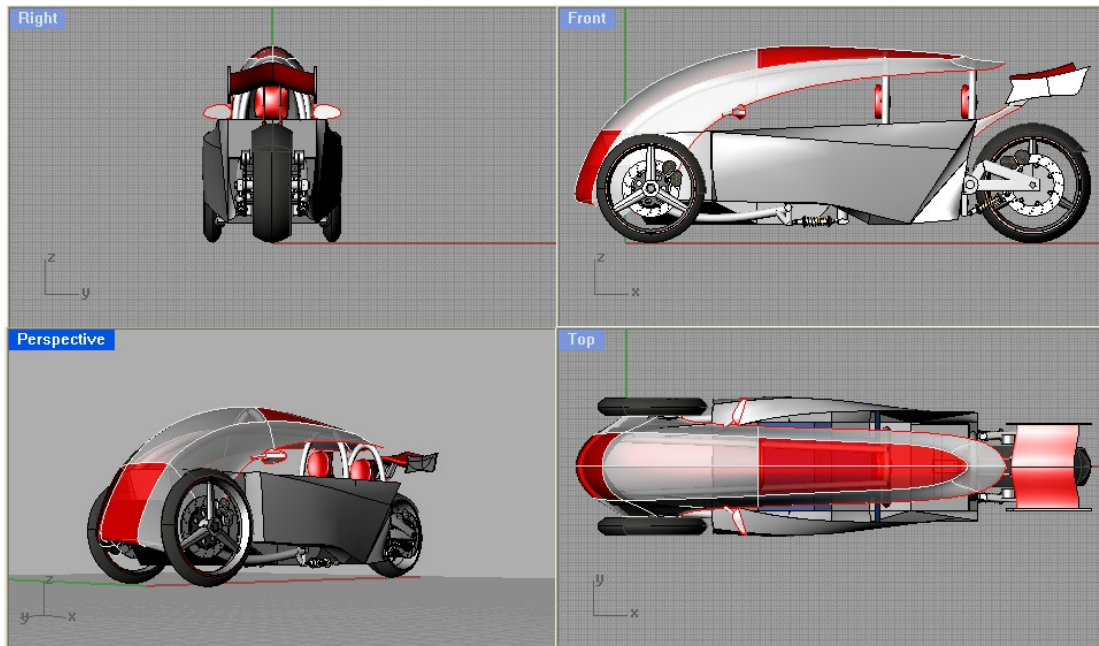
Ειδικές εντολές, όπως για παράδειγμα για την δημιουργία ελατηρίων, σωλήνων ή συμμετρικών αντικειμένων, διευκολύνουν την σχεδίαση. Κάθε ομάδα αντικειμένων, ανάλογα με την λειτουργία, σχεδιάζεται σε ξεχωριστό επίπεδο, με κοινές ιδιότητες εάν αυτό είναι επιθυμητό. Έτσι για παράδειγμα, το σύνολο των στοιχείων που αποτελούν την πίσω ανάρτηση σχεδιάζεται σε χωριστό επίπεδο που μπορεί να “ κρυφτεί ” , ώστε να μην εμποδίζει όσο σχεδιάζουμε κάποιο άλλο σύνολο.

Χρησιμοποιώντας την εντολή rotate μπορούμε, εκτός από τον σχεδιασμό, να δοκιμάσουμε τα περιστρεφόμενα μέρη αν συγκρούονται μεταξύ τους. Έχουμε έτσι πλήρη εποπτεία της λειτουργίας του κάθε μηχανισμού και μπορούμε να προβλέψουμε τυχόν προβλήματα κάτω από πραγματικές συνθήκες.

## 5.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ – ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Αφού έχει περιγραφεί όλη η συλλογιστική πορεία μέσω της οποίας οδηγηθήκαμε στο σχεδιασμό, είμαστε πλέον έτοιμοι να παρουσιάσουμε το όχημά μας, όπως αυτό προέκυψε από τις απαιτήσεις που θέσαμε. Ακολουθεί

μια γενική περιγραφή του οχήματος με τα βασικά χαρακτηριστικά του ενώ κάθε τμήμα του θα μελετηθεί αναλυτικά σε χωριστές παραγράφους. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την κάτωψη, πλάγια και πίσω όψη, ενώ για εποπτικούς λόγους παρουσιάζουμε την μπροστά όψη σε προοπτική (σχήμα 5.15).

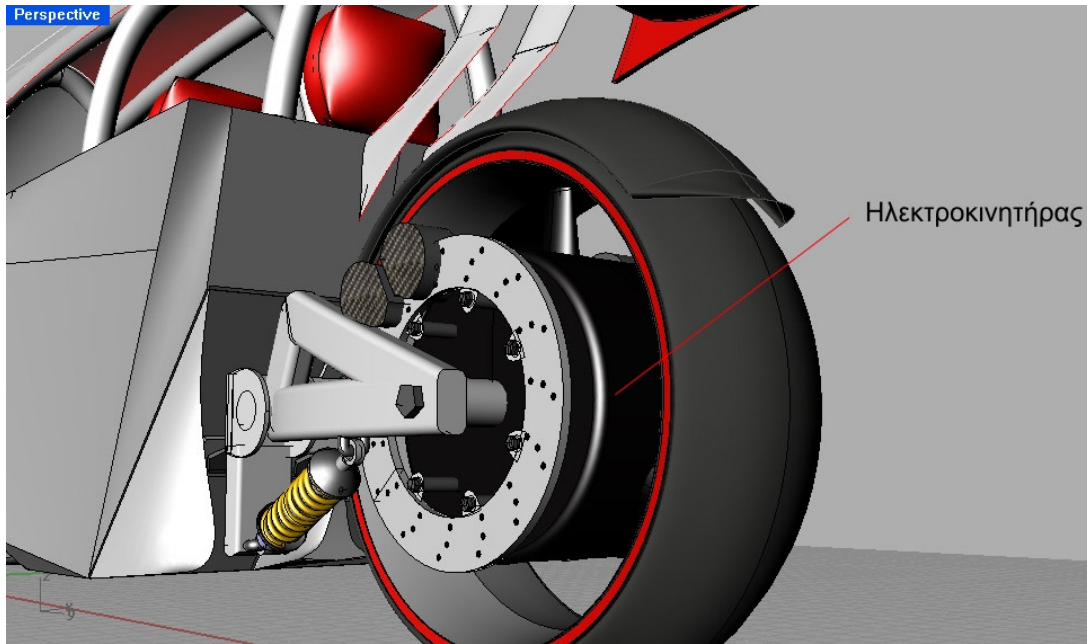


**Σχήμα 5.15**

Το ολικό μήκος του οχήματος είναι δύο μέτρα και εβδομήντα εκατοστά ενώ το φάρδος του δεν ξεπερνά τα εβδομήντα τέσσερα εκατοστά. Το ύψος του μέχρι το ανώτερο σημείο της οροφής είναι ένα μέτρο και τρία εκατοστά. Το βάρος όλης της κατασκευής υπολογίζεται προσεγγιστικά στα 250 κιλά (ενδεικτικά αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά της μηχανής Yamaha R1 : 205 X 72 X 106 cm<sup>3</sup> μήκος x πλάτος x ύψος και βάρος 173 kg). Ο χώρος των επιβατών είναι στεγανός, προφυλάσσοντας έτσι τους επιβαίνοντες από τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες.

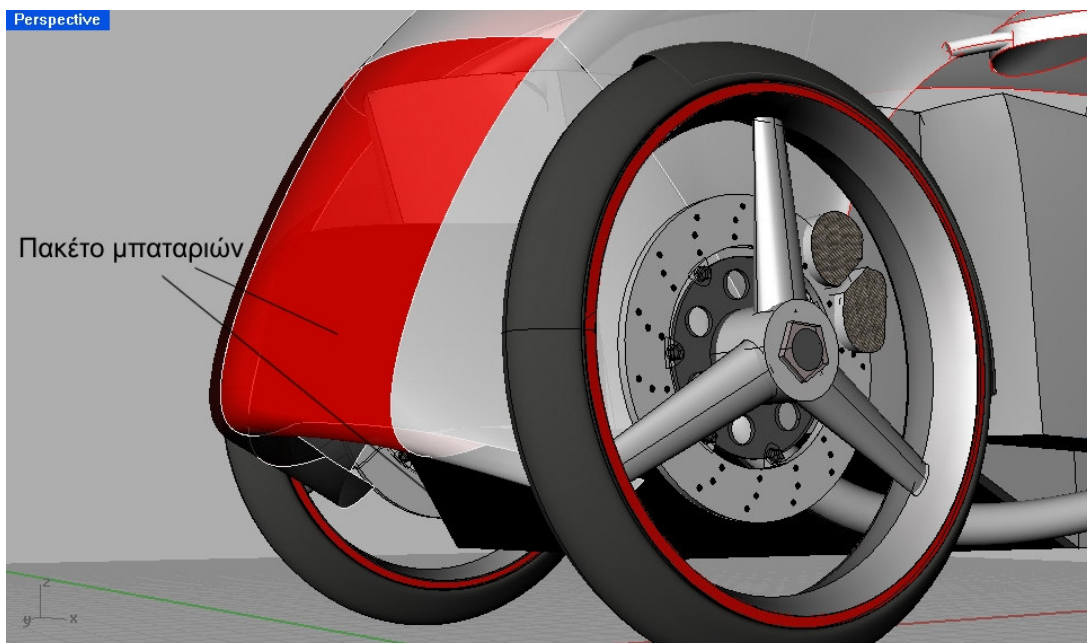
Κινείται με ηλεκτροκινητήρα (hub motor) ονομαστικής ισχύος 14,4 Kw, ο οποίος είναι τοποθετημένος εντός της πίσω ρόδας (σχήμα 5.16). Η μέγιστη ροπή του κινητήρα στο σημείο υπερφόρτωσης, που μπορεί να διαρκέσει έως και τριάντα δευτερόλεπτα χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα υπερθέρμανσης των τυλιγμάτων, είναι 640 Nm. Μεταξύ ρόδας και κινητήρα δεν παρεμβάλλεται κιβώτιο ταχυτήτων. Για ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα 1092 rpm το όχημα αναπτύσσει την τελική ταχύτητα των 130 χιλιομέτρων ανά ώρα.





**Σχήμα 5.16**

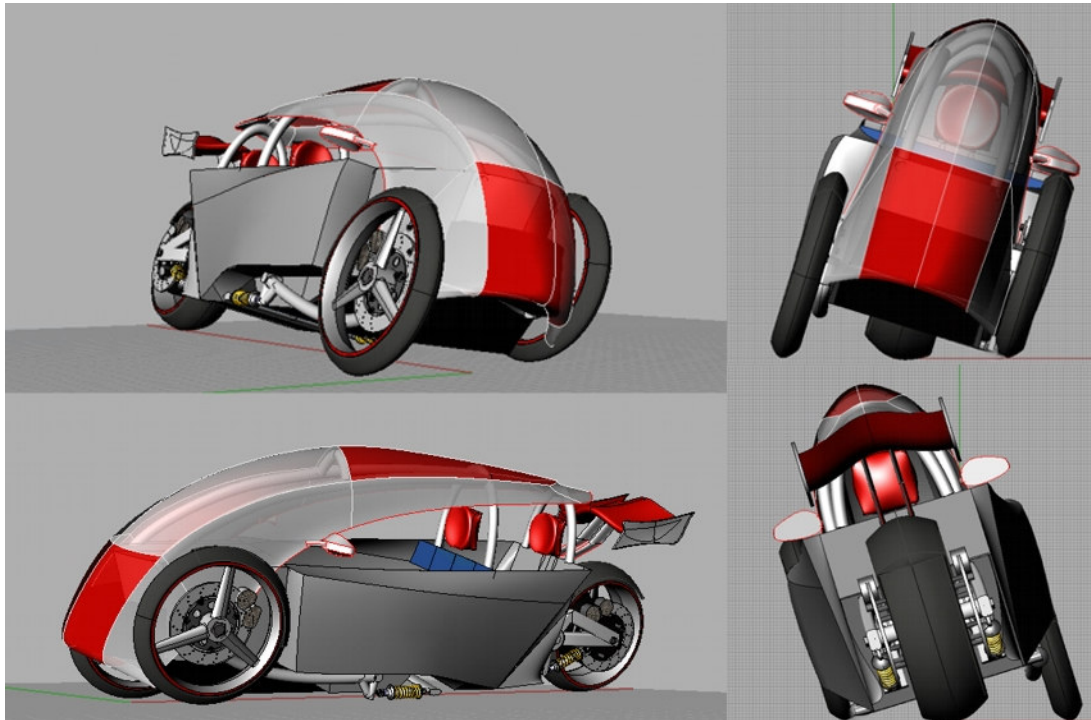
Τον ηλεκτροκινητήρα αναλαμβάνουν να τροφοδοτήσουν μπαταρίες λιθίου ιόντων συνολικής χωρητικότητας 10 Kwh και βάρους 77 κιλών, οι οποίες είναι τοποθετημένες στο εμπρός και κάτω μέρος του οχήματος (σχήμα 5.17). Το πακέτο αυτό μπαταριών προσδίδει στο όχημα αυτονομία 100 χιλιομέτρων ενώ όταν η φόρτιση γίνεται σε συμβατικό δίκτυο απαιτούνται 5 ώρες για την πλήρη φόρτισή τους.



**Σχήμα 5.17**

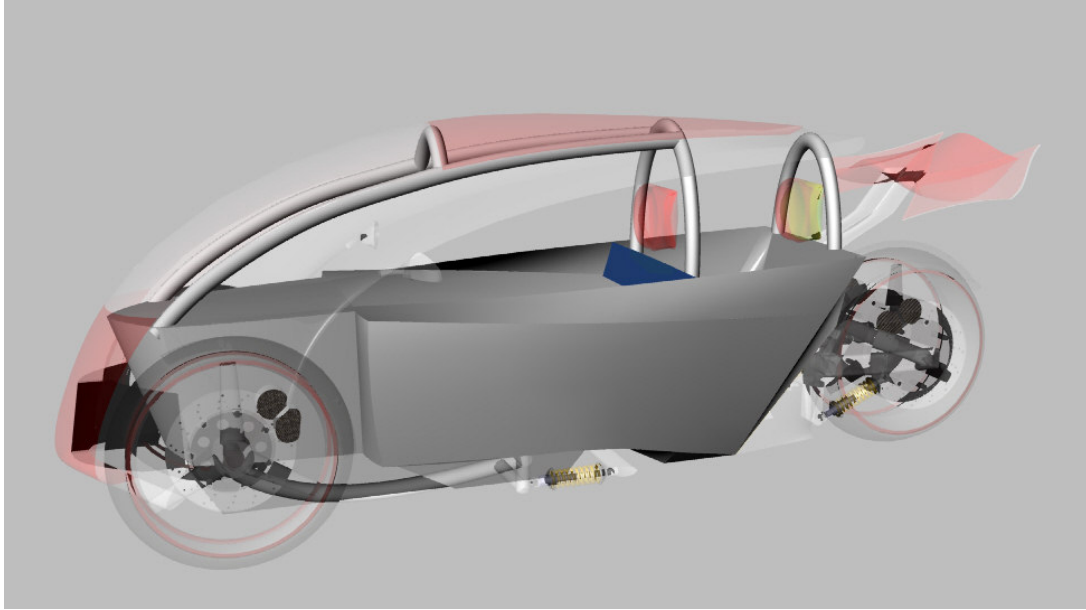
Το τιμόνι περιστρέφει τον πίσω τροχό, για λόγους απλούστευσης της κατασκευής, ενώ ένας αισθητήρας πλευρικής επιτάχυνσης αναλαμβάνει να

δώσει την απαραίτητη κλίση στο όχημα ώστε αυτό να είναι ευσταθές παρά το μικρό του φάρδος. Έτσι για μικρές ταχύτητες, η κλίση του οχήματος είναι ελάχιστη καθώς δεν ασκούνται στο όχημα μεγάλες πλευρικές δυνάμεις, ενώ σε μεγάλες ταχύτητες ακόμα και σε μικρή γωνία στροφής της ρόδας το όχημα παίρνει μεγάλες κλίσεις (σχήμα 5.18).



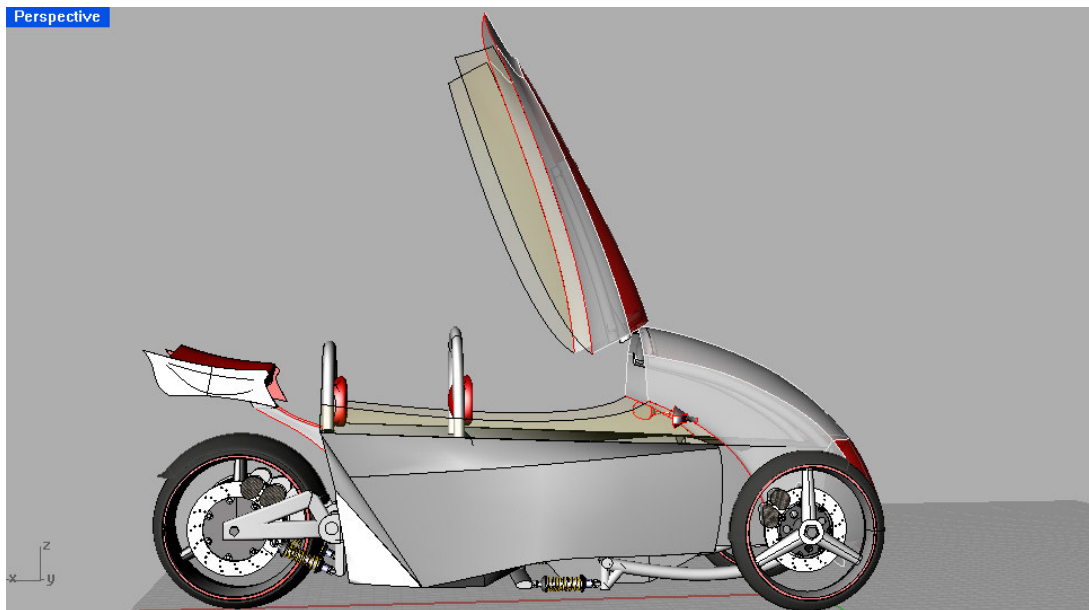
**Σχήμα 5.18**

Το σασί είναι κατασκευασμένο από ίνες γυαλιού (fibreglass) ενώ για την ενίσχυση της αντοχής του γίνεται χρήση υλικών τύπου “ σάντουιτς ” ,όπως θα δούμε αναλυτικότερα σε άλλη παράγραφο. Οδηγός και συνοδηγός βρίσκονται προστατευμένοι μέσα σε ένα monocoque, το οποίο είναι ένα κλουβί από σύνθετα υλικά. Σε περίπτωση ανατροπής, μπάρες που είναι τοποθετημένες στην οροφή εμποδίζουν τη σκεπή του οχήματος να υποχωρήσει προς τους επιβάτες, προσδίδοντας ταυτόχρονα ακαμψία στην κατασκευή (σχήμα 5.19). Σε περίπτωση τρακαρίσματος, σκοπός είναι να σπάσουν όλα τα περιφερειακά μέρη απορροφώντας την ενέργεια της κρούσης ενώ το σασί και οι μπάρες να παραμείνουν απαραμόρφωτα.



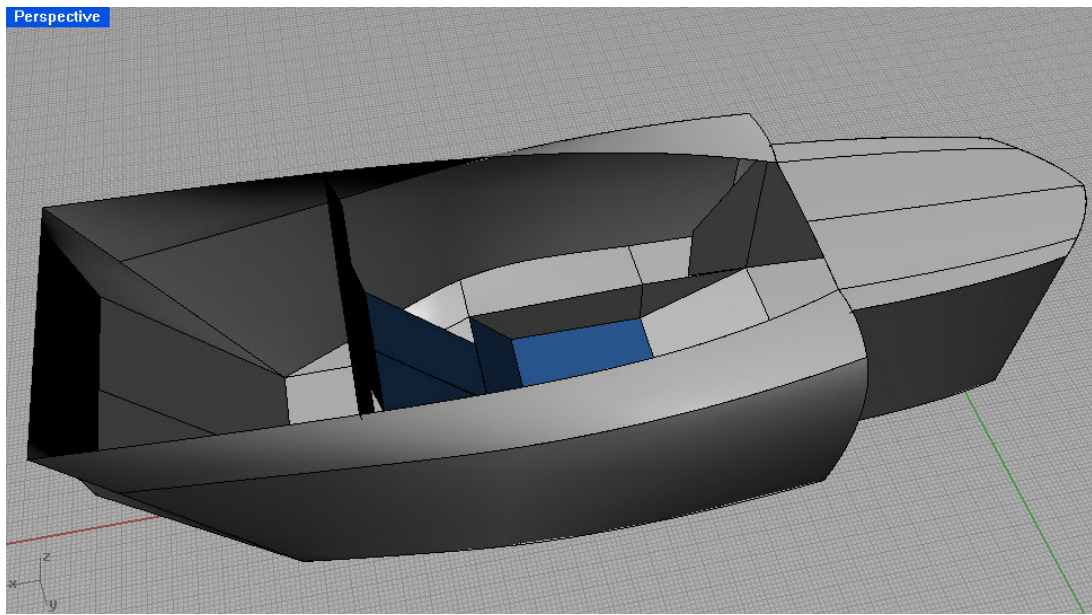
**Σχήμα 5.19**

Η είσοδος των επιβατών γίνεται από επάνω αφού πρώτα ανοίξει τμήμα της γυάλινης οροφής,σηκώνοντας μαζί της ένα μέρος από τις μπάρες (σχήμα 5.20).

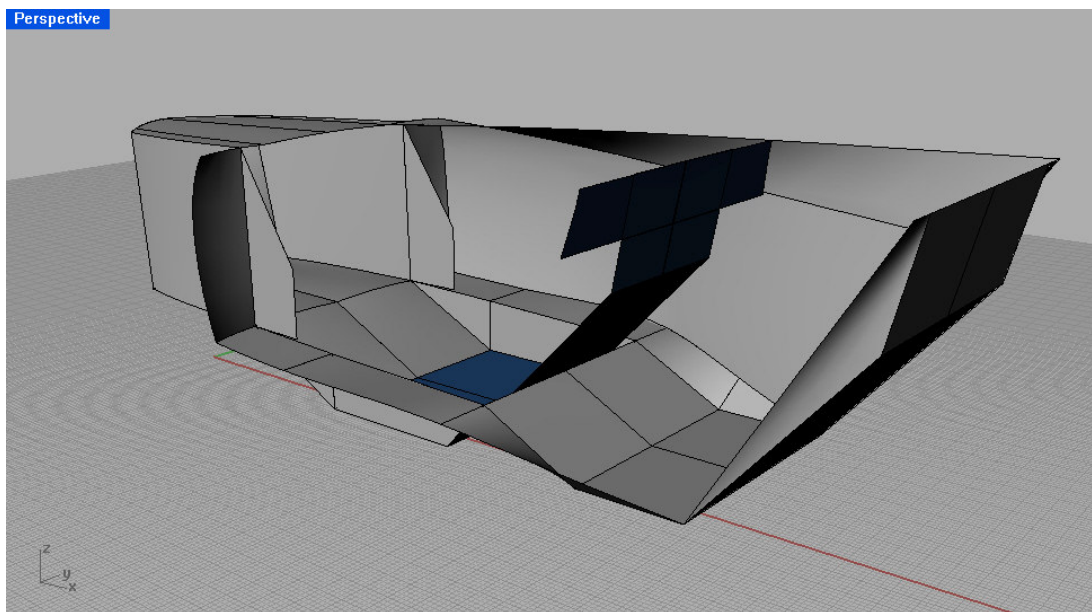


**Σχήμα 5.20**

Η θέση του οδηγού φαίνεται με χρώμα μπλέ και τα πόδια του φτάνουν μέχρι το τέρμα εμπρός σημείο του σασί.Ο συνοδηγός αγκαλιάζει με τα πόδια του τον οδηγό και η πλάτη του οριοθετεί το τέρμα πίσω σημείο του σασί (σχήμα 5.21).Στο σχήμα 5.22 φαίνεται σε τομή το σασί και διακρίνονται εύκολα οι θέσεις των επιβατών.



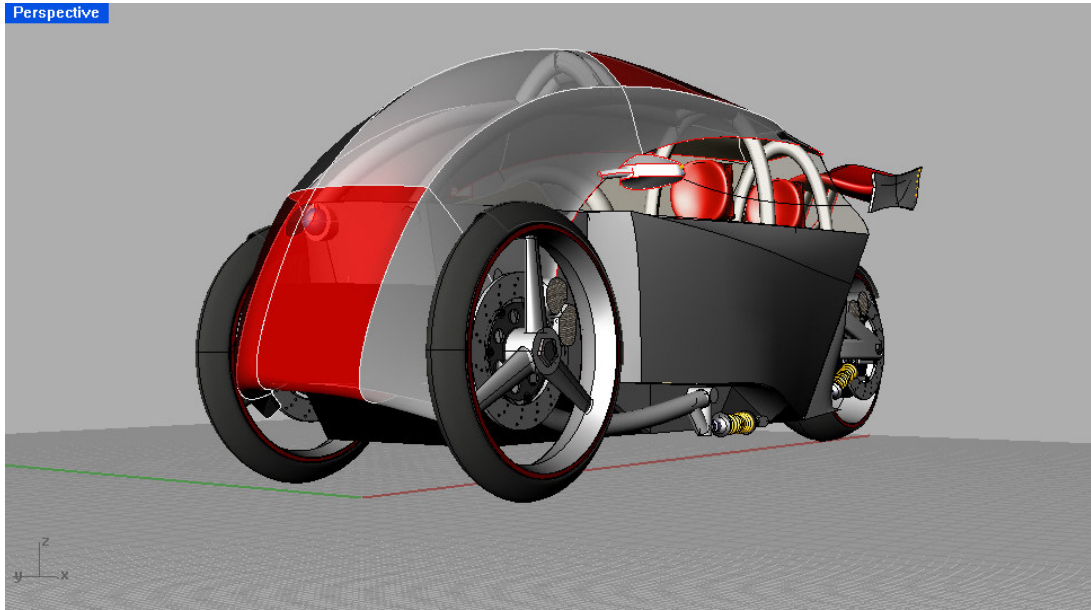
**Σχήμα 5.21**



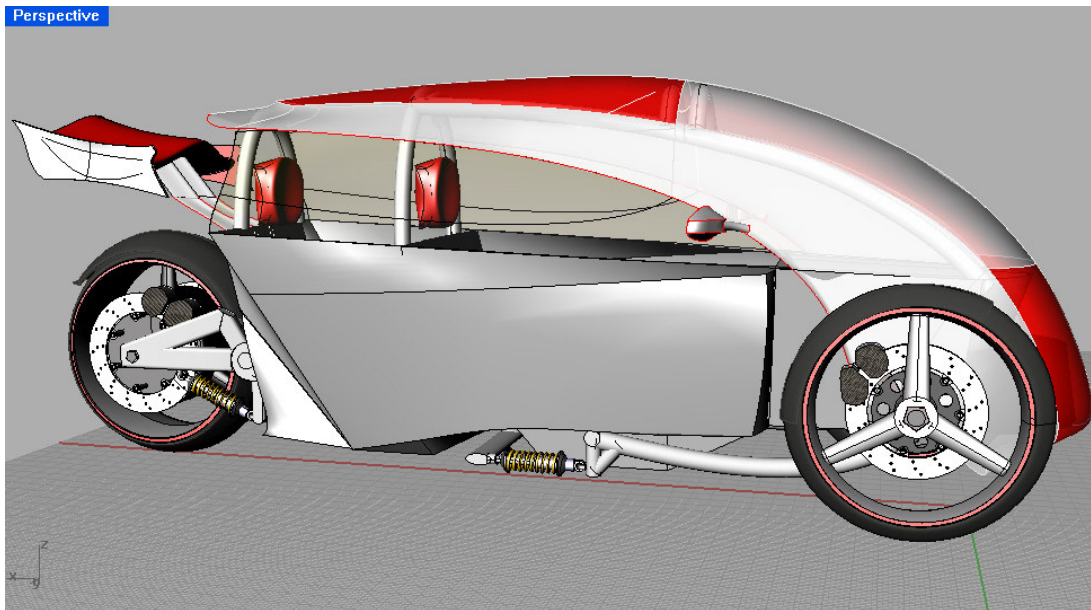
**Σχήμα 5.22**

Ακολουθούν περισσότερες φωτογραφίες για την καλύτερη αντίληψη του σχήματος του οχήματος.



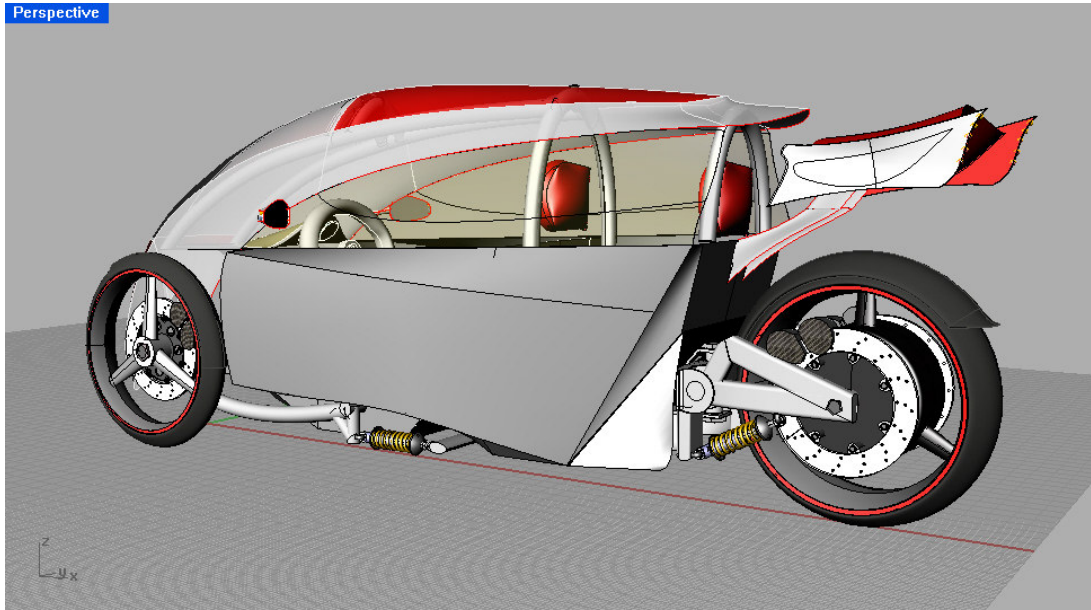


Σχήμα 5.23

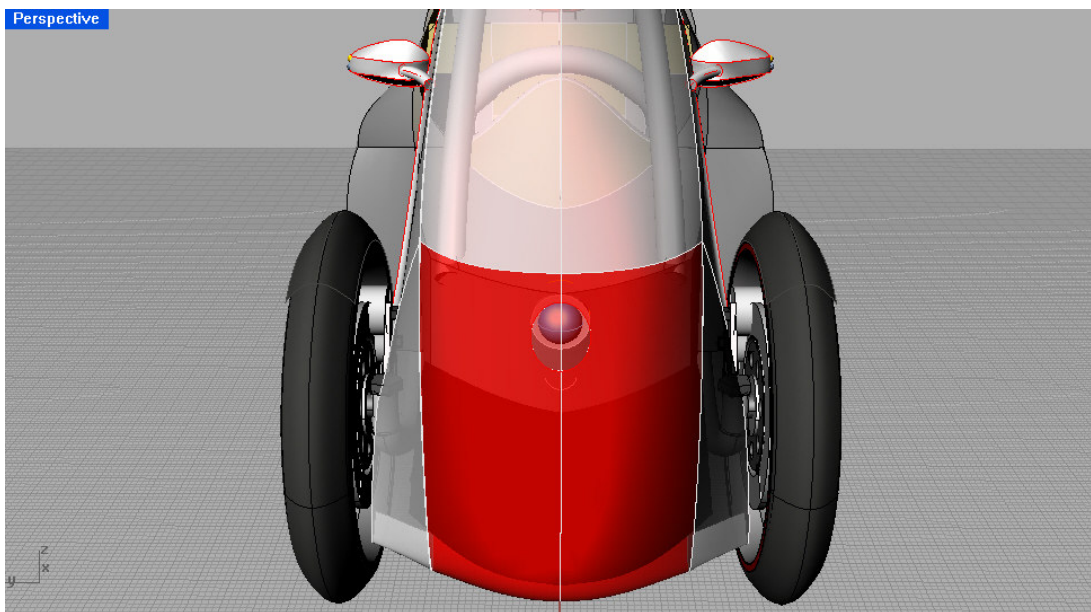


Σχήμα 5.24

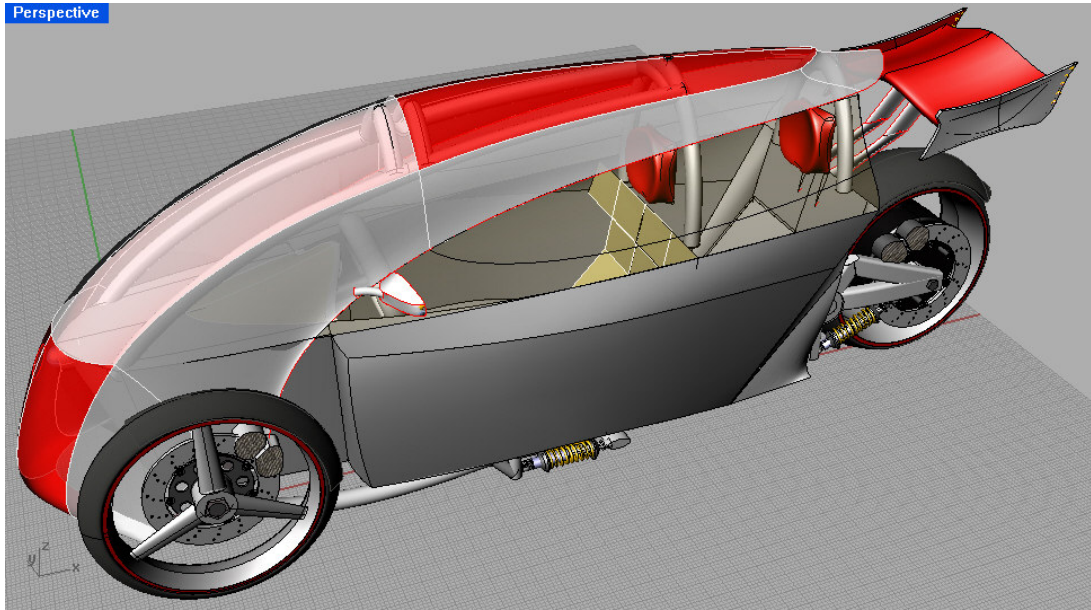




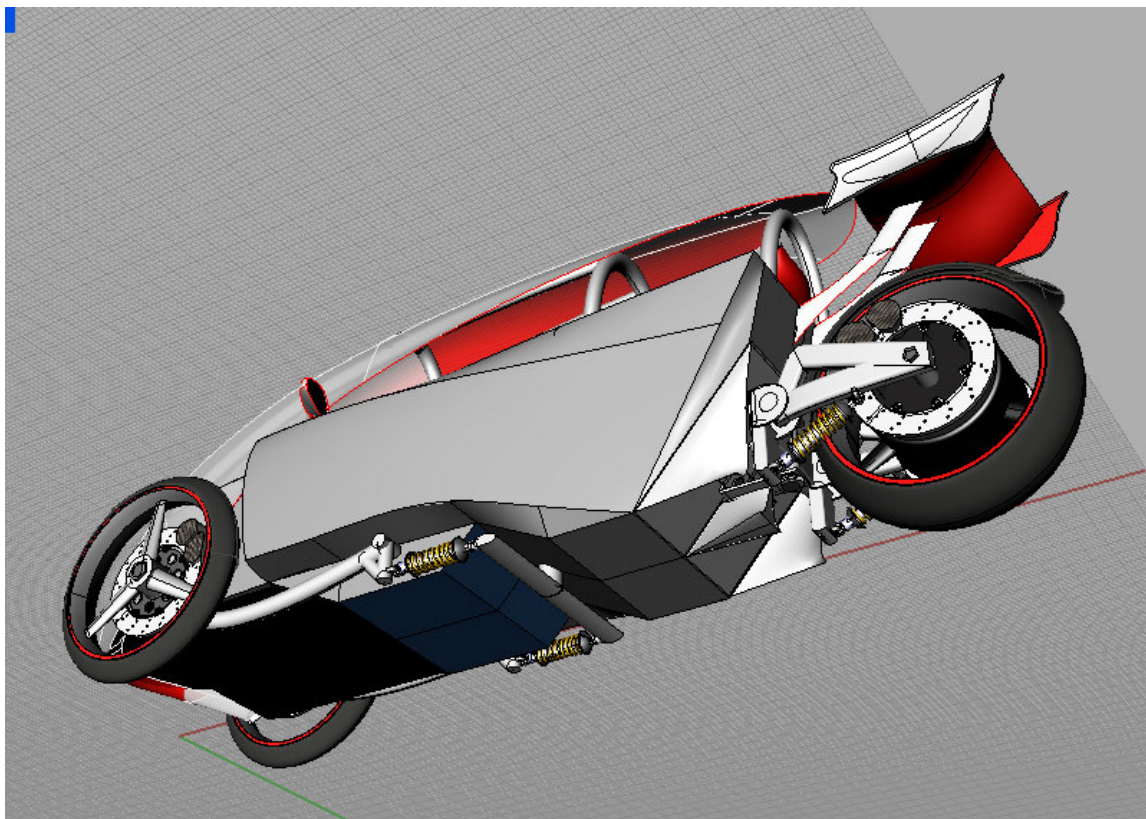
Σχήμα 5.25



Σχήμα 5.26

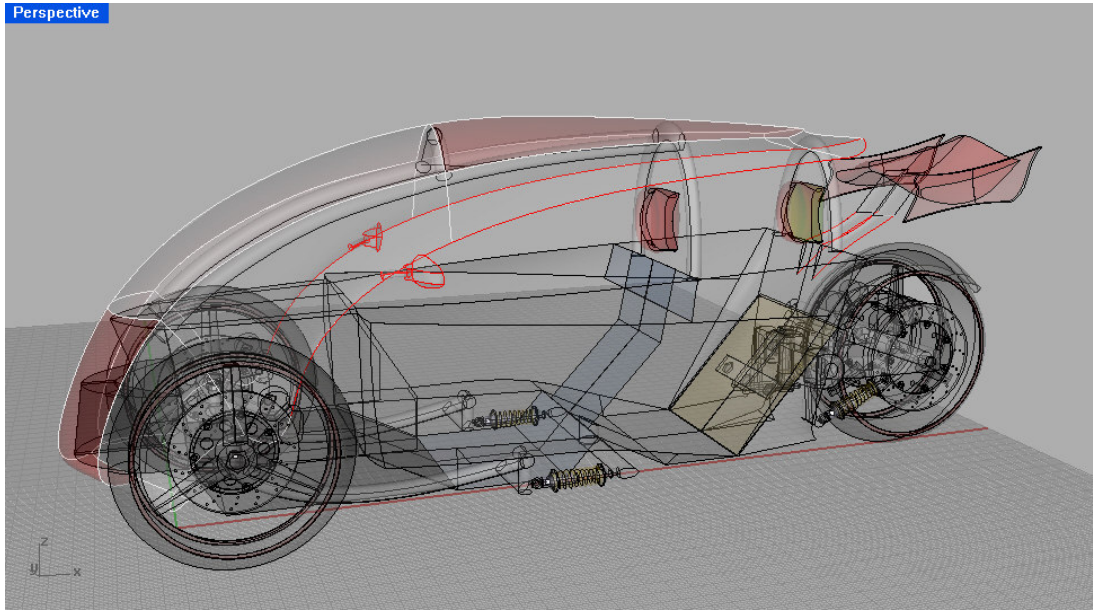


**Σχήμα 5.27**

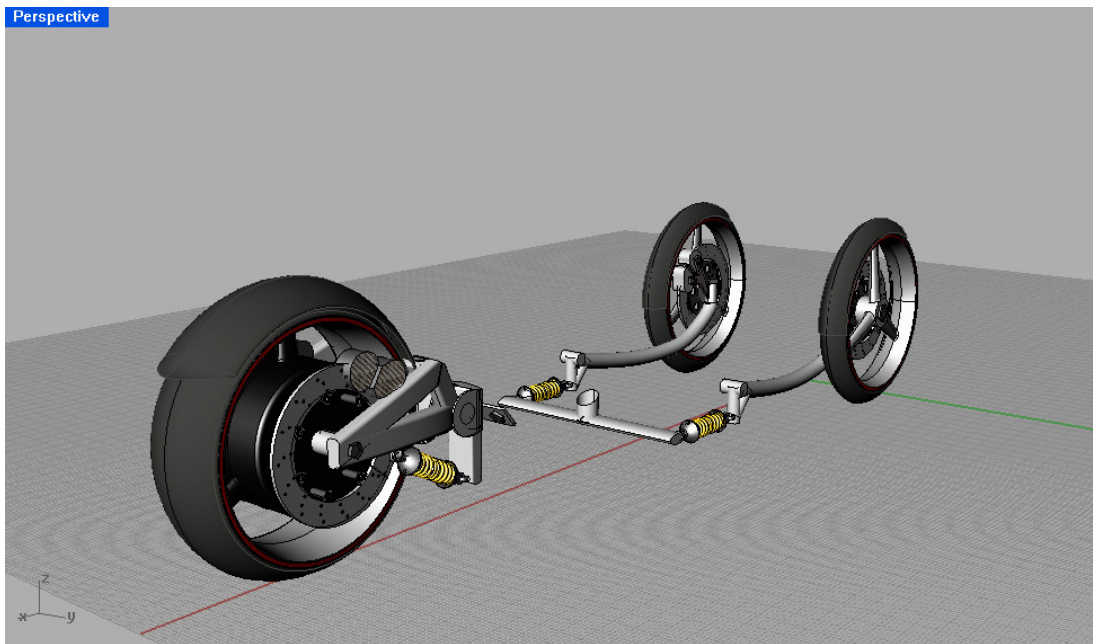


**Σχήμα 5.28**





**Σχήμα 5.29**



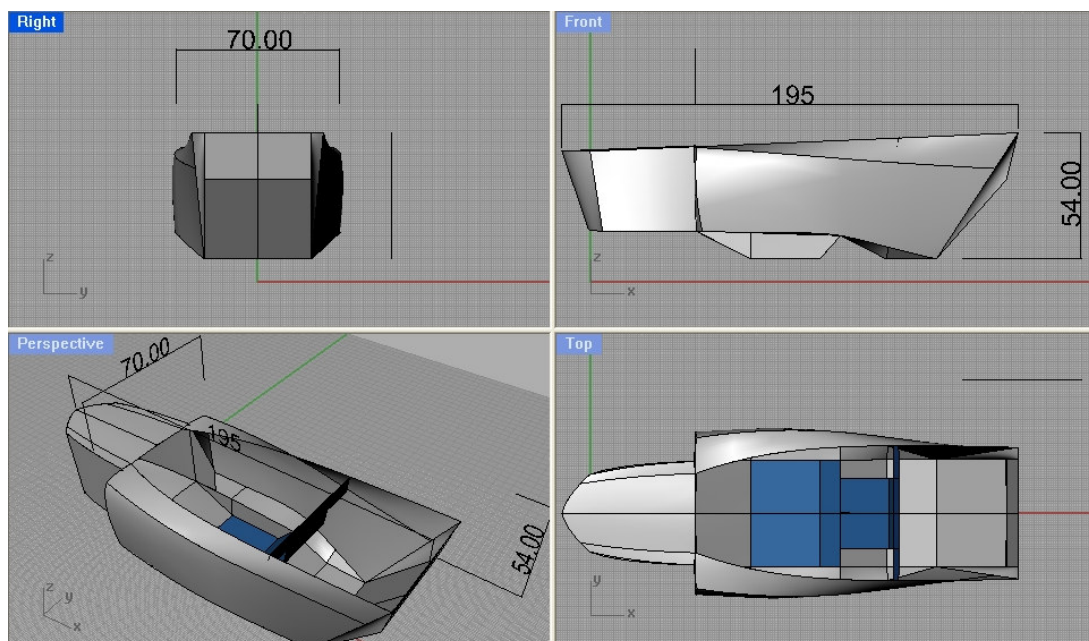
**Σχήμα 5.30**

## 5.5 ΣΑΣΙ

### 5.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

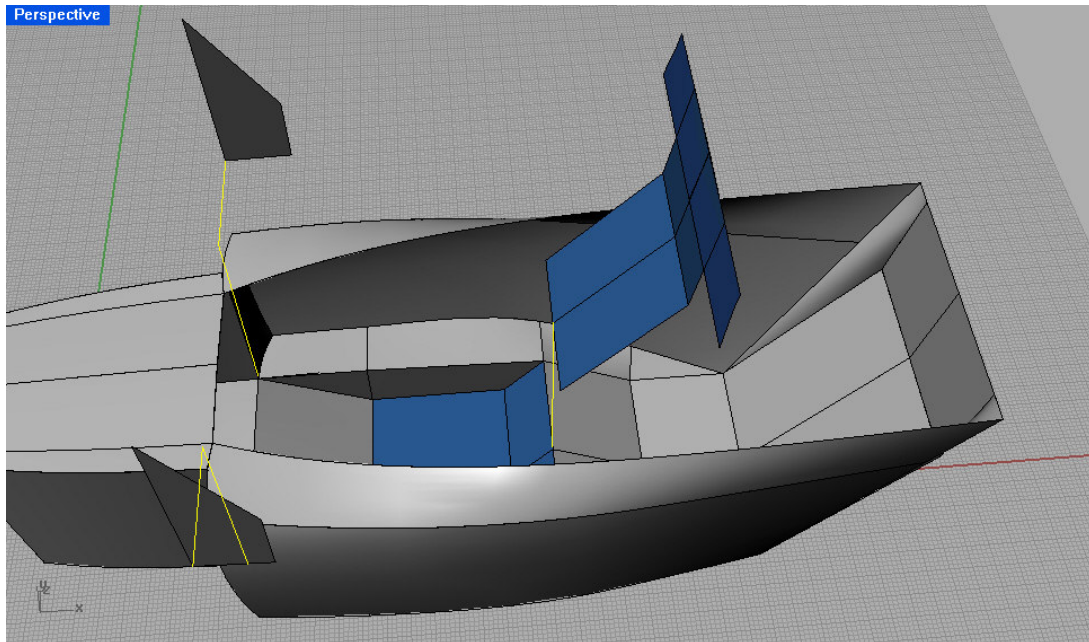
Το σασί μπορεί να κατασκευαστεί είτε από σύνθετα υλικά είτε από μέταλλο. Όπως αναφέραμε αναλυτικά στο αρχικό τμήμα της εργασίας, κλασική περίπτωση μεταλλικού σασί αποτελεί το χωροδικτύωμα. Ανάλογα με την σχεδίαση και την τοποθέτηση των ράβδων που το αποτελούν, μπορεί να επιτευχθεί πολύ καλή σχέση βάρους-ακαμψίας ενώ ταυτόχρονα το κόστος της κατασκευής να είναι χαμηλό. Στην περίπτωση όμως του οχήματος της εργασίας, το σασί θα κατασκευαστεί από σύνθετα υλικά καθώς συγκριτικά με το χωροδικτύωμα μπορούμε να πετύχουμε μείωση βάρους. Επίσης, η ειδική απαίτηση για ελαχιστοποίηση του συνολικού φάρδους του οχήματος δημιουργεί μεγάλο πρόβλημα χώρου στην καμπίνα των επιβατών καθώς οι μπάρες καταλαμβάνουν πολύ περισσότερο όγκο από ότι ένα λεπτό κέλυφος από σύνθετα υλικά. Εξίσου σημαντική είναι και η επιπλέον εργασία, συνεπώς και κόστος, που απαιτείται προκειμένου να κλείσουν τα κενά του δικτυώματος ώστε να έχουμε στεγανό χώρο επιβατών.

Από όλες τις μεθόδους μορφοποίησης συνθέτων υλικών που παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο της διαθέσιμης τεχνολογίας, θα επιλέξουμε αυτήν που μας επιτρέπει κατασκευή με απλά μέσα χωρίς τη χρήση ακριβού εξοπλισμού, όσο αυτό είναι δυνατό.

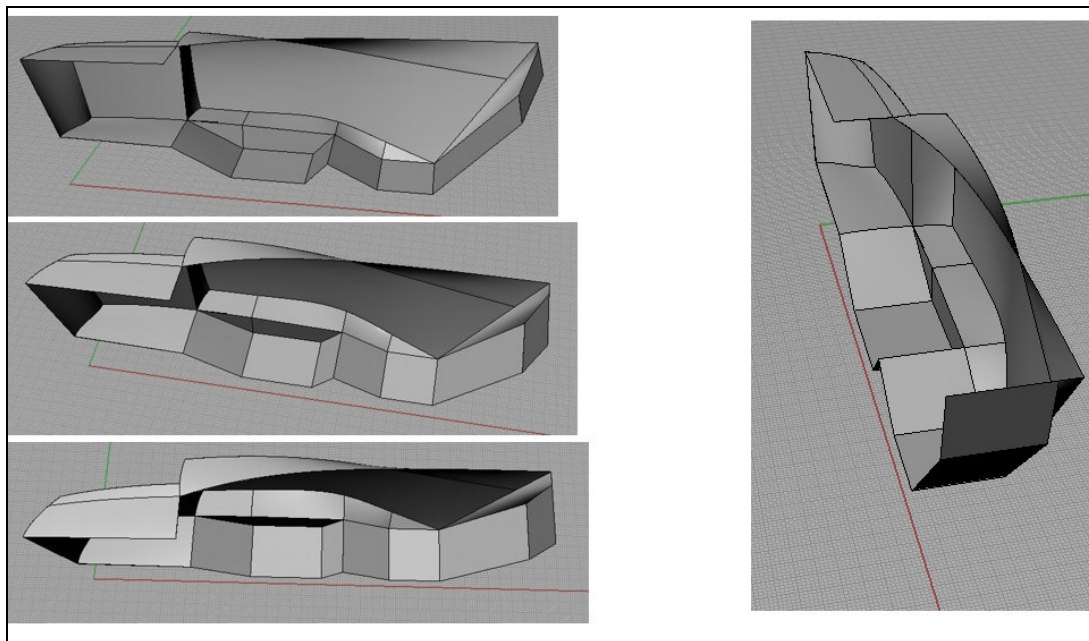


Σχήμα 5.31

Προτιμάμε για λόγους αντοχής το σασί να κατασκευαστεί σε ένα μονοκόμματο τμήμα (monocoque ή αλλιώς “μπανιέρα”). Η πλάτη του καθίσματος του οδηγού καθώς και τα χωρίσματα των ποδιών του συνοδηγού δεν αποτελούν τμήμα του monocoque και έτσι φτιάχνονται χωριστά και μετά προσδένονται στο σασί όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 5.32**

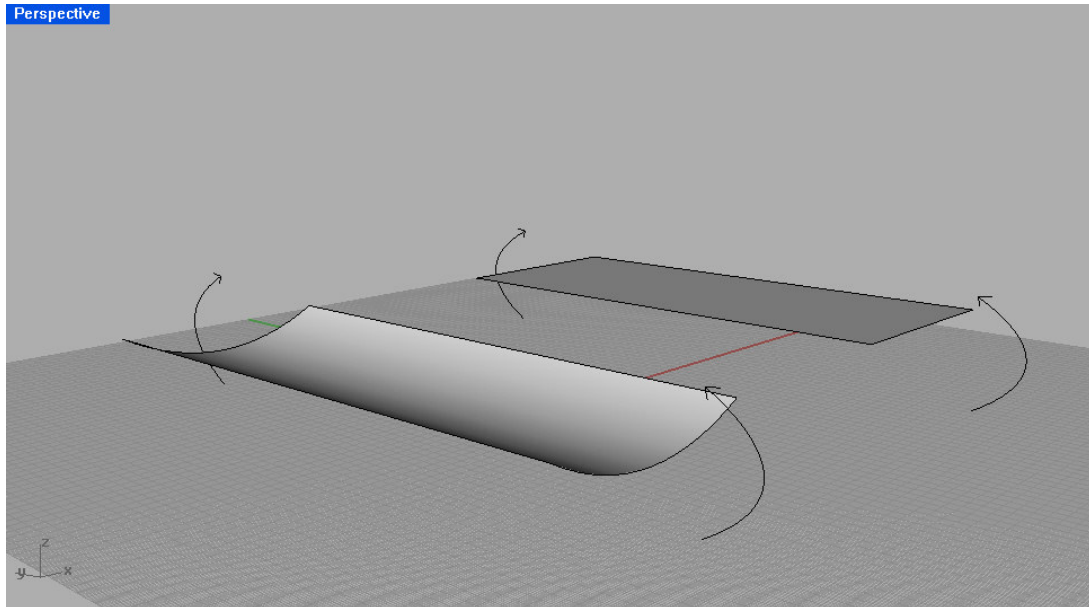


**Σχήμα 5.33**

Η τομή στο παραπάνω σχήμα δείχνει την εσωτερική διαμόρφωση του monocoque. Οι πτυχώσεις που σχηματίζουν τους χώρους των επιβατών, εκτός από λειτουργικό ρόλο, αυξάνουν σημαντικά την αντοχή του σασί χωρίς να



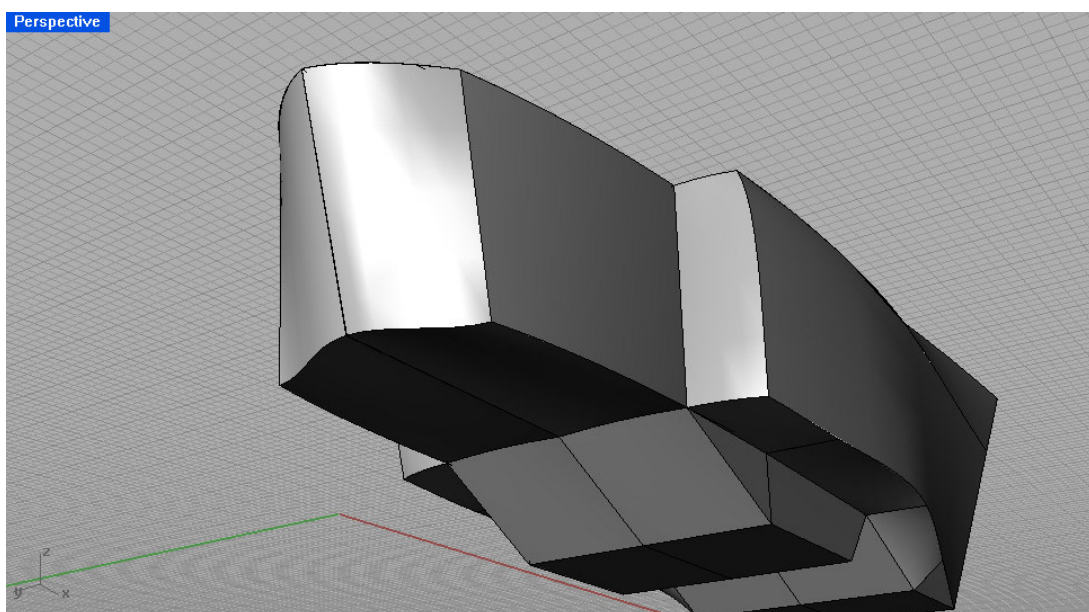
προσθέτουν επιπλέον βάρος (δημιουργία νεύρων). Για τον ίδιο ακριβώς λόγο δίνουμε στις μεγάλες επιφάνειες καμπυλότητα σε κατεύθυνση κάθετη από αυτήν που τείνουν να καμφθούν. Στο σχήμα 5.34 επεξηγείται ο ρόλος της καμπύλωσης της επιφάνειας στην αντοχή της σε κάμψη.



**Σχήμα 5.34**

Οι δύο επιφάνειες είναι κατασκευασμένες από δύο ίδια τεμάχια, ενώ στην μπροστά δίνουμε καμπυλότητα. Είναι προφανές ότι η μπροστά επιφάνεια έχει καλύτερη αντοχή σε κάμψη, αν η ροπή ασκείται όπως δείχνει το σχήμα.

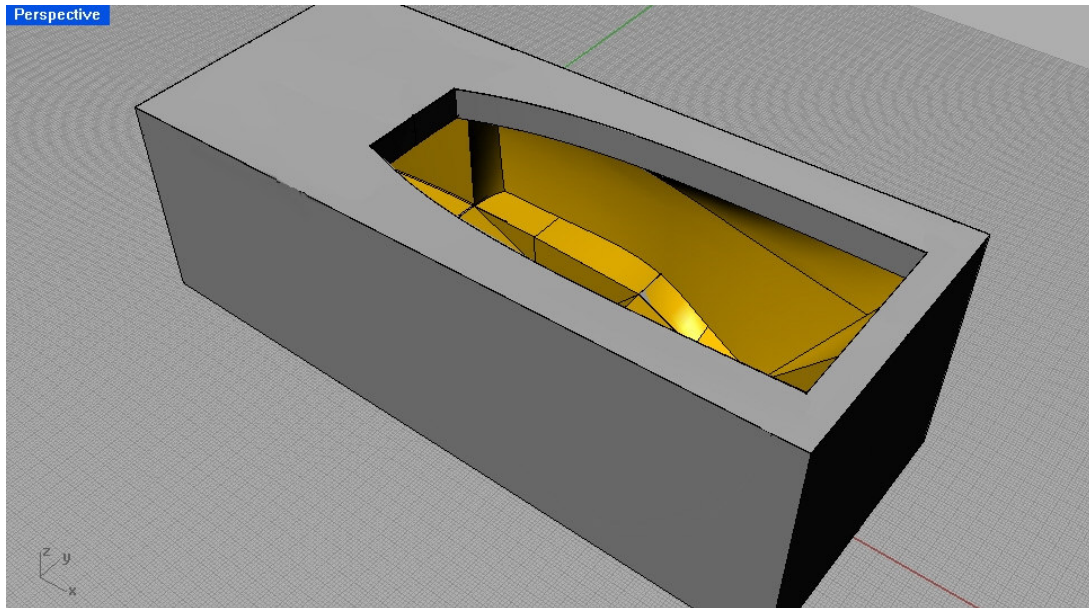
Τα σχήματα 5.33 και 5.35 δείχνουν ότι όπου αυτό είναι δυνατό, δημιουργούμε καμπυλότητα (κούρμπα).



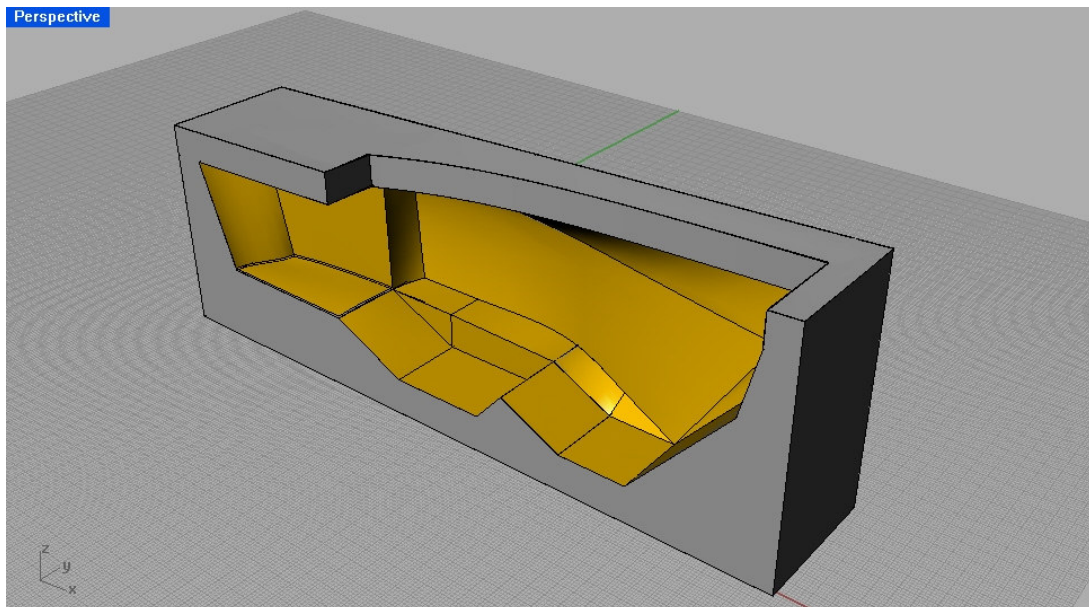
**Σχήμα 5.35**

## 5.5.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ

Προκειμένου η διαδικασία κατασκευής του σασί να έχει επαναληψιμότητα, χρησιμοποιώντας κάθε φορά το ίδιο καλούπι, θα χρειαστεί να φτιαχτεί το θηλυκό της μορφής του σασί. Με τον όρο θηλυκό καλούπι εννοούμε την κοιλότητα που δημιουργείται από την τομή ή αλλιώς αφαίρεση του όγκου του σασί από ένα μεγαλύτερο όγκο που περικλείει το σασί. Στο σχήμα 5.36 φαίνεται η κοιλότητα με χρώμα κίτρινο ενώ ακολουθεί όψη σε τομή.



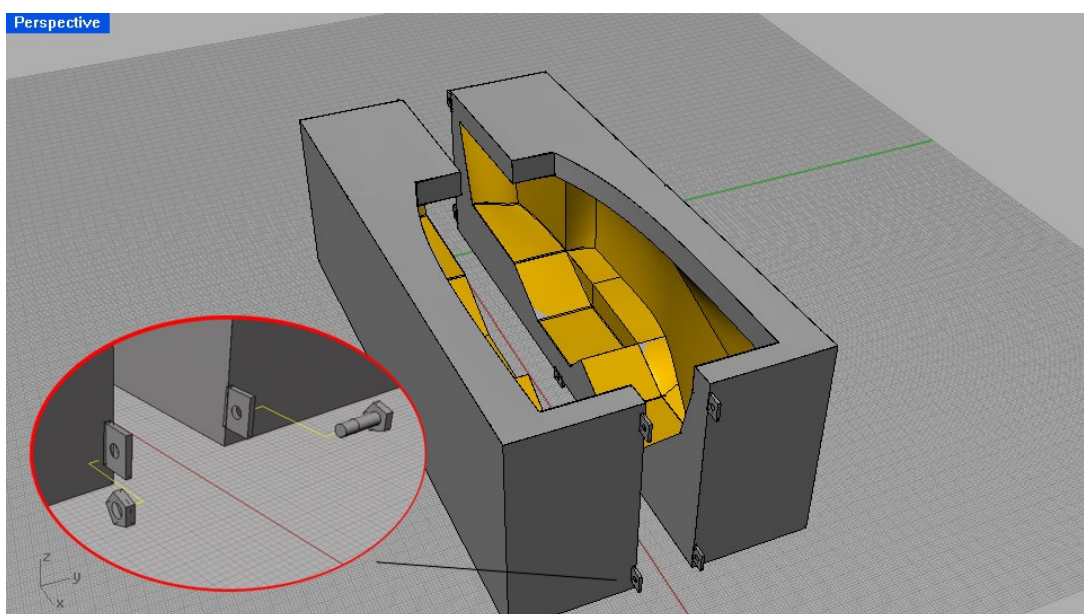
Σχήμα 5.36



Σχήμα 5.37

Η κίτρινη επιφάνεια είναι αυτή πάνω στην οποία θα αρχίσει σταδιακά να δημιουργείται το σασί μετά από επάλληλες στρώσεις φύλλων πανιού. Η διαδικασία της μορφοποίησης των σύνθετων υλικών θα παρουσιαστεί εκτενώς παρακάτω, όπου και θα γίνει κατανοητό γιατί χρησιμοποιούμε θηλυκό καλούπι.

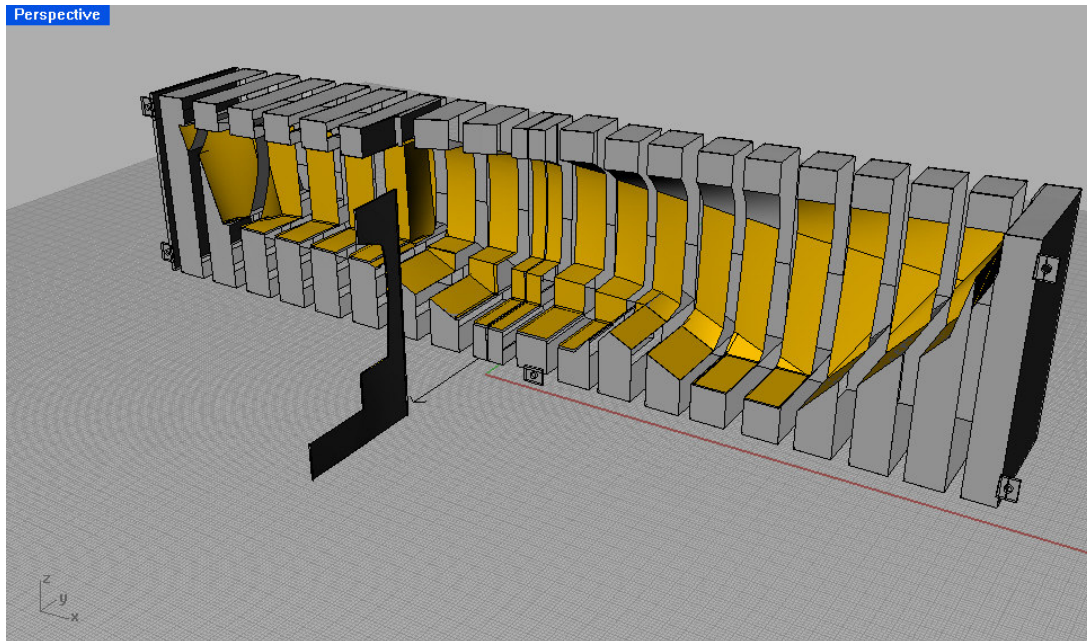
Προκειμένου να μπορέσει να γίνει η απομάκρυνση του σασί μέσα από την κοιλότητα απαιτείται το καλούπι να μπορεί να ανοίγει με κάποιο τρόπο. Για το λόγο αυτό, κατασκευάζουμε το καλούπι έτσι ώστε να αποτελείται από δύο μέρη (διαιρούμενο). Το σχήμα 5.38 δείχνει το καλούπι ανοιχτό, ενώ σε λεπτομέρεια φαίνεται ο τρόπος συγκράτησης των δύο μερών του, με την βοήθεια 6 κοχλιών.



**Σχήμα 5.38**

Το καλούπι είναι κατασκευασμένο από αλληπάλληλα φύλλα κόντρα πλακέ ή ξύλα balsa κολλημένα μεταξύ τους, τα οποία έχουν δημιουργηθεί από εγκάρσιες τομές του τρισδιάστατου σχεδίου σε απόσταση ίση με το πάχος του κόντρα πλακέ. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή στη ναυπηγική, όπου χωρίζεται η γάστρα σε νομείς προκειμένου να μπορέσει να κατασκευαστεί. Όσο πιο λεπτό είναι το φύλλο, τόσο μεγαλώνει η ακρίβεια του καλουπιού. Η εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού (κίτρινο χρώμα) πρέπει να λειανθεί, έτσι ώστε η επιφάνεια του σύνθετου υλικού που θα βγάλουμε να έχει ικανοποιητική όψη και επιθυμητή τραχύτητα. Στο σχήμα 5.39 διακρίνονται τα φύλλα κόντρα πλακέ που όταν ενωθούν θα σχηματίσουν το καλούπι. Στην πραγματικότητα οι τομές είναι πυκνότερες, για εποπτικούς λόγους όμως, δείχνουμε φέτες μεγαλύτερου πάχους εκτός από αυτήν που έχουμε μετακινήσει εκτός σχήματος, η οποία είναι στο πραγματικό της πάχος.





**Σχήμα 5.39**

Τα φύλλα balsa μπορούν εύκολα να τυπωθούν και να κοπούν σε ειδικό plotter. Αν επιλέξουμε balsa πάχους πέντε χιλιοστών τότε για όλο το σασί θα χρειαστούμε περίπου τετρακόσια φύλλα, που σημαίνει ότι θα κάνουμε στο τρισδιάστατο μοντέλο του υπολογιστή τετρακόσιες διαμήκεις τομές. Σαν διαδικασία σαφώς και είναι επίπονη, παρ'όλα αυτά οποιαδήποτε άλλη μέθοδος θα απαιτούσε πολύ μεγαλύτερο κόστος καθώς οι φρέζες CNC έχουν μεγάλο κόστος λειτουργίας ενώ για τις διαστάσεις του αντικειμένου που θέλουμε να καταργαστούμε, είναι δυσεύρετες.

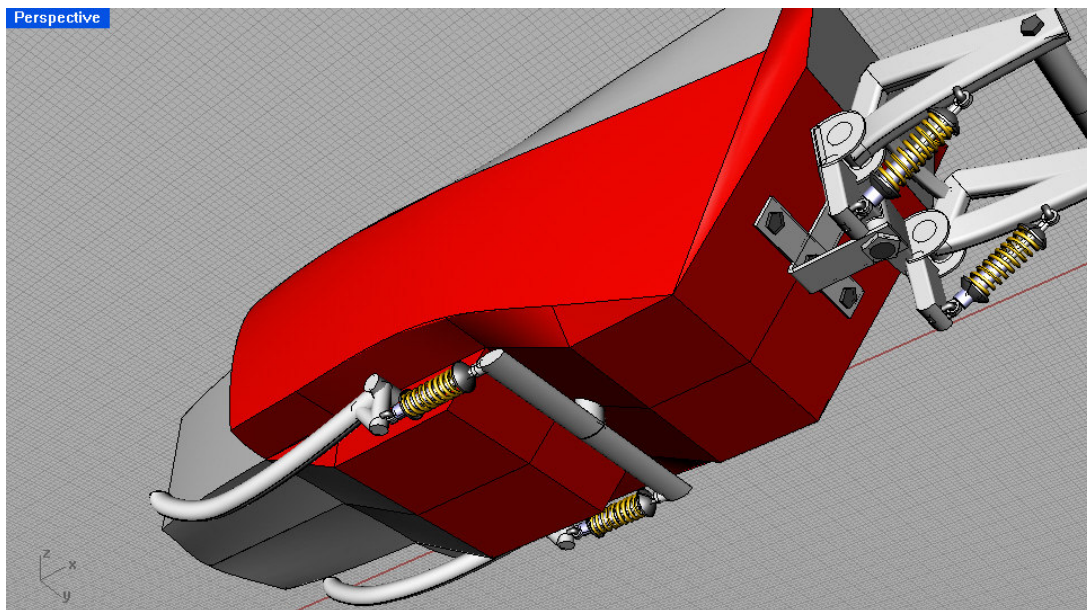
Η εσωτερική επιφάνεια αφού τριφτεί πρέπει να περαστεί με ένα λεπτό φιλμ από πολυεστερικό στόκο (στοκάρισμα) προκειμένου να αποκτήσει την απαιτούμενη σκληρότητα και στιβαρότητα που θα επιτρέπει στο καλούπι να διατηρεί το σχήμα του και να μην φθείρεται κατά την χρήση.

### **5.5.3 ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ**

Επειδή το σασί αποτελείται από αλληπάλληλες στρώσεις πανιών ενίσχυσης στερεοποιημένες εντός μιας μήτρας, είναι προφανές ότι η αντοχή του μπορεί να ποικίλει από σημείο σε σημείο, άμεσα εξαρτημένη από τον αριθμό των στρώσεων του σύνθετου. Έτσι, προτού προχωρήσουμε στην μορφοποίηση του υλικού πρέπει πρώτα να έχουμε κατανοήσει σε ποιά σημεία του σασί ασκούνται οι φορτίσεις και πώς κατανομονται οι τάσεις σε αυτό. Ο καθορισμός της διεύθυνσης στην οποία ασκούνται οι τάσεις θα υποδείξει τον

προσανατολισμό των πανιών στο καλούπι, προκειμένου να έχουμε την μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της αντοχής του σύνθετου.

Μία πρώτη εκτίμηση της ανάλυσης των τάσεων δείχνει ότι η περιοχή του σασί που καταπονείται εντονότερα είναι αυτή που φαίνεται με κόκκινο χρώμα στο σχήμα 5.40. Αν και το εμπρός τμήμα του σασί, στο οποίο βρίσκονται τα πόδια του οδηγού, δεν καταπονείται ιδιαίτερα λόγω της γεωμετρίας της κατασκευής, πρέπει και αυτό να ενισχυθεί κατάλληλα προκειμένου να προστατέψει τον οδηγό στην δυσάρεστη περίπτωση ενός τρακαρίσματος.



**Σχήμα 5.40**

Το υλικό της ενίσχυσης που θα χρησιμοποιηθεί είναι υαλούφασμα από γυαλί τύπου E με κάθετες κατευθύνσεις ινών (woven roving  $0^{\circ}/90^{\circ}$ ) και πυκνότητα  $2,55 \text{ gr/cm}^3$ . Η μήτρα θα είναι από εποξική ρητίνη που μετά τον εμποτισμό του πανιού δίνει σύνθετο με περιεκτικότητα κατά όγκο σε ίνες ενίσχυσης 33%. Η αντοχή του σύνθετου σε εφελκυσμό, σε διεύθυνση παράλληλη και κάθετη στην ίνα είναι 360 MPa (325 MPa για το ατσάλι B quality) ενώ στις  $45^{\circ}$  από την ίνα η αντίστοιχη αντοχή μειώνεται σε 185 MPa. Τα αντίστοιχα όρια σε θλίψη είναι 240,205 και 122 MPa. Η πυκνότητα του σύνθετου είναι  $1,92 \text{ gr/cm}^3$  ενώ αν την συγκρίνουμε με του ατσαλιού που είναι  $7,80 \text{ gr/cm}^3$  γίνεται εύκολα αντιληπτό γιατί προτιμάμε την χρήση σύνθετων υλικών σε σχέση με τις συμβατικές μεταλλικές κατασκευές. Επειδή όμως το μέτρο ελαστικότητας του σύνθετου είναι αρκετά χαμηλό, 17 GPa εκεί που το ατσάλι έχει 207 GPa, δημιουργούμε τεχνάσματα με τις διατομές έτσι ώστε να αυξάνουμε την ροπή αδράνειάς τους, πετυχαίνοντας έτσι την επιθυμητή ακαμψία της κατασκευής. Ένα τέχνασμα είναι η δημιουργία καμπυλομένων ή πτυχωτών επιφανειών, όπως εξηγήσαμε προηγουμένως. Μια άλλη λύση αποτελεί η χρήση ενδιάμεσων υλικών sandwich, τα οποία τοποθετούμε

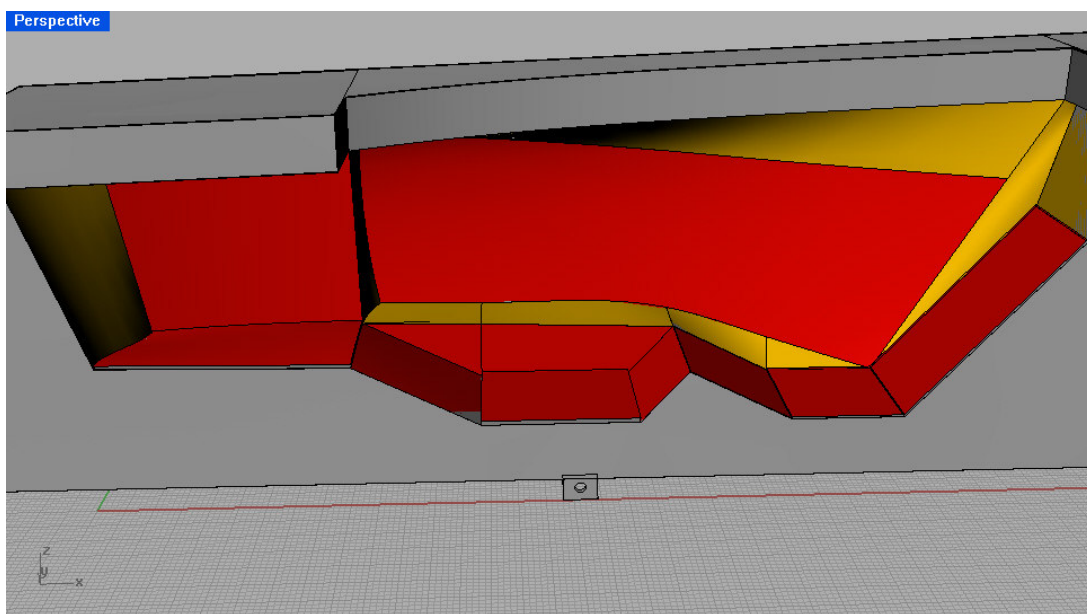


ανάμεσα στις στρώσεις των μεγάλων επιφανειών του σασί. Το υλικό θα είναι αφρώδης πυρήνας από PVC (χλωριούχο πολυβινύλιο) πυκνότητας  $0,075 \text{ gr/cm}^3$  που κατασκευάζεται σε εύκαμπτες πλάκες πάχους  $1 \text{ cm}$ . Ο ρόλος του είναι αυξήσει την διατομή της επιφάνειας, και συνεπώς την ακαμψία της, με ελάχιστη αύξηση βάρους, μιας και σαν υλικό είναι αφενός μεν πολύ ελαφρύ και αφετέρου δεν απορροφά μεγάλη ποσότητα ρητίνης.

Η συνολική επιφάνεια του σασί είναι  $35300 \text{ cm}^2$ . Αρχικά εκτιμάμε το πάχος του κελύφους του σασί σε  $5 \text{ mm}$  (χωρίς ενδιάμεσα υλικά) που σημαίνει ότι ο όγκος όλου του υλικού του σασί είναι  $17650 \text{ cm}^3$ . Με δεδομένο ότι η πυκνότητα του σύνθετου είναι  $1,92 \text{ gr/cm}^3$  υπολογίζουμε τελικά το βάρος του σασί σε  $34 \text{ κιλά}$ . Η περιεκτικότητα κατά όγκο σε ίνες είναι  $0,33$  που σημαίνει ότι ο όγκος του πανιού θα είναι  $5825 \text{ cm}^3$ , ενώ της ρητίνης  $11825 \text{ cm}^3$  ή  $12 \text{ λίτρα}$ . Η συνολική επιφάνεια στην οποία θα τοποθετηθεί αφρώδης πυρήνας είναι  $2 \text{ m}^2$ . Το συνολικό υλικό του πυρήνα που θα χρησιμοποιηθεί ζυγίζει  $1500 \text{ gr}$  και απορροφά  $800 \text{ gr}$  ρητίνης. Το πανί ζυγίζει περίπου  $15 \text{ κιλά}$  ενώ υπολογίζουμε προσεγγιστικά ότι για να επιτύχουμε πάχος  $5 \text{ χιλιοστών}$  θα χρειαστούν  $10 \text{ στρώσεις}$ .

Το καλούπι είναι διαιρούμενο, έτσι προτού ξεκινήσει η διαδικασία εφαρμογής των στρώσεων ενώνουμε με την βοήθεια των κοχλιών τα δύο μέρη, όπως δείξαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η κίτρινη επιφάνεια είναι αυτή στην οποία θα στρωθούν τα φύλλα γυαλιού. Προετοιμάζουμε τα κομμάτια του υαλοϋφάσματος που πρόκειται να στρωθούν στο καλούπι, κόβοντάς τα έτσι ώστε να καλύψουμε όλη την επιφάνεια του καλουπιού με όσο το δυνατό πιο μεγάλα και μονοκόμματα τμήματα. Τα κομμάτια της δεύτερης στρώσης κόβονται με τέτοιο τρόπο ώστε ο προσανατολισμός των ινών να διαφέρει από αυτόν της προηγούμενης, ώστε το σύνθετο που θα προκύψει να έχει όσο γίνεται πιο ομοιόμορφη αντοχή σε όλες τις διευθύνσεις. Η ίδια διαδικασία συνεχίζεται και για τις υπόλοιπες στρώσεις. Προκειμένου η ρητίνη να μην κολλήσει στο καλούπι, το αλείφουμε με ειδικό αποκολλητικό κερί (NL1), επαναλαμβάνοντας την διαδικασία όσες φορές κρίνεται απαραίτητο για την πλήρη προστασία του καλουπιού. Η εποξική ρητίνη είναι δύο συστατικών, θερμοσκυρηνόμενη, και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην ανάδευση, ενώ οι συνθήκες περιβάλλοντος πρέπει να είναι οι προβλεπόμενες ( $25^\circ\text{C}$  και  $50\%$  υγρασία). Έτσι, λόγω μεγάλου ιξώδους της ρητίνης, θα δημιουργηθούν φυσαλίδες αέρα σε όλη τη μάζα της αν ανακατευτεί με μεγάλη ταχύτητα. Οι φυσαλίδες στο σύνθετο είναι ανεπιθύμητες καθώς αποτελούν σημεία εκκίνησης ρωγμών. Για το λόγο αυτό η κατασκευή πρέπει μετά την εφαρμογή των στρώσεων να τοποθετείται σε κενό αέρα, ώστε να "σκανε" οι φυσαλίδες αέρα. Έχοντας έτοιμη τη ρητίνη και αφού το αποκολλητικό έχει στεγνώσει, ψεκάζουμε την κίτρινη επιφάνεια με ένα λεπτό φιλμ ρητίνης. Στη συνέχεια, στρώνουμε τα κομμάτια πανιού που αποτελούν την πρώτη στρώση πιέζοντάς τα με ένα πινέλο δυνατά πάνω στο καλούπι ώστε αυτά να πάρουν το σχήμα του και να κολλήσουν επάνω στην επιφάνειά

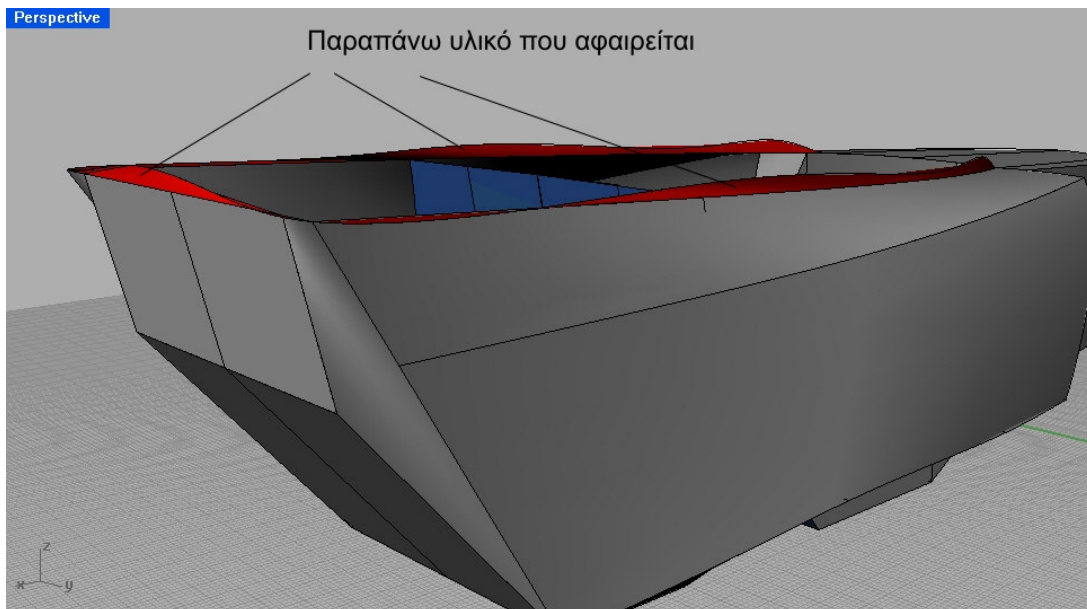
του. Τοπικά στηρίζουμε το πανί ώστε αυτό να μην πέσει από το καλούπι προτού ξεκινήσει η διαδικασία της τελικής πίεσης του σύνθετου. Ψεκάζουμε ξανά ρητίνη και τοποθετούμε τα κομμάτια της επόμενης στρώσης. Στα σημεία που κρίνουμε απαραίτητο, μετά την πέμπτη στρώση πανιών τοποθετούμε το υλικό sandwich και ακολουθούν οι υπόλοιπες πέντε στρώσεις, έχοντας με τον τρόπο αυτό τοποθετήσει τον αφρώδη πυρήνα από PVC στο κέντρο του σύνθετου. Έτσι επιφάνειες του σασί χωρίς πυρήνα έχουν πάχος 5 mm ενώ όπου υπάρχει πυρήνας το πάχος του σασί είναι 15 mm. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται με χρώμα κόκκινο οι επιφάνειες του σασί όπου υπάρχει ενδιάμεσος πυρήνας και συνεπώς το πάχος καθώς και η αντοχή της επιφάνειας σε κάμψη είναι αυξημένη.



**Σχήμα 5.41**

Αφού τοποθετηθούν όλες οι στρώσεις, εισάγουμε μέσα στην κοιλότητα του καλουπιού ένα μεγάλο ελαστικό σάκο εντός του οποίου πιέζουμε νερό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο σάκος να πιέσει τις στρώσεις δυνατά επάνω στο καλούπι, αφενός μεν ενώνοντας τις καλύτερα μεταξύ τους και αφετέρου απομακρύνοντας την περιττή ρητίνη και κατανέμοντάς την ομοιόμορφα στην επιφάνεια του σύνθετου (pressure bag). Επειδή οι ρητίνες που χρησιμοποιούμε είναι θερμοσκληρυνόμενες, το καλούπι πρέπει να τοποθετηθεί στους 100 ° C ώστε η ρητίνη να στερεοποιηθεί. Οι απλές εποξικές ρητίνες δύο συστατικών που δεν χρειάζονται θέρμανση για την στερεοποίησή τους, έχουν χρόνο κατεργασίας μισή ώρα από την ανάμιξη των συστατικών τους, χρόνος αρκετά μικρός ώστε να προλάβουμε να εφαρμόσουμε όλες τις στρώσεις και να ακολουθήσουμε την διαδικασία εφαρμογής πίεσης προτού στερεοποιηθεί η ρητίνη. Για το λόγο αυτό προτιμάμε τις θερμοσκληρυνόμενες, που μας δίνουν την άνεση χρόνου να κατεργαστούμε το υαλούφασμα.

Αφού στερεοποιηθεί η ρητίνη, το σασί είναι έτοιμο να απομακρυνθεί από το καλούπι, ξεβιδώνοντας τους κοχλίες που το συγκρατούν. Τα άκρα του σασί, όπου υπάρχει παραπάνω υλικό, αφαιρούνται με τη χρήση τροχού μέχρι το σχήμα να έρθει στο επιθυμητό (σχήμα 5.42).



**Σχήμα 5.42**

Η εξωτερική επιφάνεια του σασί θα προκύψει όσο λεία είναι η επιφάνεια του καλούπιού. Έτσι αν το καλούπι έχει λειανθεί καλά, θα δίνει κάθε φορά καλής ποιότητας εξωτερική επιφάνεια σασί, που είναι και αυτή που μας ενδιαφέρει. Η εσωτερική επιφάνεια θα είναι και αυτή ικανοποιητικά λεία ώστε να μην χρειαστεί επιπλέον κατεργασία. Αν χρησιμοποιούσαμε αρσενικό καλούπι, δηλαδή καλούπι με τη μορφή του σασί του οποίου η επιφάνεια που στρώνουμε είναι η εξωτερική, κάθε φορά που θα ξεκαλουπώνεται ένα σασί θα απαιτείται από την αρχή κατεργασία λείανσης. Στην περίπτωση του θηλυκού καλούπιού η λείανση γίνεται μία φορά στην αρχή.

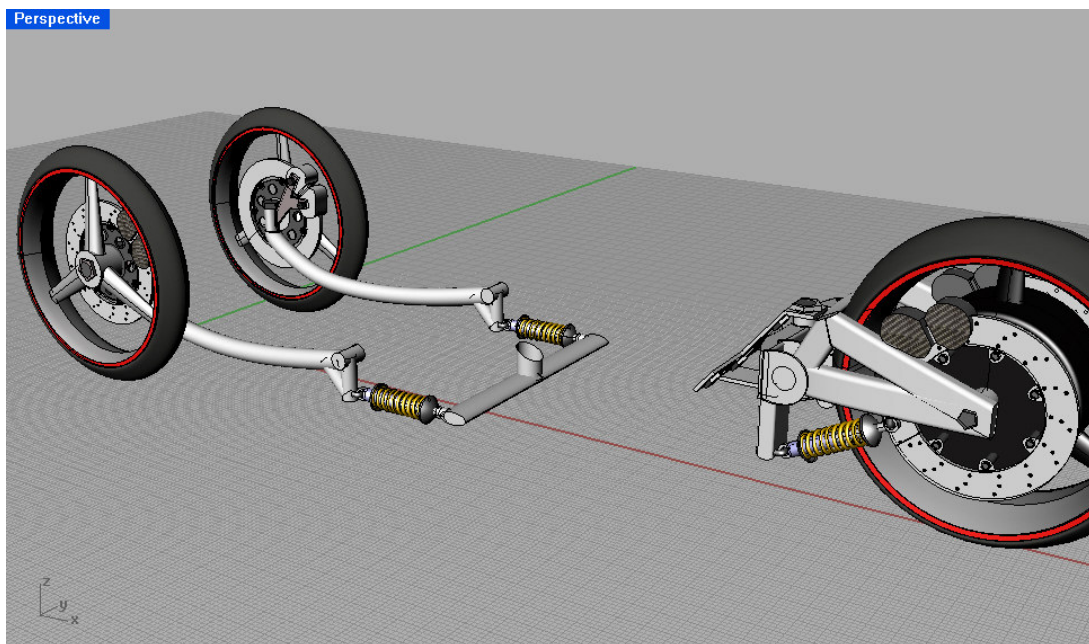
Με πολύ ευκολότερη διαδικασία κατασκευάζουμε την πλάτη του καθίσματος του οδηγού και τα χωρίσματα για τα πόδια του συνοδηγού που αφαιρέθηκαν αρχικά, χρησιμοποιώντας ως καλούπι δύο επίπεδα μεταλλικά φύλλα εντός των οποίων θα τοποθετηθούν τα πανιά. Το βάρος των τεμαχίων αυτών θα είναι 2,5 κιλά, το απαιτούμενο πανί 1 κιλό και η ρητίνη 0,9 λίτρα.

Το κόστος της ρητίνης ανέρχεται σε 29 ευρώ ανά κιλό, το υαλούφασμα κοστίζει 10 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο και ο αφρώδης πυρήνας από PVC μορφοποιημένος σε πλάκα πάχους 1 cm κοστίζει 39 ευρώ ανά τετραγωνικό μέτρο. Το κόστος του αποκολλητικού κεριού που θα χρειαστεί είναι 15 ευρώ. Τελικά για την κατασκευή του σασί το συνολικό κόστος των υλικών ανέρχεται σε 780 ευρώ.

## 5.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΣ – ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

### 5.6.1 ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΑΝΑΡΤΗΣΕΩΝ

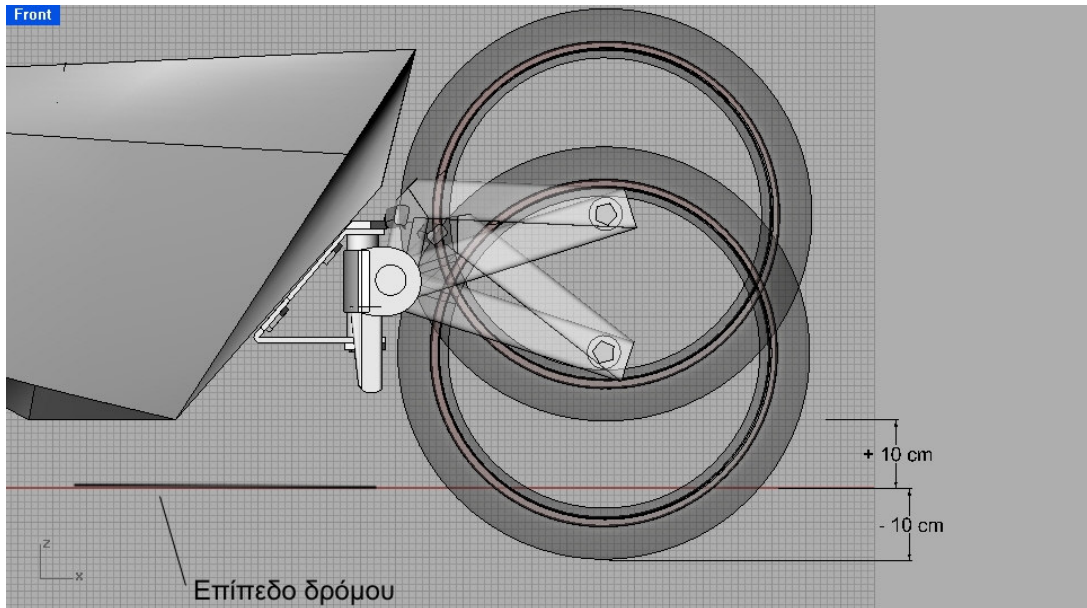
Κάθε μία από τις 3 ρόδες κινείται ανεξάρτητα από τις άλλες στο κατακόρυφο επίπεδο με δικό της σύστημα αναρτήσεως το οποίο περιλαμβάνει ψαλίδι και αποσβεστήρα (σχήμα 5.43).



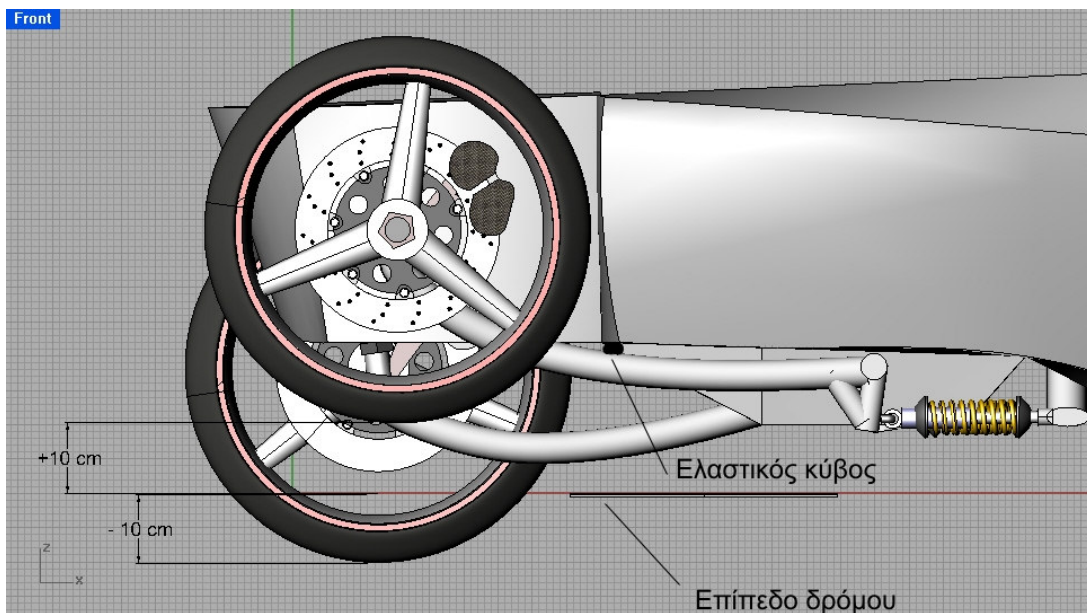
Σχήμα 5.43

Οι διαδρομές που κάνουν οι ρόδες είναι 10 εκατοστά πάνω και κάτω από το επίπεδο του δρόμου, όπως δείχνουν τα παρακάτω σχήματα.





**Σχήμα 5.44**



**Σχήμα 5.45**

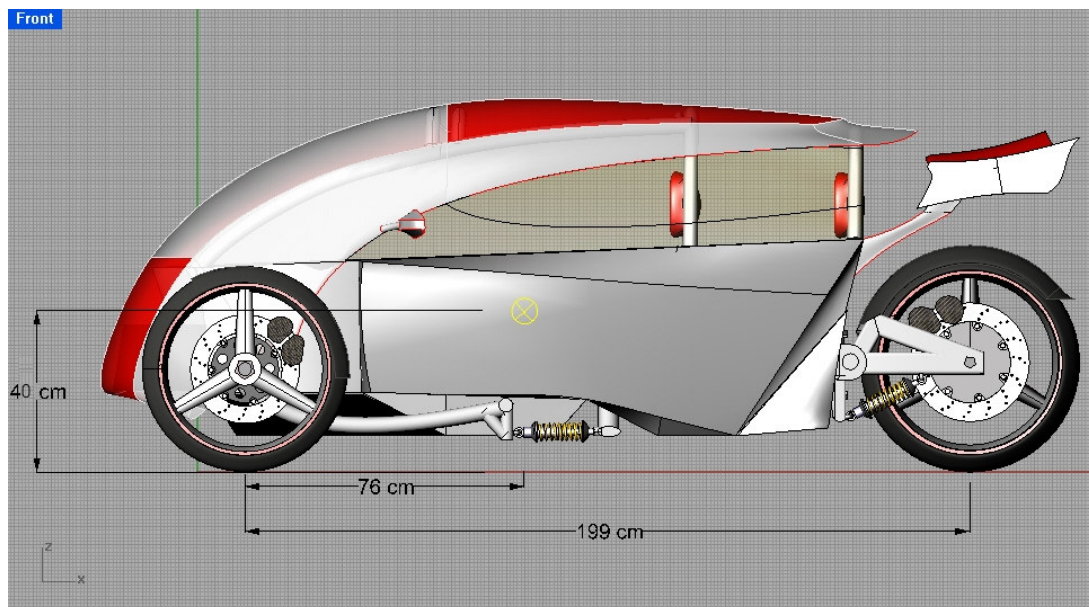
Η άνοδος των μπροστά ψαλιδιών τερματίζεται από ελαστικούς κύβους τοποθετημένους στο κάτω μέρος του σασί, στο σημείο που φαίνεται στο σχήμα 5.45 και με χρώμα μαύρο, οι οποίοι εμποδίζουν το ψαλίδι να χτυπήσει επάνω στο σασί.

Η λειτουργία του αμορτισέρ είναι ανεστραμμένη καθώς με την άνοδο του τροχού έχουμε έκταση του ελατηρίου αντί για συμπίεση. Προκειμένου λοιπόν ο τροχός να μπορεί να ακολουθεί το οδόστρωμα σε περίπτωση βύθισης (όπως

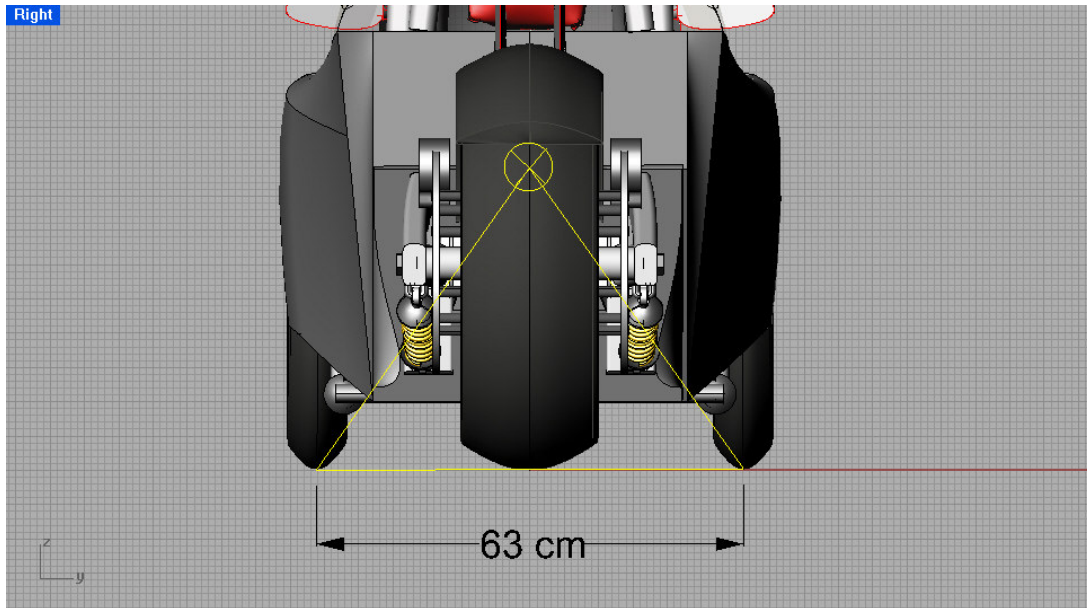
για παράδειγμα στην περίπτωση μιας λακούβας) θα πρέπει το ελατήριο να έχει τέτοια σταθερά  $c$  ώστε να βρεθεί στο φυσικό του μήκος όταν η ρόδα βρίσκεται κατώτερα από την στάθμη των  $-10\text{ cm}$  που δείχνει το σχήμα 5.45 ενώ ταυτόχρονα να φέρνει το πάτωμα του σασί στα δέκα εκατοστά από το έδαφος στην κατάσταση ηρεμίας. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για την εκλογή και τοποθέτηση των πίσω ελατηρίων.

## 5.6.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΡΑΤΗΜΑΤΟΣ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Υπολογίζουμε προσεγγιστικά το κέντρο μάζας του οχήματος το οποίο βρίσκεται στο σημείο των παρακάτω σχημάτων που είναι χρωματισμένο με κίτρινο.

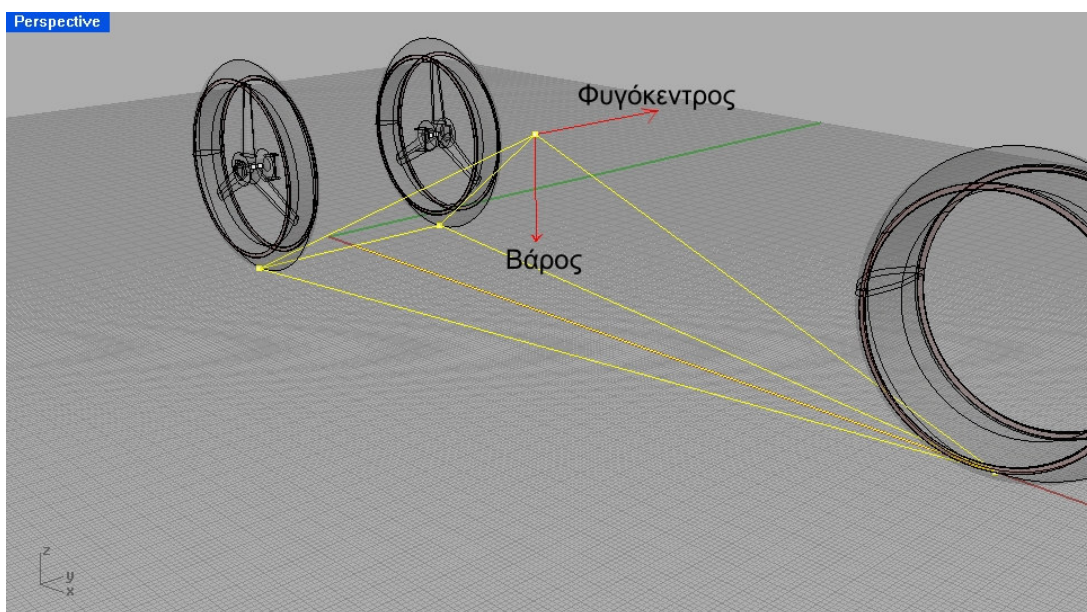


Σχήμα 5.46



**Σχήμα 5.47**

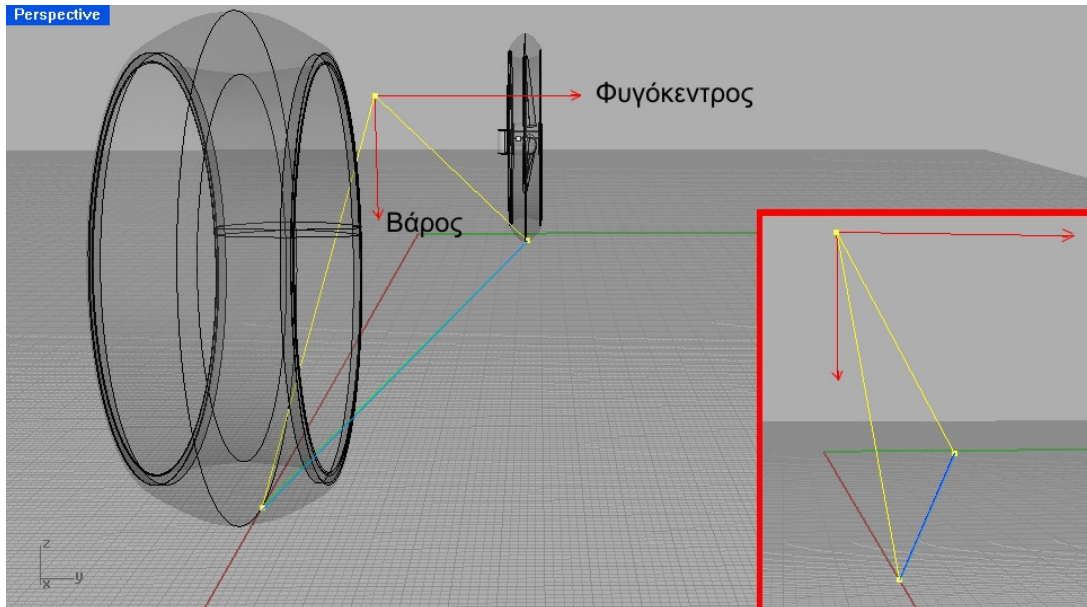
Προκειμένου να μελετήσουμε τις πλευρικές δυνάμεις που δέχεται το όχημα το μοντελοποιούμε με μία πυραμίδα. Στην κορυφή βρίσκεται το κέντρο μάζας και τα τρία σημεία της βάσης είναι τα σημεία επαφής των τροχών με το δρόμο. Σε μία στροφή ασκείται στο κέντρο μάζας φυγόκεντρος δύναμη με φορά προς το εξωτερικό της στροφής και διεύθυνση κάθετη στην εφαπτομένη του κύκλου στροφής, η οποία τείνει να γείρει το όχημα. Θεωρούμε ως οριακή πλευρική δύναμη για το κράτημα του οχήματος την δύναμη στην οποία θα σηκωθεί ο εσωτερικός της στροφής τροχός. Στο σχήμα 5.48 με κίτρινο χρώμα φαίνεται η πυραμίδα που μοντελοποιεί το όχημα σε αριστερή στροφή ενώ η φυγόκεντρος καθώς και η δύναμη του βάρους σημειώνονται με κόκκινο.



**Σχήμα 5.48**



Έστω ότι το όχημα στρίβει αριστερά. Στην οριακή περίπτωση κρατήματος ο εμπρός αριστερός τροχός θα χάσει επαφή με το έδαφος και το όχημα θα τείνει να ανατραπεί με άξονα περιστροφής την μπλε γραμμή του σχήματος 5.49 ,όπου η πυραμίδα έχει μετατραπεί σε τρίγωνο και το όχημα πατά σε δύο τροχούς.

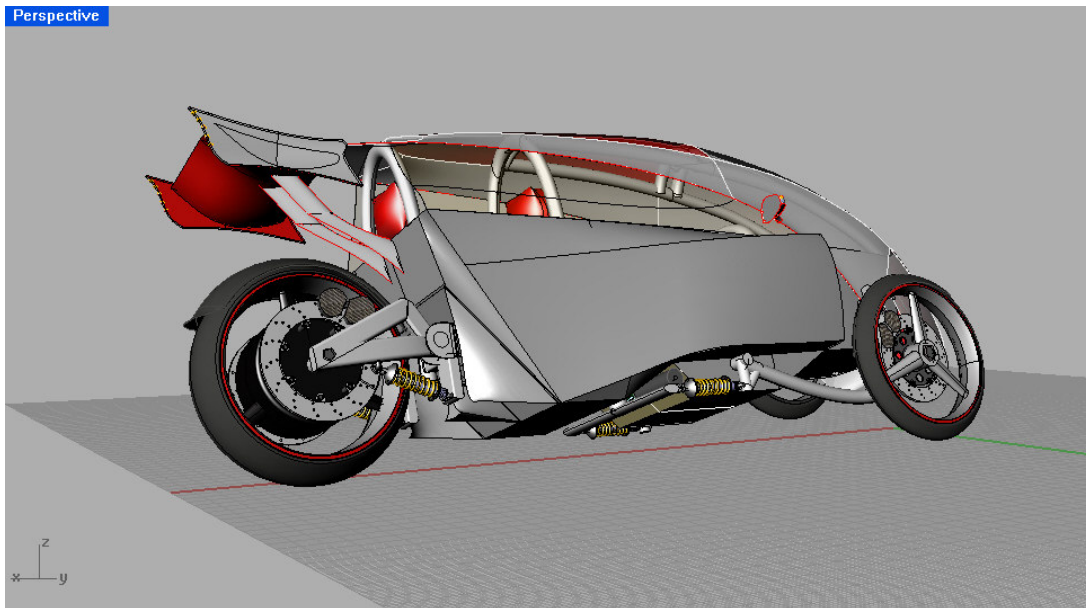


**Σχήμα 5.49**

Το βάρος του οχήματος έχει εκτιμηθεί σε 250 kg ή 2500 N , που σημαίνει ότι για την δεδομένη γεωμετρία του τριγώνου,για να μπορέσει αυτό να ισορροπήσει γύρω από τον μπλε άξονα η αντίστοιχη φυγόκεντρος υπολογίζεται σε 1220 N.Αν η φυγόκεντρος είναι μικρότερη από 1220 N τότε το τρίγωνο γέρνει προς τα αριστερά,δηλαδή η αριστερή ρόδα ξαναβρίσκει την επαφή με το δρόμο και έχουμε ευστάθεια.Στην περίπτωση που η φυγόκεντρος είναι μεγαλύτερη από 1220 N το κίτρινο τρίγωνο στρέφεται δεξιόστροφα και το όχημα ανατρέπεται.Στα οχήματα συνηθίζεται η πλευρική επιτάχυνση να μετριέται σε G.Έτσι αν ένα όχημα στρίψει τόσο απότομα ώστε η φυγόκεντρος δύναμη να γίνει ίση με το βάρος του,λέμε ότι αναπτύσσει 1 G πλευρική επιτάχυνση.Γενικά,ένα όχημα σε κανονική οδήγηση αναπτύσσει επιτάχυνση της τάξης των 0,4 g.Με απότομη και γρήγορη οδήγηση σε στροφές φτάνουμε τα 0,6 g.Το όριο πλευρικής επιτάχυνσης για τα συμβατικά αυτοκίνητα είναι της τάξης των 0,8 g ,ενώ στην κατηγορία οχημάτων υψηλών επιδόσεων η αντίστοιχη τιμή πολλές φορές ξεπερνά το 1 g.Με τον υπολογισμό που κάναμε παραπάνω,βλέπουμε ότι το όχημά μας μπορεί να αναπτύξει μέγιστη πλευρική επιτάχυνση 0,49 g,που σημαίνει ότι σε απότομη οδήγηση σε στροφές θα ανατραπεί.Για τον λόγο αυτό σχεδιάζουμε ένα μηχανισμό που να πλαγιάζει το όχημα προς το εσωτερικό της στροφής ,όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο,ώστε να του αυξήσει την σταθερότητά του χαμηλώνοντας το κέντρο μάζας και αυξάνοντας το φάρδος της γεωμετρίας

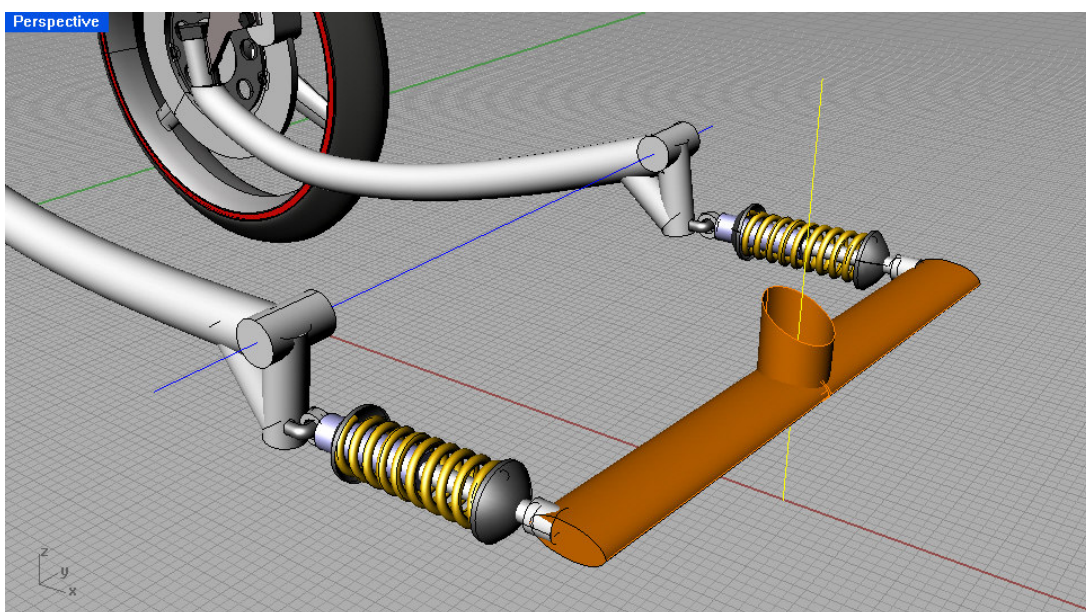


στήριξης. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κλίση που παίρνει το όχημα σε απότομη αριστερή στροφή.

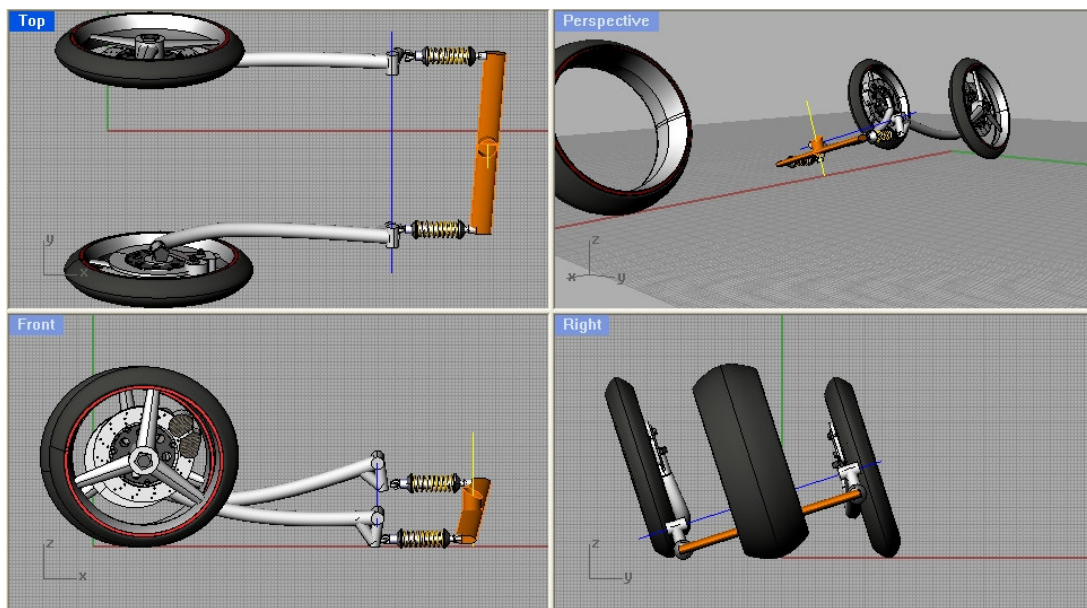


**Σχήμα 5.50**

Τα μπροστά ψαλίδια είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους και περιστρέφονται γύρω από τον μπλε άξονα του παρακάτω σχήματος. Αυτά με την περιστροφή τους συμπιέζουν ή εκτείνουν τα ελατήρια τα οποία είναι στερεωμένα στην πορτοκαλί μπάρα. Όταν η πορτοκαλί μπάρα στρέφεται γύρω από τον κίτρινο άξονα δεξιόστροφα, το αριστερό ψαλίδι ανεβαίνει ενώ ταυτόχρονα το δεξί κατεβαίνει σε απόσταση ίση με αυτή της ανόδου του αριστερού, δίνοντας έτσι κλίση στο όχημα η οποία μπορεί να φτάσει και τις 15 μοίρες από την κατακόρυφο. Αντίστροφα κινείται ο μηχανισμός σε δεξιά στροφή.

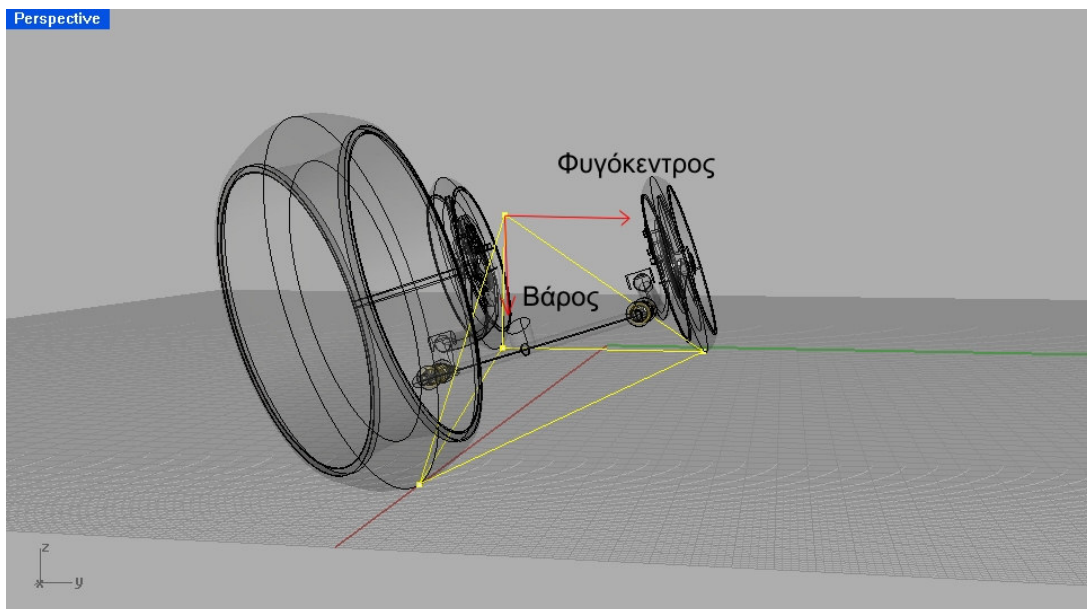


**Σχήμα 5.51**

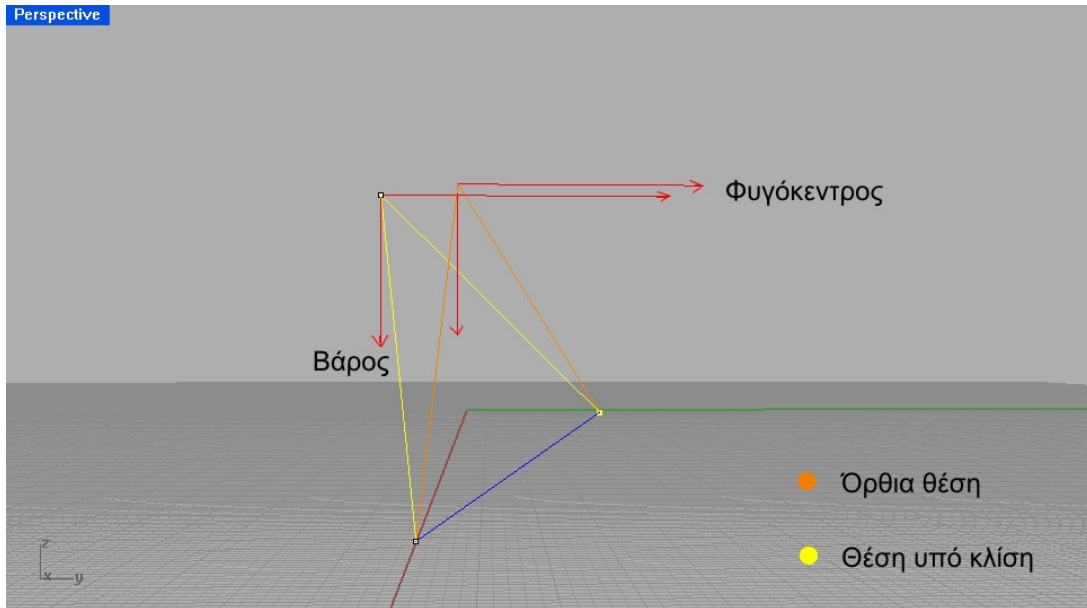


**Σχήμα 5.52**

Σχεδιάζουμε ξανά το τρίγωνο με τις δυνάμεις, όπως έγινε και στο σχήμα 5.49, στην οριακή περίπτωση που λόγω της φυγόκεντρου ο αριστερός τροχός έχει μόλις χάσει επαφή με το έδαφος.

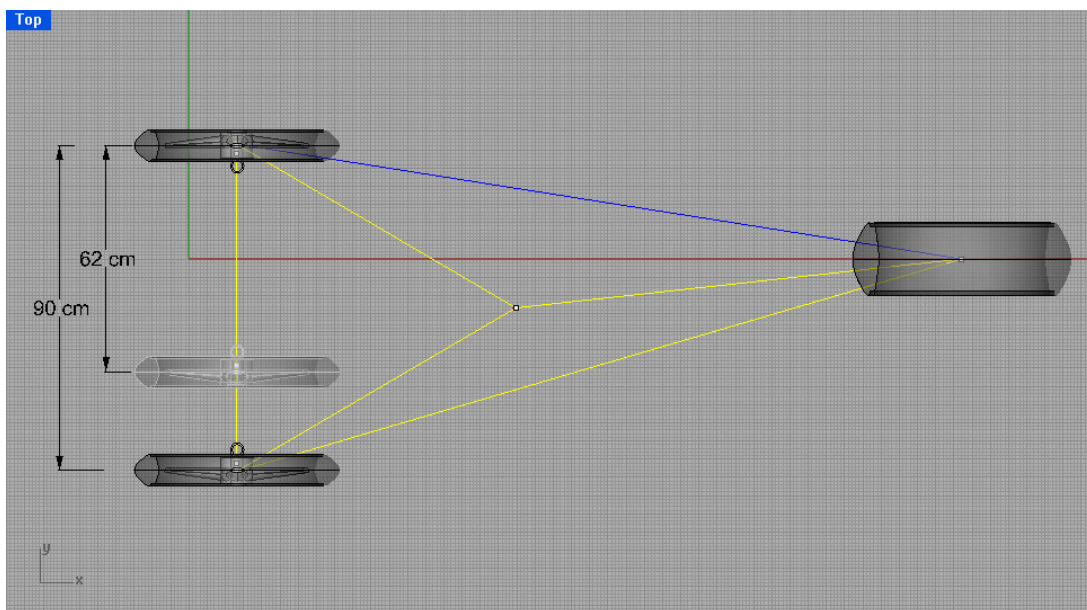


**Σχήμα 5.53**



**Σχήμα 5.54**

Η γεωμετρία του οχήματος στην θέση υπό κλίση ισοδυναμεί με όχημα κατά 28 εκατοστά φαρδύτερο από αυτό της όρθιας θέσης. Το σχήμα 5.55 δείχνει την διαφορά στο ισοδύναμο φάρδος της πλάγιας θέσης με αυτό στην κατακόρυφη θέση.

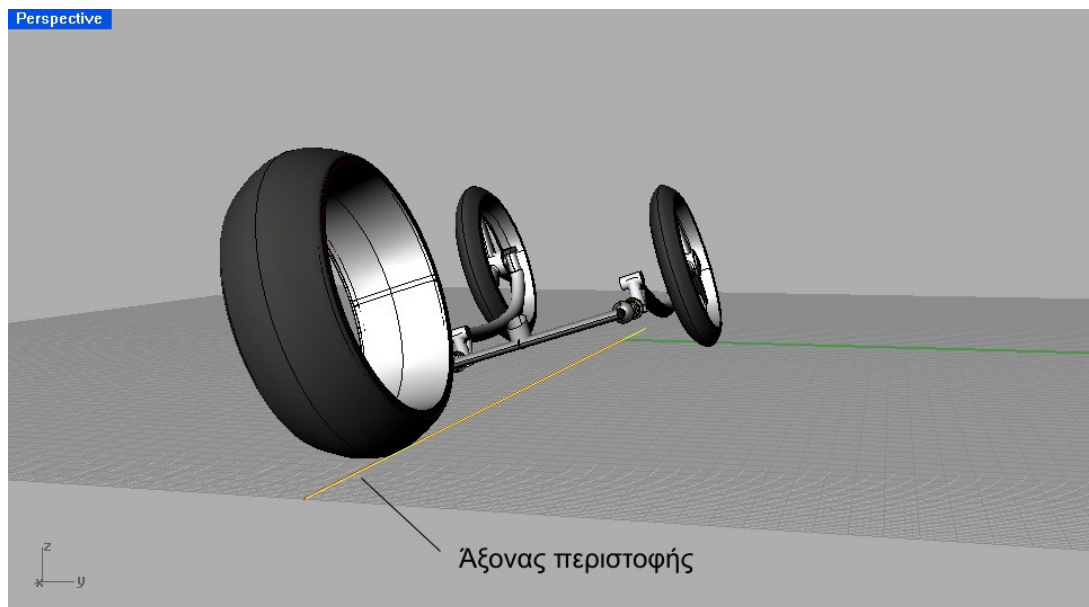


**Σχήμα 5.55**

Υπολογίζουμε ξανά την μέγιστη πλευρική επιτάχυνση που μπορεί το όχημα να δεχτεί μέχρι να ανατραπεί, η οποία ισούται με 0,82 g. Συνεπώς ο μηχανισμός που δίνει κλίση στο όχημα κρίνεται επαρκής για την ευστάθεια του οχήματος.



Καθώς το όχημα κλίνει από δεξιά προς αριστερά και αντίστροφα, στρέφεται γύρω από ένα νοητό άξονα περιστροφής. Για να βρεθεί ο άξονας αρκεί να υπολογίσουμε δύο σημεία πάνω σε αυτόν. Το ένα θα είναι υποχρεωτικά το σημείο επαφής της πίσω ρόδας με τον δρόμο. Για την εύρεση του άλλου, αρκεί να βρούμε το κέντρο γύρω από το οποίο περιστρέφεται ένα σταθερό σημείο του σασί, το οποίο και σημαδεύουμε. Περιστρέφουμε το σασί, χρησιμοποιώντας τον μηχανισμό που δίνει κλίση στο όχημα και κρατάμε την θέση του σημείου που έχουμε βάλει σημάδι πάνω στο σασί σε τρεις διαφορετικές θέσεις κλίσης. Το κέντρο του μοναδικού κύκλου που περνά από τα τρία αυτά σημεία είναι το σημείο που ψάχνουμε. Γελικά βλέπουμε ότι ο άξονας περιστροφής του οχήματος βρίσκεται στο επίπεδο του δρόμου, ξεκινά από το σημείο επαφής της πίσω ρόδας με το δρόμο και κατευθύνεται οριζόντια προς το μέσο των εμπρός τροχών (σχήμα 5.56).



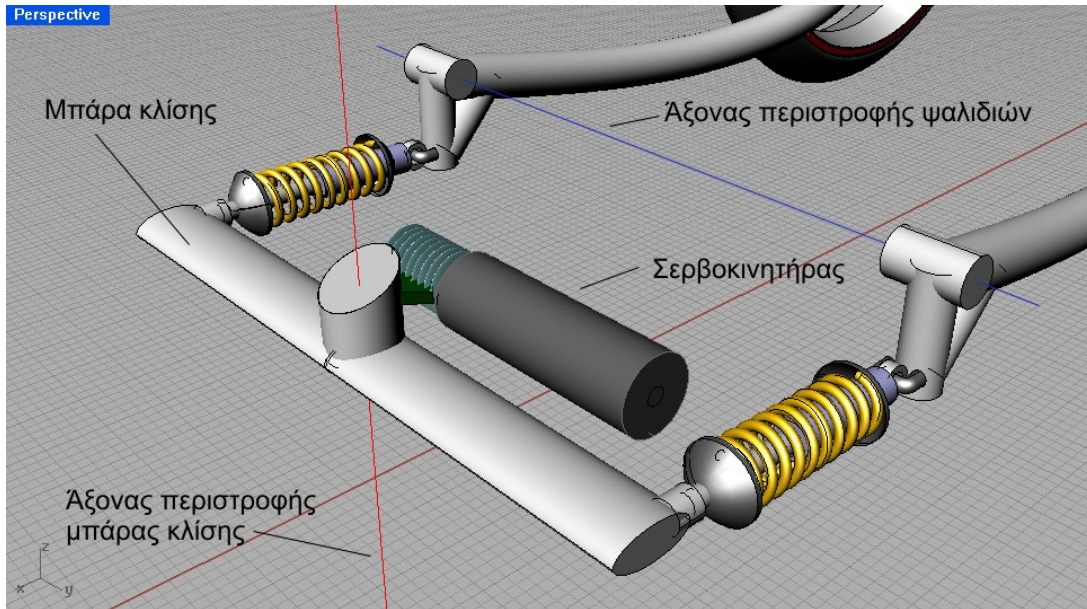
**Σχήμα 5.56**

Γενικά σε ένα όχημα προτιμάμε ο άξονας περιστροφής να μην βρίσκεται στο επίπεδο του δρόμου αλλά να πλησιάζει προς το κέντρο βάρους. Στην ιδανική περίπτωση που ο άξονας περιστροφής περνά ακριβώς από το κέντρο βάρους, τότε η φυγόκεντρος δύναμη σε μία στροφή δεν δημιουργεί ροπή εκτροπής στο όχημα. Στην περίπτωσή μας όμως κάτι τέτοιο θα αχρήστευε την λειτουργία του μηχανισμού πλαγιάσματος καθώς κατά τη πλευρική εκτροπή του οχήματος το κέντρο βάρους δεν θα μετατοπιζόταν εγκάρσια και συνεπώς δεν θα βελτιωνόταν η ευστάθεια του οχήματος.

Προκειμένου η μπάρα που δίνει κλίση στο όχημα να στραφεί, τοποθετούμε ένα σερβοκινητήρα, με ατέρμονα κοχλία για αύξηση ροπής. Ο μειωτήρας με



ατέρμονα έχει το πλεονέκτημα του μικρού όγκου και βάρους ενώ επιτρέπει μεταφορά ισχύος προς μια μόνο κατεύθυνση,εμποδίζοντας έτσι τη φυγόκεντρο να δώσει στο όχημα πλευρική κλίση στρέφοντας την μπάρα κλίσης (σχήμα 5.57).



**Σχήμα 5.57**

Ο σερβοκινητήρας πρέπει να είναι ικανός να αντισταθμίσει την ροπή από την φυγόκεντρο στο όριο πλευρικής επιτάχυνσης ενώ ταυτόχρονα να μπορεί να υπερνικήσει την αδράνεια του οχήματος όταν αυτό θέλει να εκτραπεί πλευρικά κατά 15 μοίρες σε λιγότερο από 500 milisecond,χρόνος που κρίνεται επαρκής για να προλάβει το όχημα να γείρει.

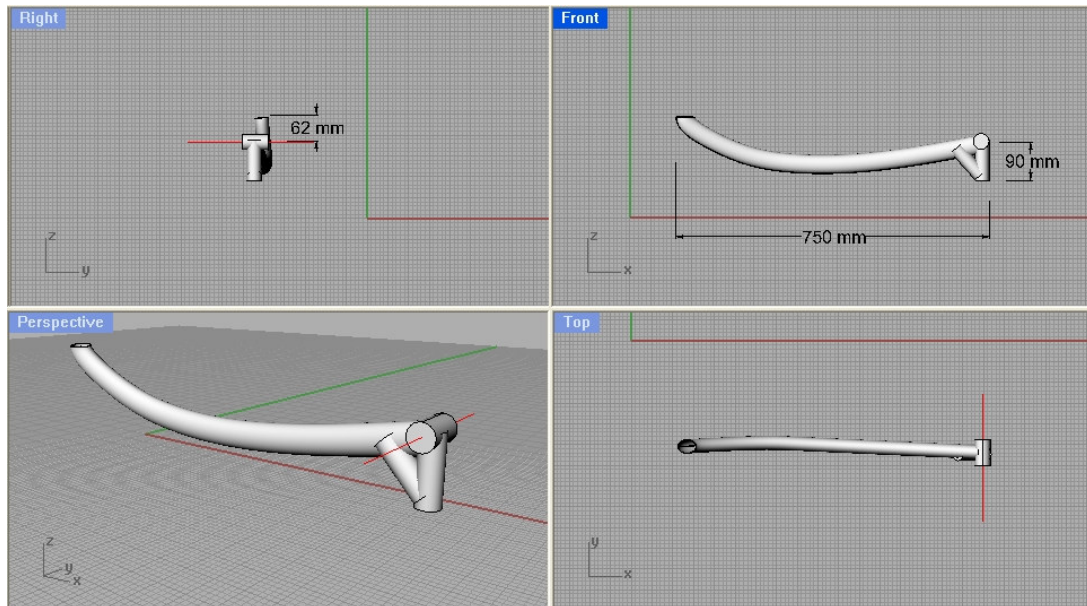
Επειδή ο άξονας περιστροφής είναι στο επίπεδο του δρόμου,η μέγιστη ροπή που θα πρέπει ο σερβοκινητήρας να εφαρμόσει ώστε να αντισταθμίσει την δύναμη της φυγόκεντρο θα είναι ίση με τη μέγιστη τιμή της φυγόκεντρο επί την απόσταση του κέντρου μάζας από τον άξονα περιστροφής,δηλαδή 826 Nm.Ζητάμε το όχημα να μπορεί να πάρει κλίση 15 μοιρών σε μισό δευτερόλεπτο,που σημαίνει γωνιακή ταχύτητα 0,52 rad/sec.Η απαιτούμενη ισχύς που θα πρέπει να καταναλωθεί ισούται με την ροπή επί την γωνιακή ταχύτητα,δηλαδή 450 watt.Βέβαια ο κινητήρας θα έχει να υπερνικήσει και την αδράνεια του οχήματος η οποία υπολογίζεται προσεγγιστικά ότι απαιτεί ισχύ της τάξης των 100 watt.Τελικά ο σερβοκινητήρας θα πρέπει να έχει ισχύ περίπου 700 watt τιμή που κρίνεται ανεκτή αν υπολογίσουμε ότι το όχημα είναι ηλεκτροκίνητο και συνεπώς απαιτείται οικονομία στην διαθέσιμη ενέργεια των μπαταριών.

Ένας αισθητήρας πλευρικής επιτάχυνσης είναι υπεύθυνος να δώσει εντολή για την λειτουργία του σερβοκινητήρα. Έτσι ανάλογα με το πόσο "ζορίζεται" το όχημα πλευρικά, που είναι συνδυασμός ταχύτητας και γωνίας του τιμονιού, ο σερβοκινητήρας δίνει την αντίστοιχη κλίση στο όχημα σε σχέση με την κατακόρυφο, ώστε αυτό να διατηρεί την ευστάθειά του. Ο τρόπος αυτός καθορισμού της θέσης του σερβοκινητήρα είναι ιδανικός καθώς το σύστημα ελέγχου δεν χρειάζεται να δέχεται αντίστοιχο σήμα από την γωνία του τιμονιού ή την ταχύτητα του οχήματος. Ας υποθέσουμε ότι το όχημα κινείται αργά προσπαθώντας να ανεβάσει τον μπροστινό αριστερό τροχό στο πεζοδρόμιο. Όταν ο τροχός ανέβει, το όχημα θα γείρει προς τα δεξιά ενώ ο αισθητήρας θα μετρά μηδενική πλευρική επιτάχυνση, αφού θα κινείται πολύ αργά, που σημαίνει ότι το σύστημα ελέγχου για μηδενική τιμή θα επαναφέρει το όχημα στην κατακόρυφη θέση. Για χαμηλές, λοιπόν, ταχύτητες ο μηχανισμός κλίσης λειτουργεί σαν μέσο αντιστάθμισης των ανωμαλιών του δρόμου.

Αυτό που μένει να μελετηθεί στην πράξη είναι αν ο μηχανισμός κλίσης θα δίνει αμέσως την επιθυμητή κλίση στο όχημα ή αν οι αναρτήσεις θα αποσβένουν ένα μέρος της κίνησης της μπάρας κλίσης προκαλώντας ταλάντωση όταν απαιτείται απότομη πλευρική εκτροπή. Στην περίπτωση που προκαλείται ταλάντωση θα πρέπει να γίνει κατάλληλη επιλογή σταθεράς απόσβεσης του αποσβεστήρα, σταθεράς ελατηρίου καθώς και της γωνιακής ταχύτητας εκτροπής του οχήματος.

### **5.6.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ – ΑΝΤΟΧΗ ΜΠΡΟΣΤΑ ΨΑΛΙΔΙΩΝ**

Τα μπροστά ψαλίδια και η μπάρα κλίσης είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα (AISI 1045 hot rolled) με όριο θραύσης 570 MPa, μέτρο ελαστικότητας 205 GPa και πυκνότητα 7,8 gr/cm<sup>3</sup>. Το μήκος των ψαλιδιών είναι 75 εκατοστά ενώ ο άξονας περιστροφής σημειώνεται με κόκκινο χρώμα στο παρακάτω σχήμα. Όλες οι μεταλλικές συγκολλήσεις μπορούν να γίνουν με χρήση Argon.

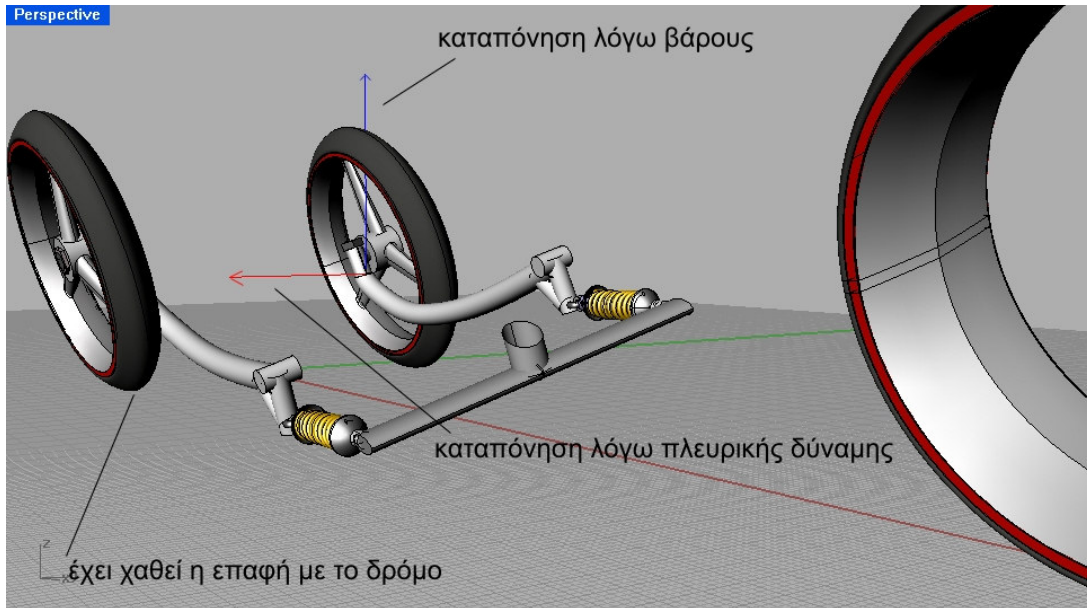


**Σχήμα 5.58**

Το ψαλίδι κατά την λειτουργία του δέχεται πλευρικές και κατακόρυφες δυνάμεις. Θεωρούμε ότι το συνολικό βάρος του οχήματος με δύο επιβάτες (125 kg κάθε επιβάτης) δεν θα ξεπεράσει τα 500 kg. Δεδομένου ότι η μέγιστη πλευρική επιτάχυνση είναι 0,82 G, οριακό σημείο στο οποίο ο ένας μπροστινός τροχός θα χάσει επαφή με το έδαφος, η μέγιστη δύναμη που θα καταπονήσει το ψαλίδι πλευρικά θα είναι θεωρητικά ίση με 2000 N (και αν υποθέσουμε ότι δεν χάνεται η πρόσφυση). Πρακτικά, όμως, ενδέχεται η πλευρική αυτή δύναμη να πάρει μεγαλύτερες τιμές στην περίπτωση που το οδόστρωμα έχει ευνοϊκή κλίση ή το ψαλίδι καταπονηθεί κρουστικά. Για το κατακόρυφο επίπεδο η αντίστοιχη δύναμη με την οποία το ψαλίδι καταπονείται στατικά, όταν ο άλλος τροχός αρχίζει να χάνει επαφή με το έδαφος, αντιστοιχεί σε 3100 N. Στην πραγματικότητα το δυναμικό φορτίο με βάση το οποίο θα υπολογιστεί η αντοχή είναι μεγαλύτερο από το στατικό. Πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι το δυναμικό φορτίο είναι από 1,7 έως και 2 φορές μεγαλύτερο από το στατικό. Για λόγους βελτιστοποίησης βάρους η διατομή του ψαλιδιού έχει ελλειπτική μορφή μιας και η κάθετη καταπόνηση είναι μεγαλύτερη από την πλευρική.

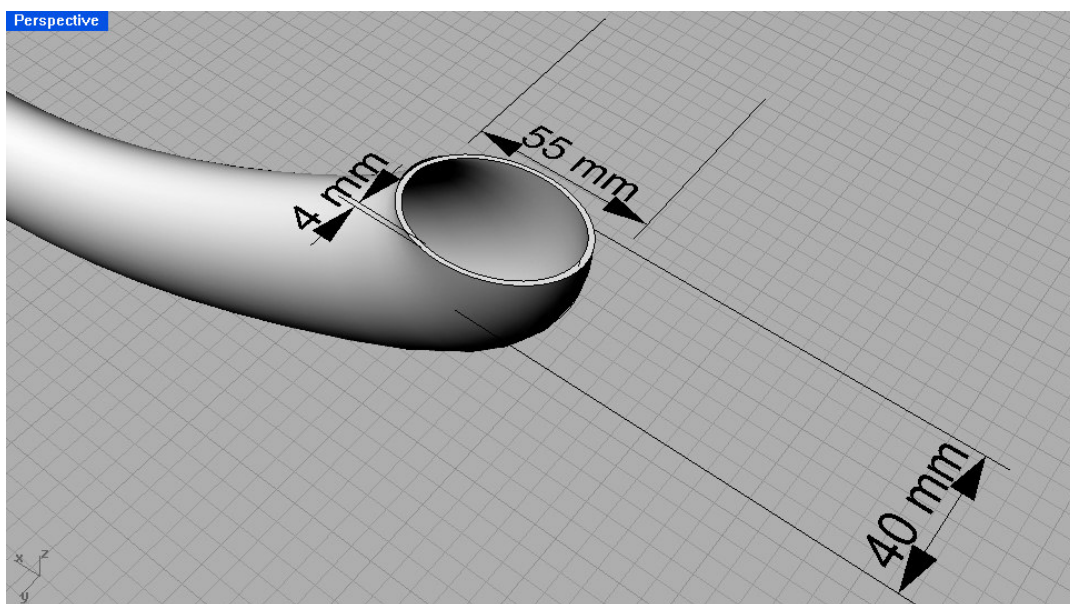
Η δυσμενέστερη περίπτωση φόρτισης για το ψαλίδι είναι αυτή που αντιστοιχεί σε μέγιστη πλευρική επιτάχυνση του οχήματος, όπου ο ένας μπροστινός τροχός δεν βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και όλο το φορτίο παραλαμβάνεται από το ένα μπροστινό ψαλίδι (σχήμα 5.59).





**Σχήμα 5.59**

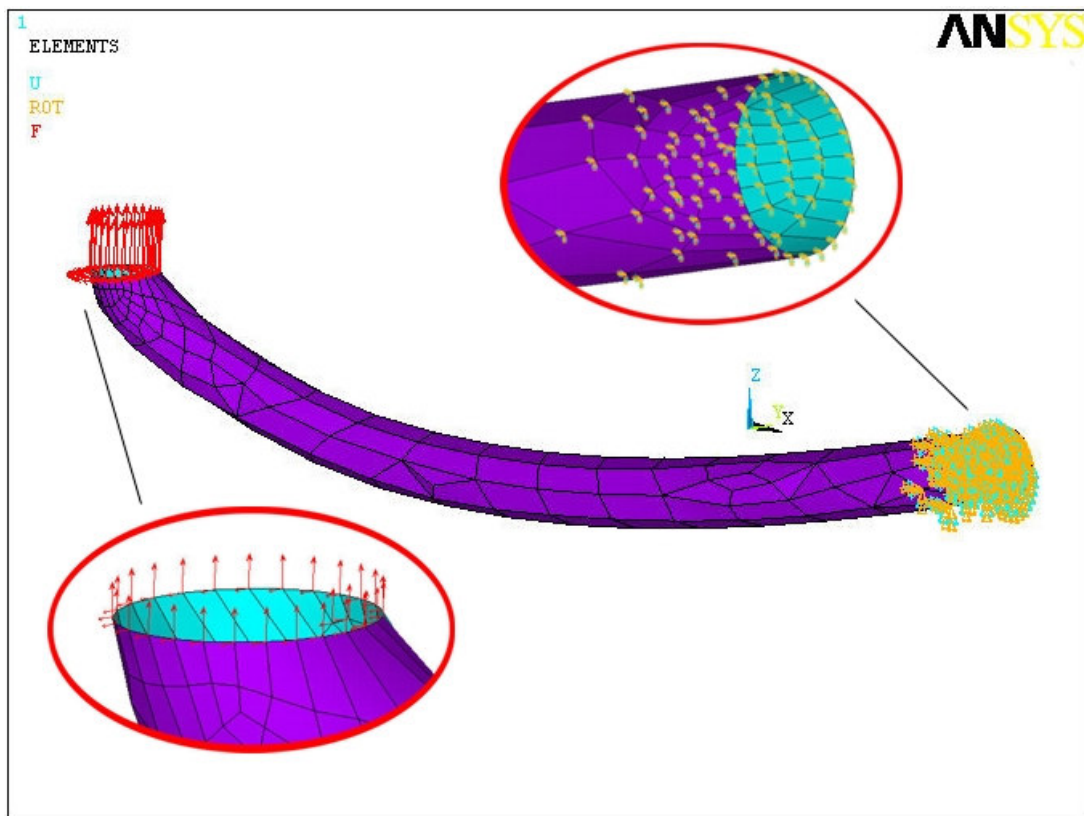
Για τον έλεγχο της αντοχής του ψαλιδιού θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα Ansys που με την βοήθεια πεπερασμένων στοιχείων θα δώσει την κατανομή των τάσεων σε όλη την μάζα του υλικού. Αν η αρχικά εκτιμώμενη διατομή οδηγήσει σε αστοχία, τότε αυξάνουμε το πάχος του τοιχώματος μέχρι η μέγιστη τάση να μην ξεπερνά την επιτρεπόμενη, βελτιστοποιώντας με τον τρόπο αυτό το βάρος και κατ'επέκταση το κόστος του ψαλιδιού. Επειδή όμως οι διατομές είναι τυποποιημένες, στην πραγματικότητα η διαδικασία της βελτιστοποίησης περιορίζεται σε λίγες μόνο δοκιμές. Τελικά καταλήγουμε στην επιλογή της διατομής του σχήματος 5.60.



**Σχήμα 5.60**

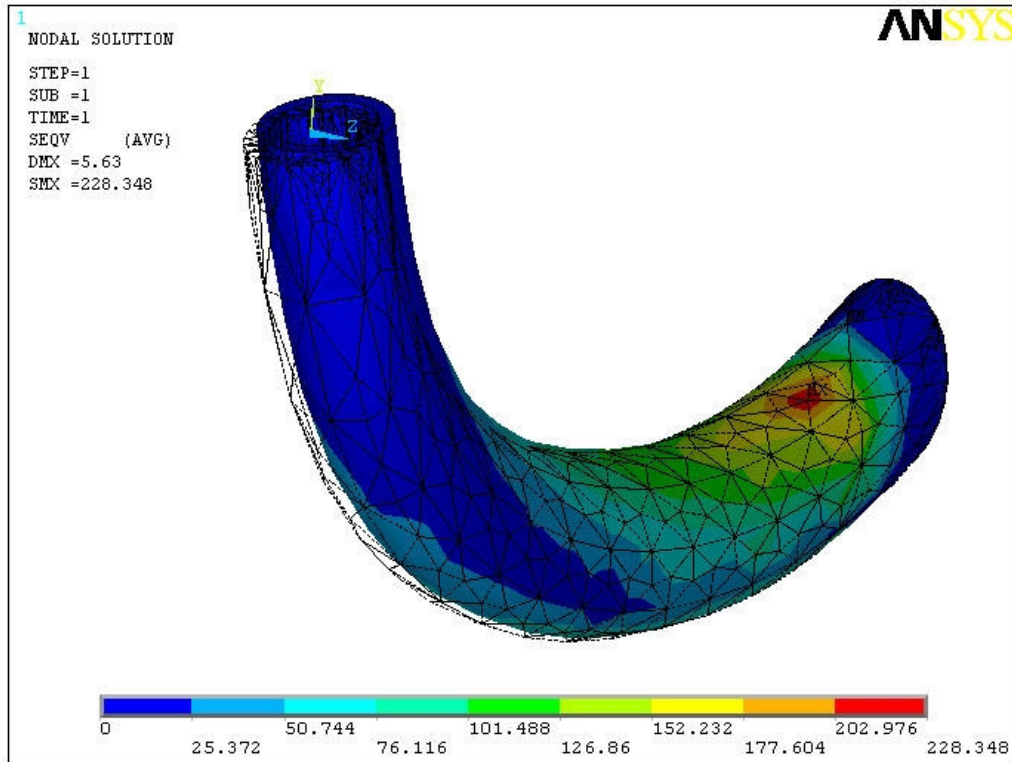


Για την μοντελοποίηση του ψαλιδιού στο Ansys εισάγουμε την γεωμετρία έτοιμη από το σχεδιαστικό πρόγραμμα Rhinoceros και μετά από τις απαραίτητες διορθώσεις δημιουργούμε πλέγμα. Πακτώνουμε τους κόμβους που βρίσκονται στο σημείο περιστροφής του ψαλιδιού δεσμεύοντας όλους τους βαθμούς ελευθερίας και τοποθετούμε στους αντίστοιχους κόμβους τα φορτία. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο τρόπος χωρισμού του όγκου του ψαλιδιού σε πεπερασμένα στοιχεία καθώς και τα επιβαλλόμενα φορτία σε κατακόρυφο και οριζόντιο επίπεδο. Δεξιά διακρίνονται οι στηρίξεις των κόμβων.



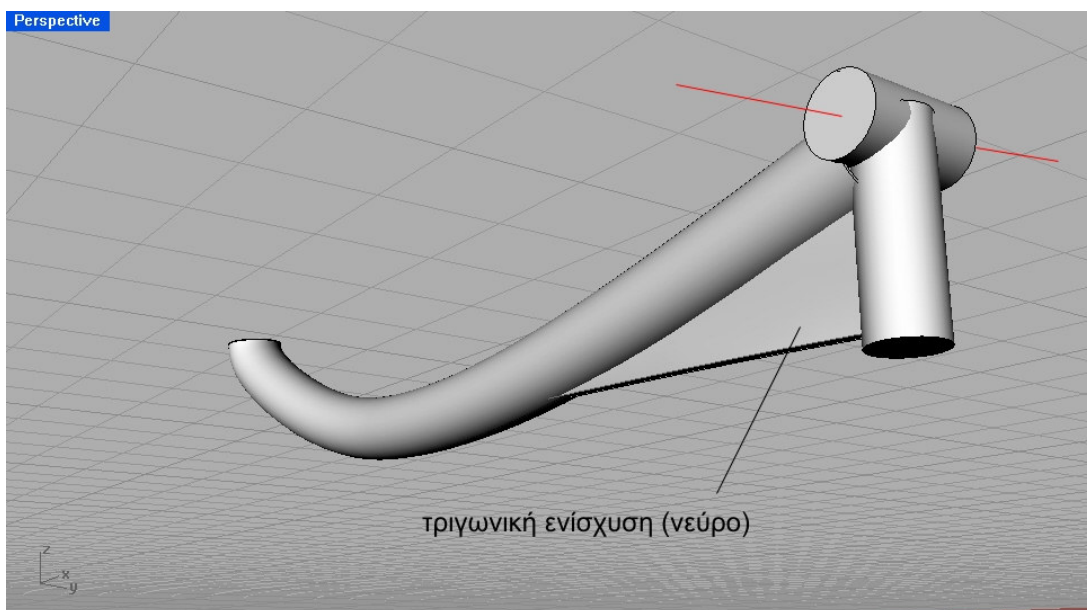
Σχήμα 5.61

Η επίλυση του προβλήματος δίνει την κατανομή των τάσεων όπως αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι κόκκινες περιοχές είναι αυτές που δέχονται και τις μεγαλύτερες τάσεις ενώ η κλίμακα είναι σε  $N/mm^2$ . Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τάση που εμφανίζεται δεν ξεπερνά τα  $230 N/mm^2$  με όριο θραύσης τα  $570 MPa$ , ενώ η παραμόρφωση του άκρου του ψαλιδιού είναι μικρότερη από  $6 mm$ , τιμή που κρίνεται ανεκτή.



**Σχήμα 5.62**

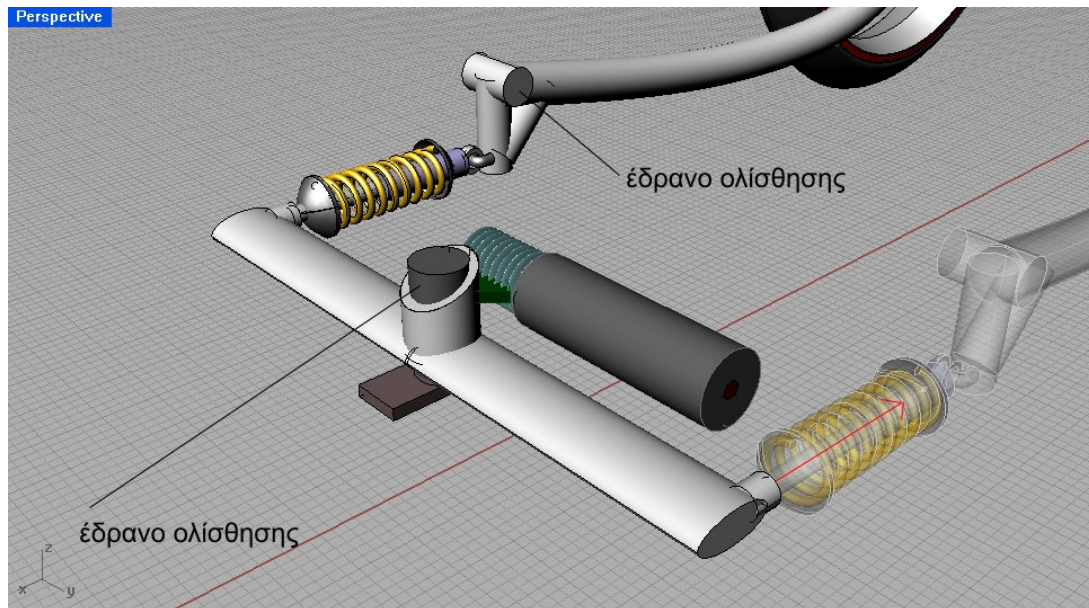
Το ψαλίδι μπορεί να ενισχυθεί τοπικά μόνο στα σημεία όπου εμφανίζονται οι μέγιστες τάσεις ώστε να αποφύγουμε περιττή αύξηση του βάρους που θα προκύψει από ενδεχόμενη αύξηση της διατομής του ψαλιδιού. Το σχήμα 5.63 δείχνει μία πιθανή ενίσχυση που θα αυξήσει την αντοχή του ψαλιδιού χωρίς μεγάλη αύξηση βάρους.



**Σχήμα 5.63**

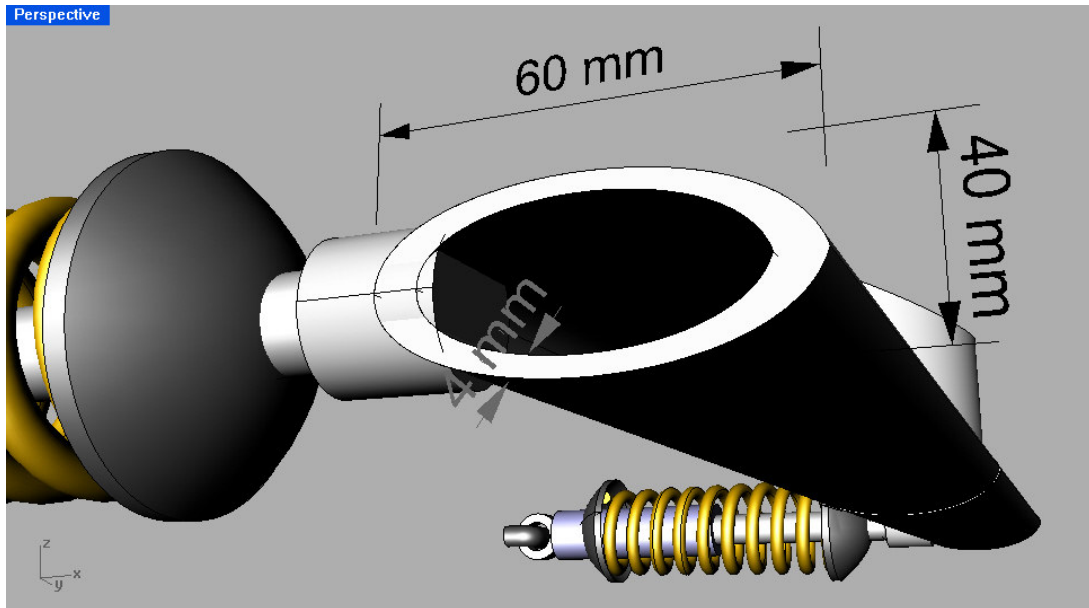
Η στήριξη και περιστροφή του ψαλιδιού γύρω από το σασί γίνεται με έδρανα ολίσθησης ενώ ο αποσβεστήρας ενώνεται σε αυτό με τη βοήθεια σφαιρικού συνδέσμου.

Για την διαστασιολόγηση της μπάρας κλίσης θεωρούμε το ίδιο σενάριο φόρτισης με προηγουμένως που οδηγεί στην δυσμενέστερη καταπόνησή της.



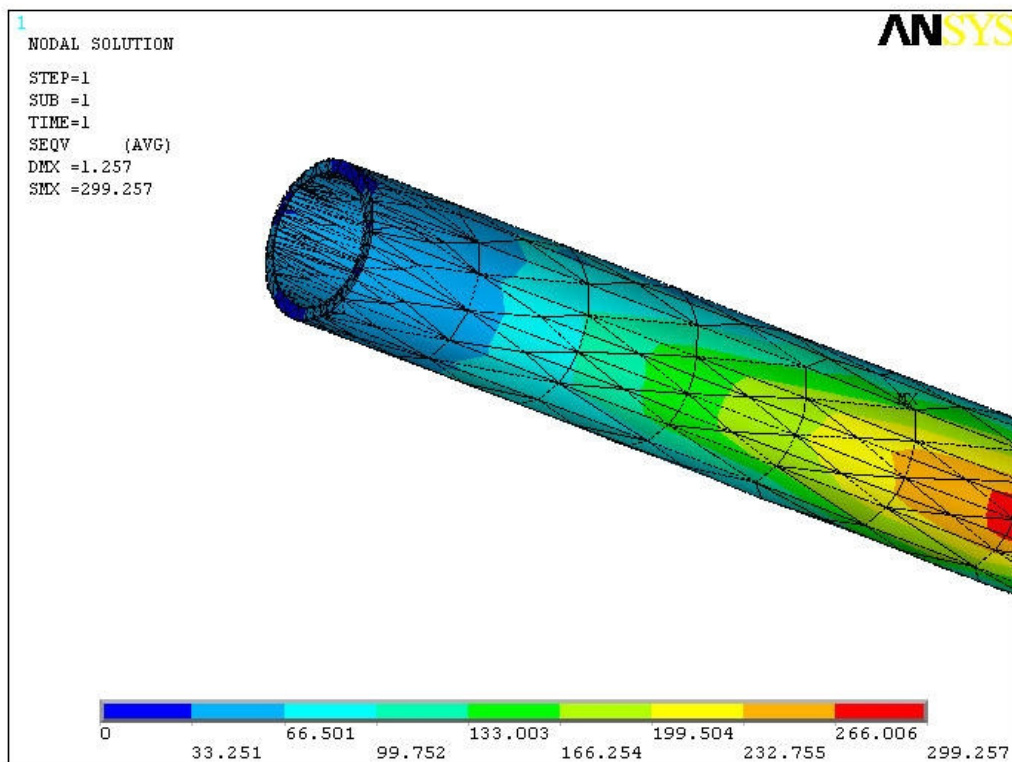
**Σχήμα 5.64**

Επειδή οι δυνάμεις που δέχεται η μπάρα είναι προς μία μόνο κατεύθυνση η διατομή της έχει τη μορφή έλλειψης για λόγους βελτιστοποίησης βάρους. Οι διαστάσεις της μπάρας φαίνονται στο παρακάτω σχήμα ενώ ακολουθεί η κατανομή τάσεων κατά την μέγιστη καταπόνηση της μπάρας. Για την περιστροφή της μπάρας γύρω από το σασί γίνεται χρήση εδράνου ολίσθησης.



Σχήμα 5.65

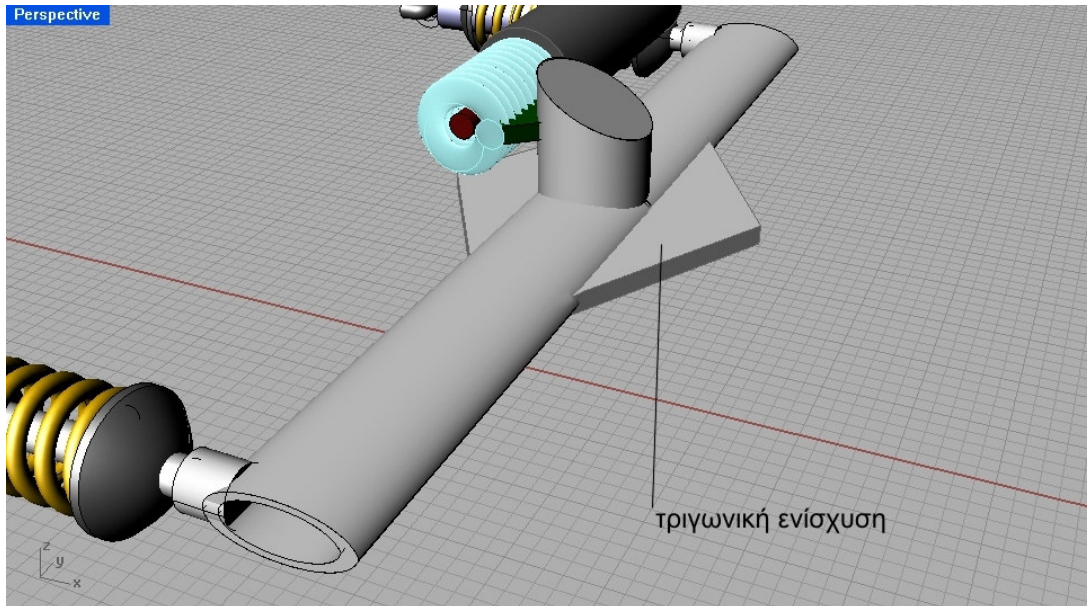
Εισάγουμε την γεωμετρία της μπάρας στο Ansys και πακτώνουμε την μπάρα στο κέντρο περιστροφής της. Προκειμένου να υπολογίσουμε τις τάσεις που θα δεχτεί, θεωρούμε ότι το ελατήριο είναι ασυμπίεστο.



Σχήμα 5.66



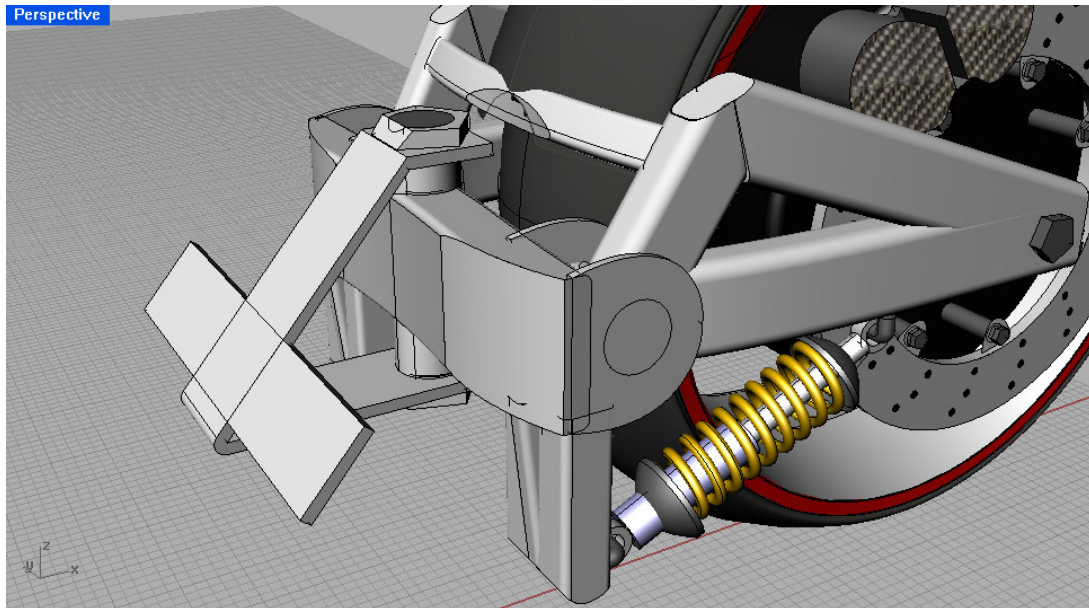
Η μέγιστη τάση εμφανίζεται στο κέντρο της μπάρας και είναι  $300 \text{ N/mm}^2$  με όριο θραύσης τα  $570 \text{ N/mm}^2$  και η μέγιστη παραμόρφωση στο άκρο της είναι  $1,2 \text{ mm}$ , τιμή αποδεκτή για την σωστή λειτουργία. Επειδή η τάση είναι αρκετά μεγάλη προτιμάμε να ενισχύσουμε τοπικά την μπάρα στην περιοχή που εμφανίζεται με κόκκινο χρώμα, αντί να αυξήσουμε την συνολική διατομή της. Ένας τρόπος είναι η συγκόλληση δύο τριγωνικών πλακών στο σημείο περιστροφής της όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα.



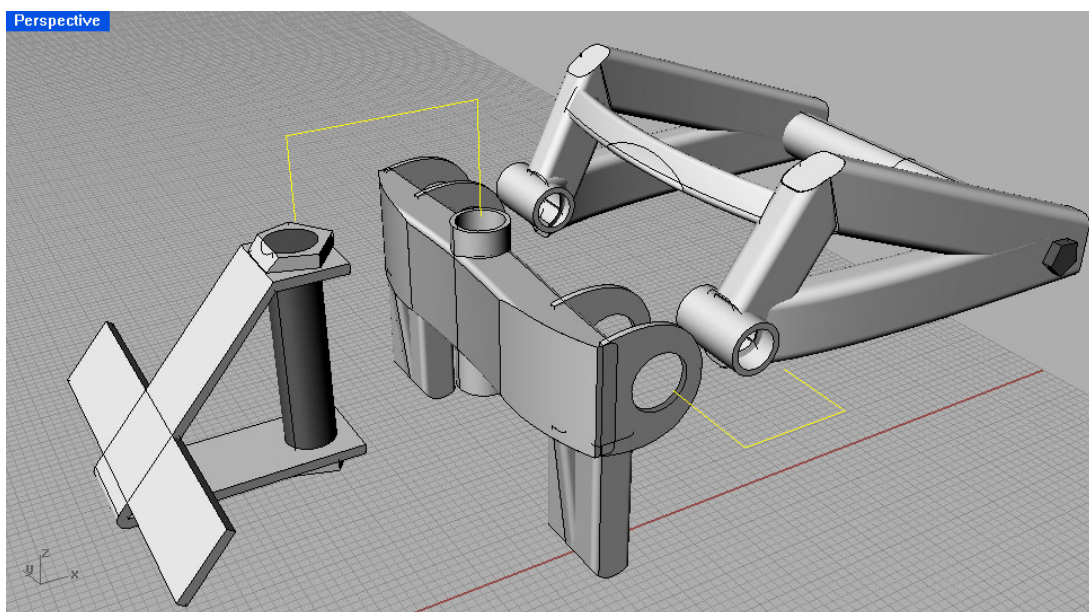
**Σχήμα 5.67**

#### **5.6.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΙΣΩ ΨΑΛΙΔΙΟΥ – ΣΤΡΟΦΗ ΟΧΗΜΑΤΟΣ**

Το πίσω ψαλίδι είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο ενώ η βάση στήριξης του και η βάση περιστροφής της ανάρτησης γύρω από το σασί είναι από ανοξείδωτο χάλυβα. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται το πίσω σύστημα αναρτήσεως συναρμολογημένο και αποσυναρμολογημένο ενώ διακρίνονται τα μέρη από τα οποία αποτελείται ο μηχανισμός.

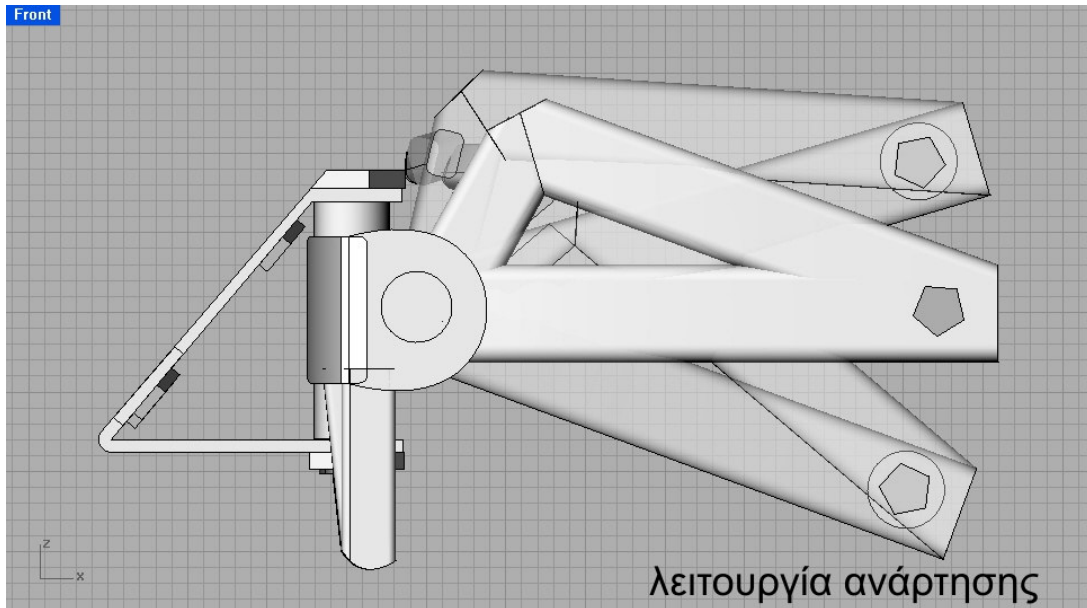


**Σχήμα 5.68**

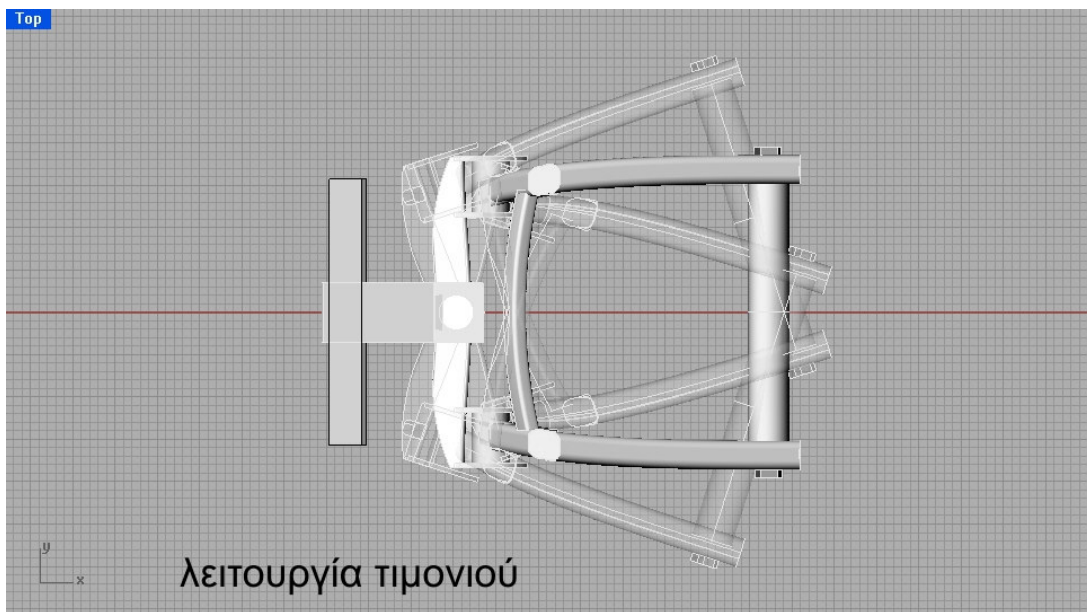


**Σχήμα 5.69**

Το σύστημα έχει δύο άξονες περιστροφής. Ο πρώτος άξονας είναι αυτός γύρω από τον οποίο κινείται ο τροχός κατακόρυφα ώστε να αποσβένονται οι ανωμαλίες του οδοστρώματος (σχήμα 5.70). Ο δεύτερος άξονας είναι αυτός γύρω από τον οποίο στρέφεται ψαλίδι και αμορτισέρ ώστε το όχημα να μπορεί να στρίβει, δίνοντας στην πίσω ρόδα γωνία 20 μοιρών από την οριζόντια θέση της (σχήμα 5.71).



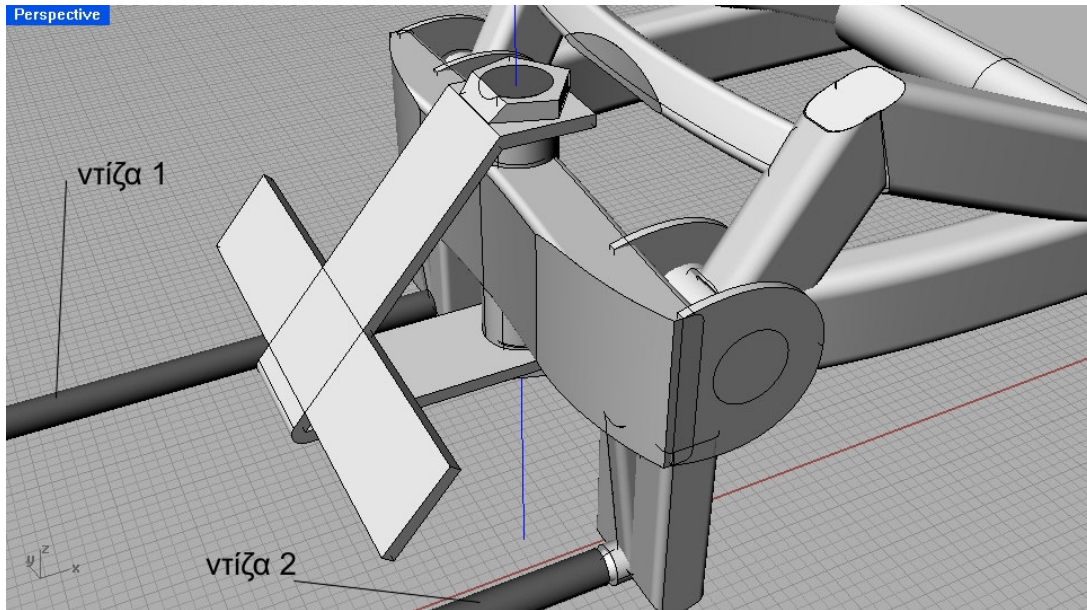
**Σχήμα 5.70**



**Σχήμα 5.71**

Ένας ζεύγος γραναζιού-κανόνα μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του τιμονιού σε γραμμική η οποία μέσω μιας ντίζας μεταφέρεται στη βάση του πίσω ψαλιδιού την οποία και περιστρέφει γύρω από τον άξονα που είναι σημειωμένος με χρώμα μπλέ στο σχήμα 5.72.





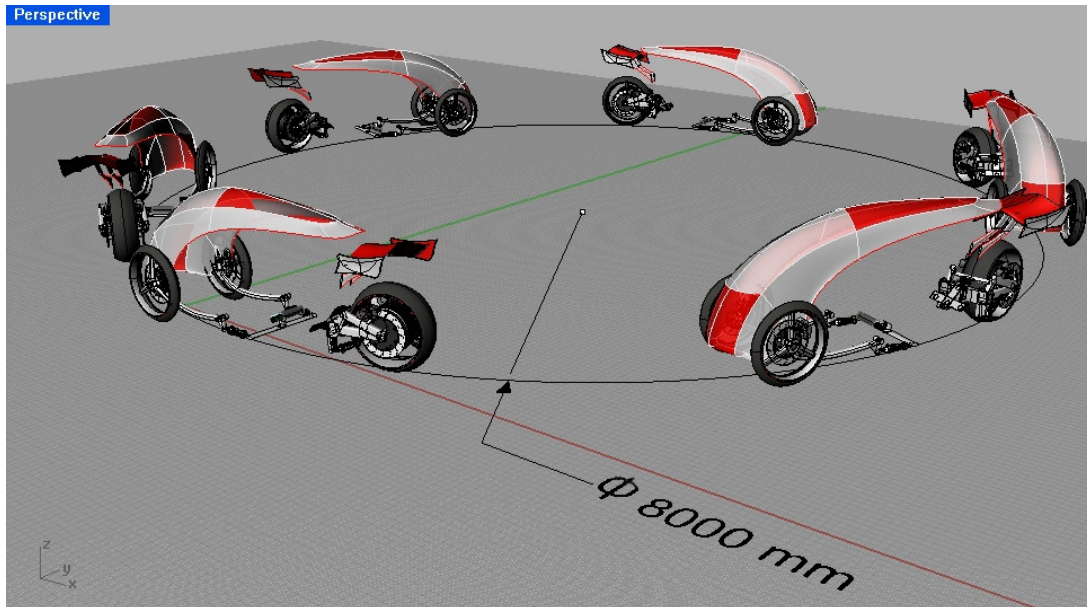
**Σχήμα 5.72**

Κατά την περιστροφή του τιμονιού η μια ντίζα σπρώχνει την βάση της ανάρτησης ενώ η άλλη την τραβά,περιστρέφοντας με τον τρόπο αυτό την πίσω ρόδα.Για λόγους ασφαλείας, η διάμετρος κάθε ντίζας εκλέγεται έτσι ώστε ο μηχανισμός να είναι ικανός να λειτουργεί με μία μόνο ντίζα,σε περίπτωση αστοχίας της μίας (fail safe).Κατά τον αρχικό σχεδιασμό του οχήματος,υπεύθυνες για την στροφή του οχήματος ήταν οι μπροστά ρόδες.Αυτό,όμως,δημιουργούσε μια σειρά από προβλήματα καθώς λόγω περιορισμού χώρου και μεγάλου μήκους των μπροστά ψαλιδιών,ο μηχανισμός της κρεμαγιέρας καθώς και τα ίδια τα ψαλίδια απαιτούσαν ιδιαίτερα πολύπλοκη κατασκευή.Παράλληλα,το παρπρίζ έπρεπε να κοπεί στο μπροστινό του τμήμα ώστε οι ρόδες να μπορούν να στρέφονται κάτω από αυτό.

Για την πλήρη περιστροφή της ρόδας από την οριζόντια θέση,απαιτείται μιάμιση στροφή μιας και αυτός ο λόγος μετάδοσης είναι οικείος από τα περισσότερα οχήματα.Για λόγους ευελιξίας του οχήματος σε χαμηλές μόνο ταχύτητες υπάρχει σύνδεση της κίνησης του τιμονιού με τα μπροστά φρένα.Έτσι για παράδειγμα,σε περίπτωση δεξιάς στροφής,όταν το τιμόνι στραφεί πλήρως,ο εμπρός δεξιός τροχός ακινητοποιείται μειώνοντας με τον τρόπο αυτό την ακτίνα του κύκλου στροφής του οχήματος.Δύο υδραυλικά έμβολα είναι υπεύθυνα για την λειτουργία του συστήματος αυτού,τα οποία αναλαμβάνουν να τροφοδοτήσουν χωριστά με υδραυλικό μέσο τις δαγκάνες των μπροστά φρένων.Τα έμβολα πιέζονται από τον κανόνα που κινεί η περιστροφή του τιμονιού και ενεργοποιούνται μόνο στο τέλος της διαδρομής του κανόνα και όταν η ταχύτητα του οχήματος είναι μικρότερη από κάποιο όριο,το οποίο θέτουμε για λόγους ασφαλείας.Αντίστοιχη είναι η λειτουργία σε αριστερή στροφή,ενώ το σύστημα θα μπορεί να απενεργοποιείται κατά



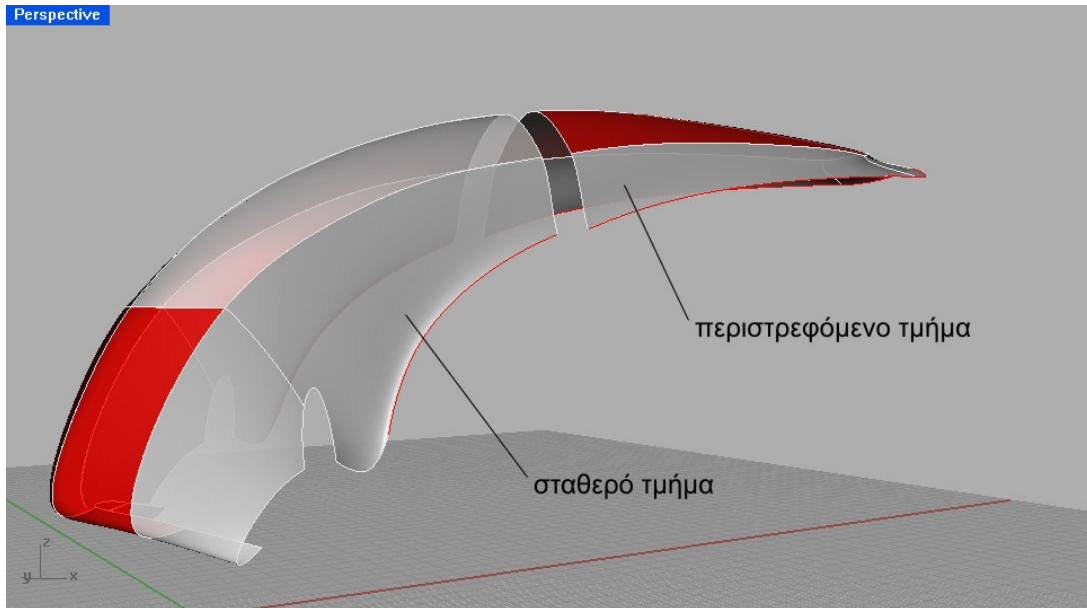
βούληση. Έτσι χωρίς την ενεργοποίηση του μηχανισμού ο ελάχιστος κύκλος στροφής είναι 8 μέτρα (8,75 μέτρα για το Mercedes Smart Fortwo) ενώ κατά την λειτουργία του συστήματος ο ελάχιστος κύκλος στροφής είναι αρκετά μικρότερος που σημαίνει αυξημένη ικανότητα ελιγμών σε χαμηλές ταχύτητες.



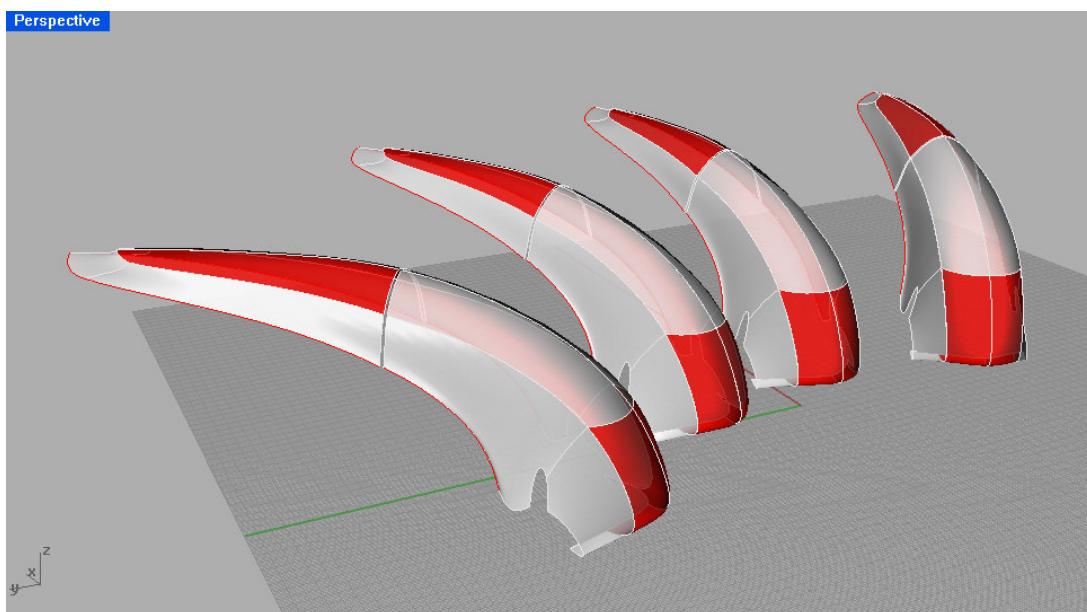
Σχήμα 5.73

## 5.7 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗ ΟΡΟΦΗΣ – ΤΖΑΜΙΑ

Λόγω πολυπλοκότητας της μορφής της οροφής, προτιμάμε για λόγους απλούστευσης της κατασκευής όπως και για λόγους επισκευασιμότητας αυτή να μην γίνει μονοκόμματη. Την κατασκευάζουμε σε δύο τμήματα, το ένα αποτελεί το σταθερό τμήμα ενώ το άλλο είναι περιστρεφόμενο και επιτρέπει την είσοδο των επιβατών στο εσωτερικό του οχήματος.



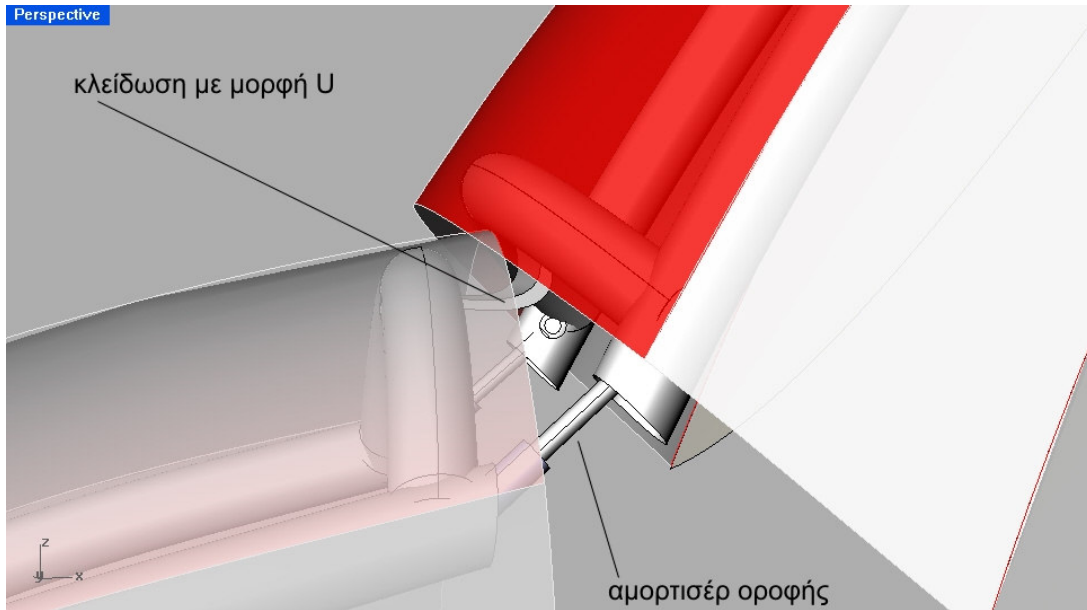
**Σχήμα 5.74**



**Σχήμα 5.75**

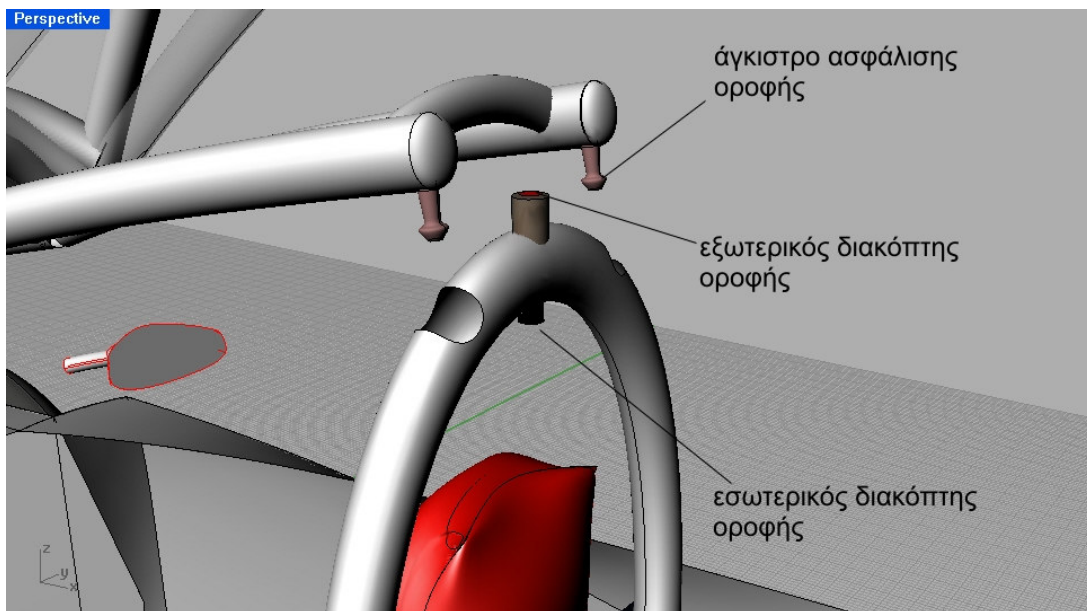
Τα δύο γυάλινα τμήματα τοποθετούνται σε μεταλλικό σκελετό πάνω στον οποίο είναι κολλημένη η κλείδωση που επιτρέπει την περιστροφή του πίσω τμήματος. Ένα αμορτισέρ τοποθετημένο στο σημείο της κλείδωσης υποβοηθά το άνοιγμα της οροφής και το συγκρατεί όρθιο κατά την είσοδο των επιβατών.

Η κλείδωση έχει τη μορφή “ U ” ώστε τα δύο τμήματα της οροφής να μην συγκρούονται μεταξύ τους κατά την περιστροφή.

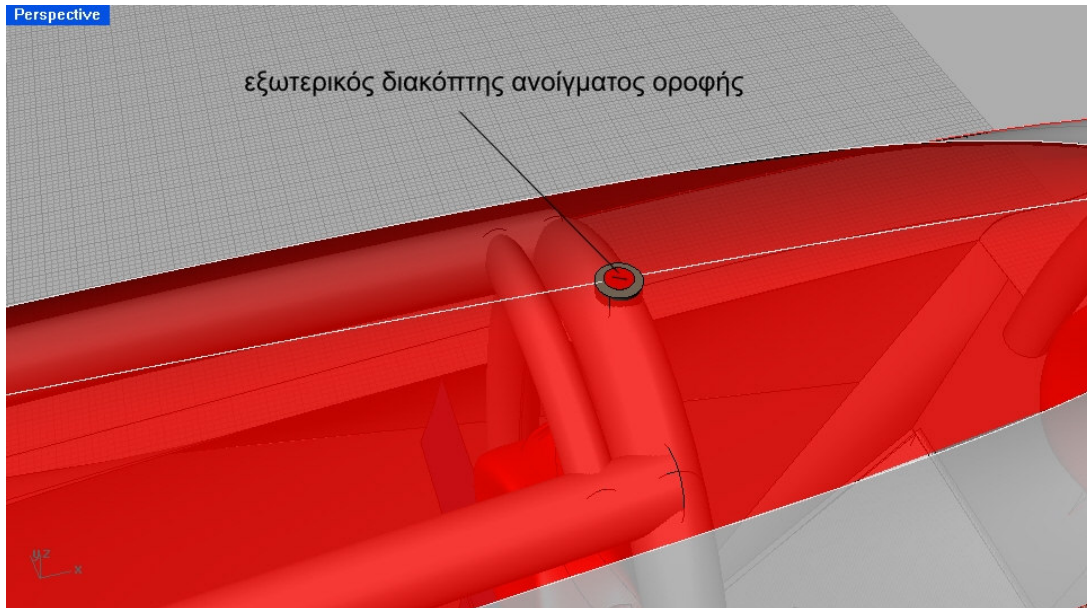


**Σχήμα 5.76**

Κατά το κλείσιμο της οροφής, το πλαίσιο που στηρίζει το πίσω γυάλινο τμήμα, ασφαλίζει επάνω στην ημικυκλική μπάρα που βρίσκεται πίσω από το προσκέφαλο του οδηγού. Το κουμπί που απελευθερώνει τα άγκιστρα του περιστρεφόμενου πλαισίου εμφανίζεται στο επάνω μέρος της οροφής όταν αυτή είναι κλειστή. Με το πάτημα του κουμπιού, τα αμορτισέρ σπρώχνουν την οροφή ανοίγοντάς την χωρίς την επιβολή εξωτερικής δύναμης.



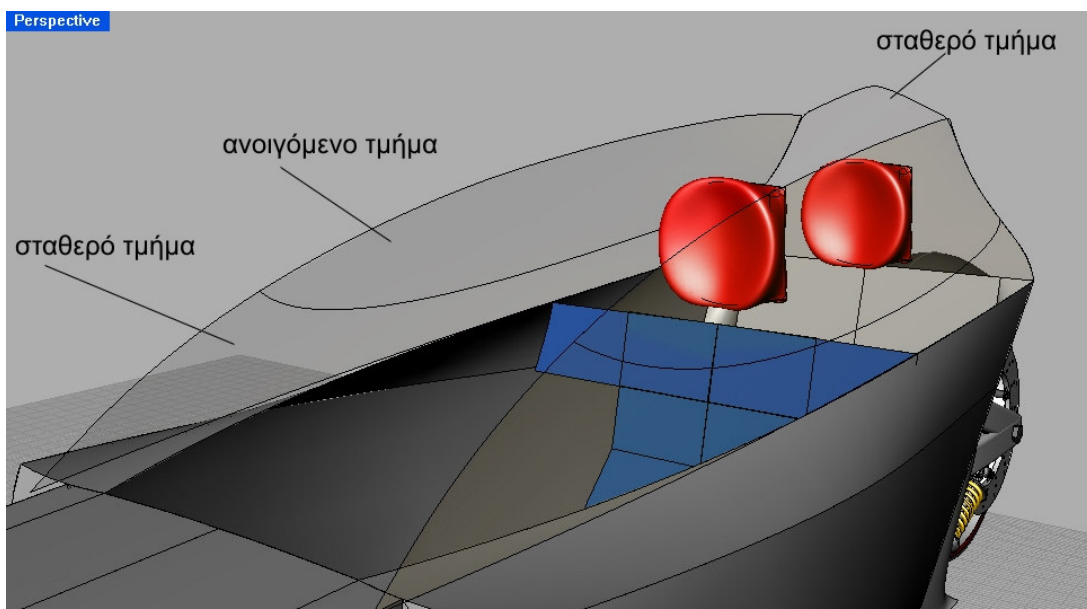
**Σχήμα 5.77**



**Σχήμα 5.78**

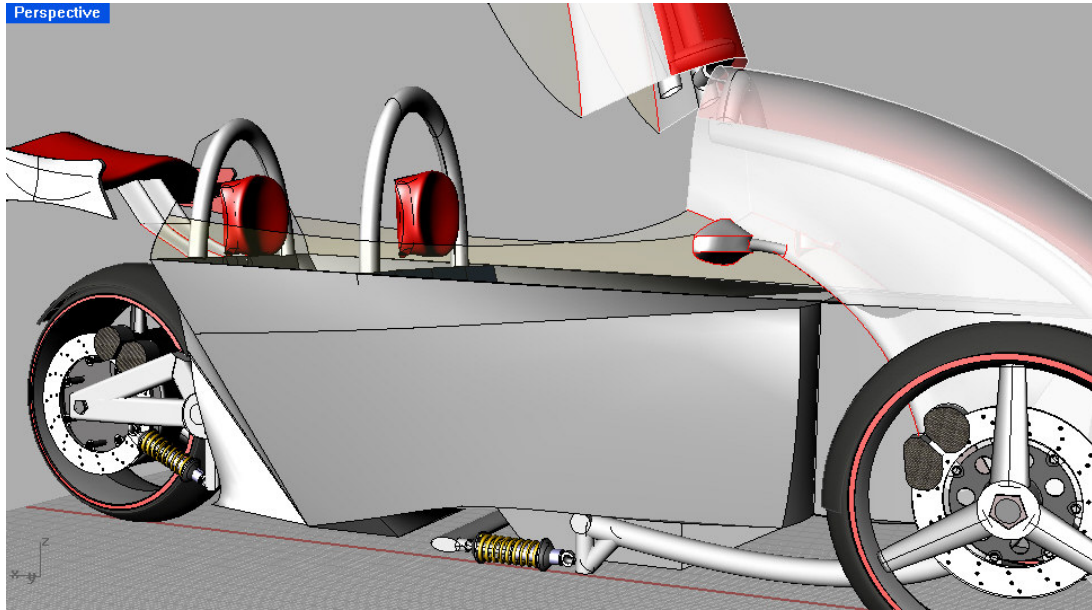
Για την πρόσδοση των χρωματισμών της οροφής, χρησιμοποιούμε έγχρωμες αντηλιακές μεμβράνες τις οποίες τοποθετούμε στην εσωτερική επιφάνεια της οροφής.

Τα τζάμια αποτελούνται από πέντε τμήματα. Τα τρία από αυτά είναι τοποθετημένα επάνω στο σασί ενώ τα άλλα δύο είναι στερεωμένα στο περιστρεφόμενο πλαίσιο της οροφής και έχουν δυνατότητα ανάκλισης.

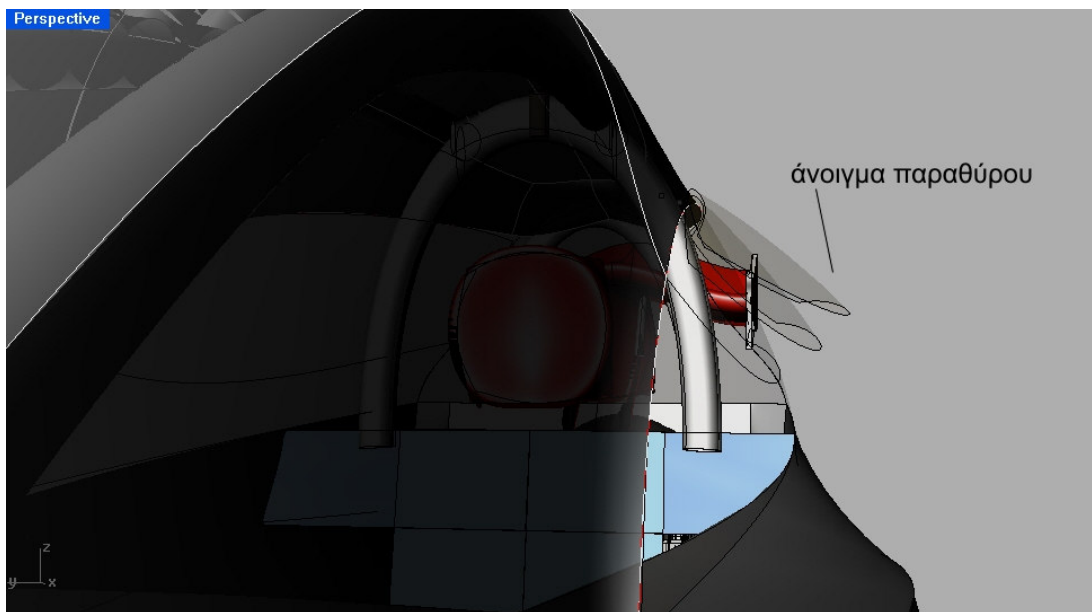


**Σχήμα 5.79**





**Σχήμα 5.80**



**Σχήμα 5.81**

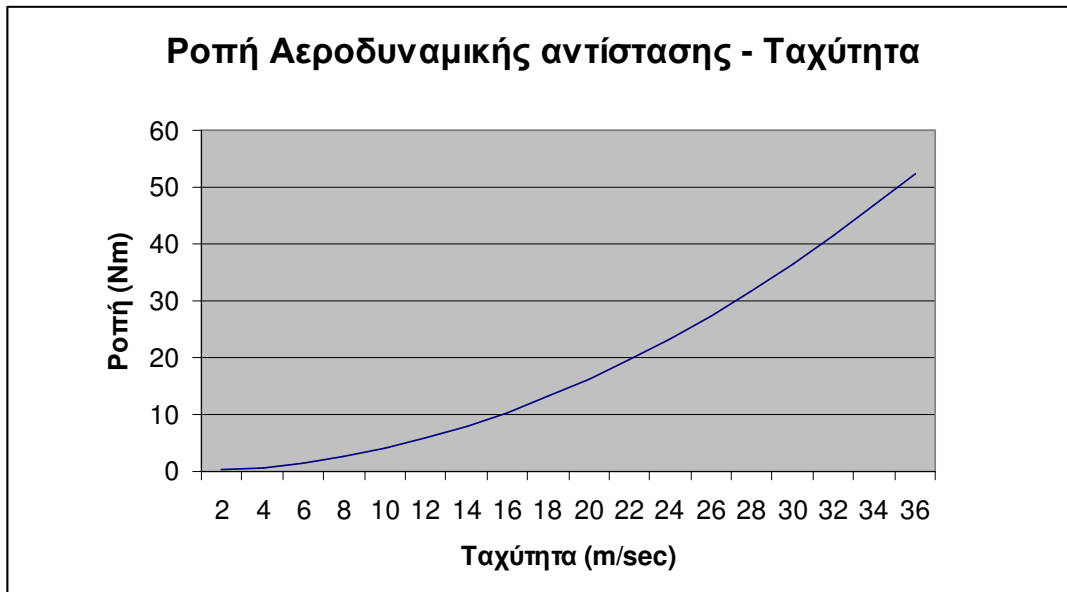
Το γυάλινο τμήμα των παραθύρων, εκτός από την δυνατότητα ανάκλισης, μπορεί να αποσπαστεί από το ανακλινόμενο πλαίσιο και να τοποθετηθεί επάνω στο σασί με την βοήθεια δύο ελαστικών στηρίξεων.

## 5.8 ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ – ΠΑΚΕΤΟ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ

Προτού περάσουμε στην επιλογή της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα και του πακέτου μπαταριών για την επαρκή τροφοδότησή του, πρέπει να υπολογίσουμε τις δυνάμεις που καλείται το όχημα να υπερνικήσει. Έτσι λοιπόν έχουμε αδρανειακές δυνάμεις, αντιστάσεις κύλισης και τριβές, αεροδυναμικές αντιστάσεις και δυνάμεις λόγω κλίσης του οδοστρώματος ή αναρριχήσεως. Για τον υπολογισμό των δυνάμεων χρειαζόμαστε τα παρακάτω στοιχεία, μερικά από τα οποία είναι προσεγγιστικά :

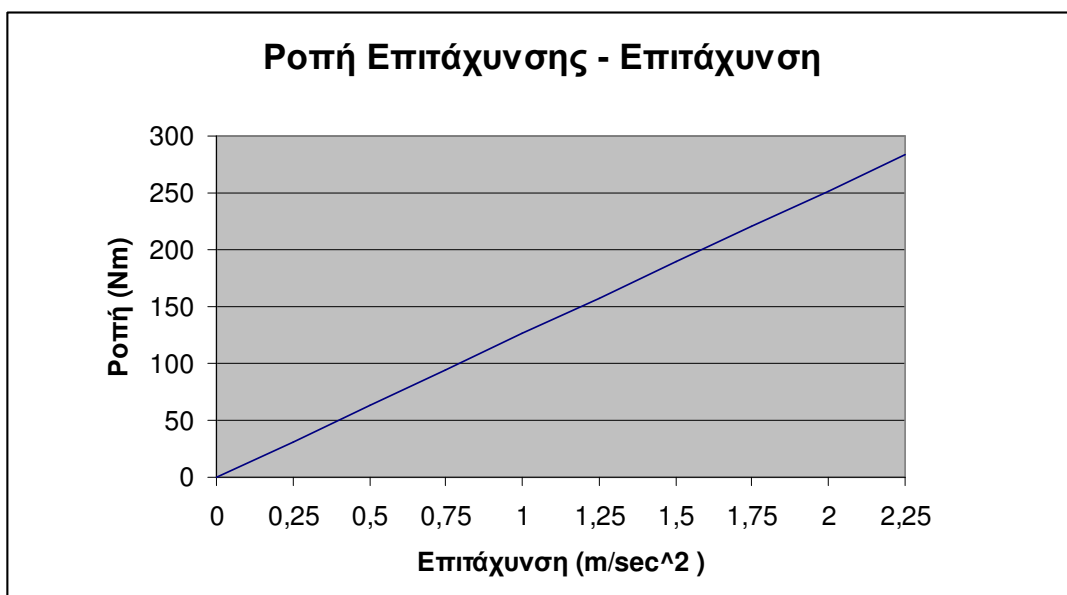
- Αεροδυναμικός συντελεστής οχήματος 0,3
- Μετωπική επιφάνεια οχήματος  $0,75 \text{ m}^2$
- Πυκνότητα αέρα  $1,23 \text{ kg/m}^3$
- Συντελεστής αντίστασης κύλισης 0,013
- Μέγιστη κλίση οδοστρώματος 14% ( $8^\circ$ )
- Εξωτερική διάμετρος κινητήριου τροχού 0,63 m
- Φορτίο υπολογισμών 400 kg
- Τελική ταχύτητα 130 Km/h
- Επιτάχυνση 12 δευτερόλεπτα 0-100 Km/h (σε οδόστρωμα με μηδενική κλίση)
- Αυτονομία 100 Km

Η αεροδυναμική αντίσταση ή αλλιώς οπισθέλκουσα υπολογίζεται από τη σχέση  $F_{\text{drag}} = 1/2 \rho v^2 C_d A$ , όπου  $\rho$  η πυκνότητα του αέρα σε  $\text{kg/m}^3$ ,  $v$  η ταχύτητα του οχήματος σε  $\text{m/sec}$ ,  $C_d$  ο αεροδυναμικός συντελεστής και  $A$  η μετωπική επιφάνεια του οχήματος σε  $\text{m}^2$ . Η μέγιστη οπισθέλκουσα στο όχημα αντιστοιχεί στην τελική ταχύτητα των 130 km/h ή αλλιώς 36 m/sec και είναι ίση με 165 N. Για την δεδομένη διάμετρο του κινητήριου τροχού, η απαραίτητη ροπή που θα πρέπει ο ηλεκτροκινητήρας να εφαρμόσει στα 130 Km/h προκειμένου να αντισταθμίσει την μέγιστη αεροδυναμική αντίσταση είναι ίση με 52 Nm. Το διάγραμμα της οπισθέλκουσας και συνεπώς της ροπής συναρτήσει της ταχύτητας είναι η παραβολή που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί



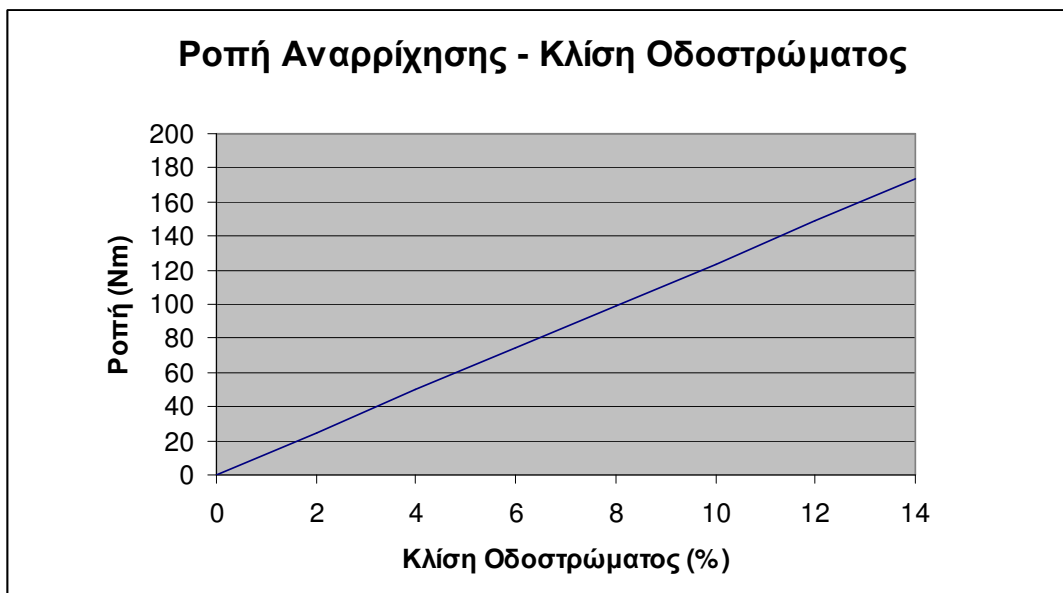
**Σχήμα 5.82**

Απαιτούμε το όχημα να αναπτύσσει ταχύτητα 100 χιλιομέτρων ανά ώρα από στάση σε 12 δευτερόλεπτα, που σημαίνει μέγιστη επιτάχυνση  $2,25 \text{ m/sec}^2$ , αν υποθέσουμε ότι αυτή παραμένει σταθερή κατά το χρονικό διάστημα των 12 δευτερολέπτων. Για την μέγιστη αυτή επιτάχυνση η απαιτούμενη δύναμη είναι 900 N και η αντίστοιχη ροπή του κινητήρα 284 Nm. Ακολουθεί το διάγραμμα της απαιτούμενης ροπής συναρτήσει της επιθυμητής επιτάχυνσης του οχήματος.



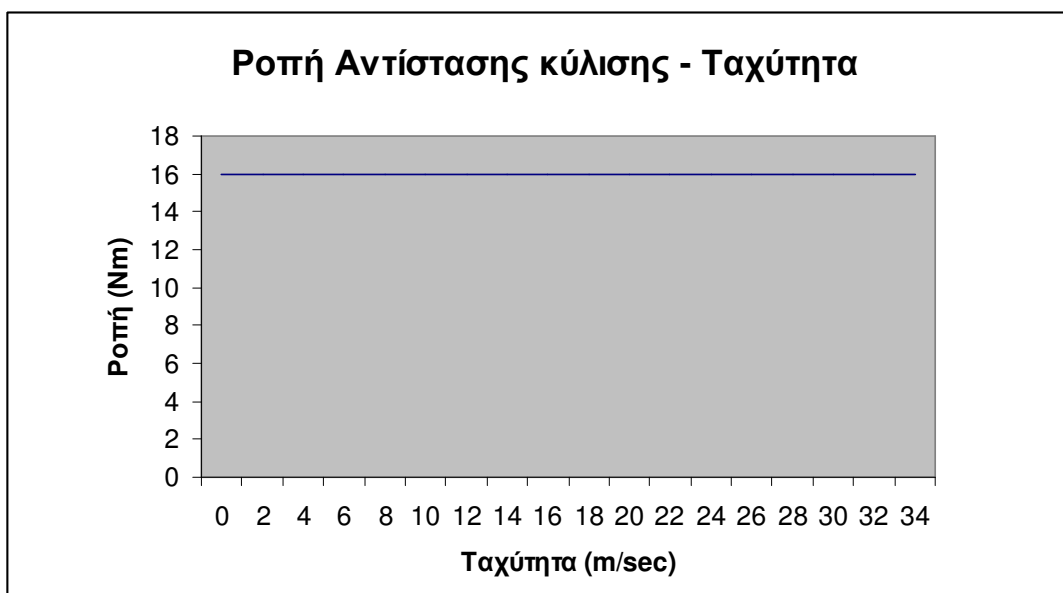
**Σχήμα 5.83**

Προκειμένου το όχημα να αναρριχηθεί σε δρόμο με κλίση 14% με σταθερή επιτάχυνση απαιτείται ροπή 174 Nm, η οποία υπολογίζεται από την συνιστώσα του βάρους κατά την διεύθυνση αναρρίχησης, το διάγραμμα της οποίας συναρτήσει της κλίσης του δρόμου φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 5.84

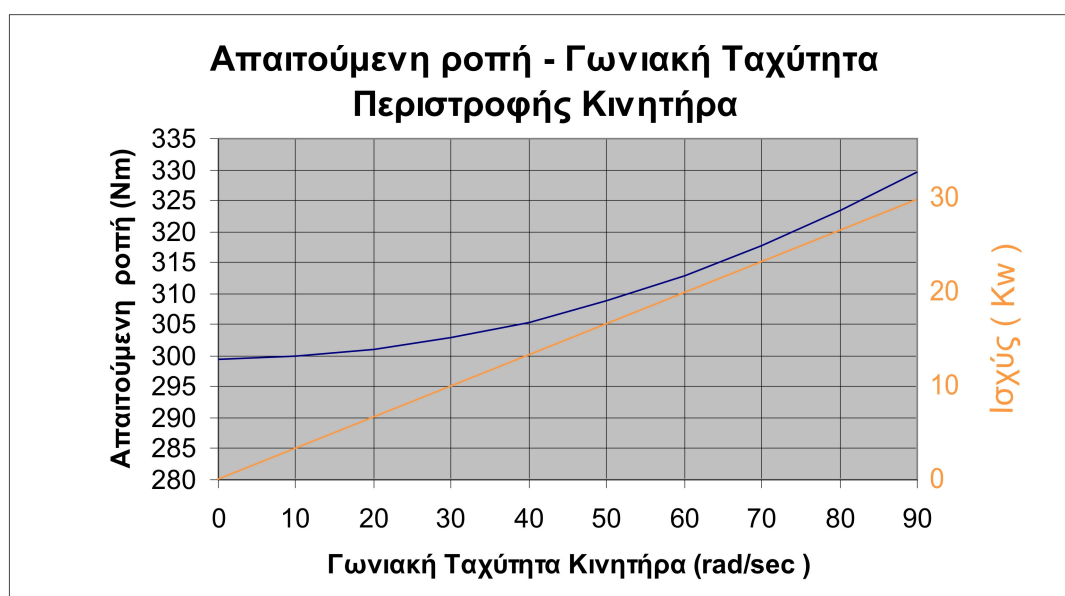
Για να υπερνικηθούν οι αντιστάσεις κύλισης ο κινητήρας πρέπει να εφαρμόζει ροπή 16 Nm, ανεξάρτητη από την ταχύτητα του οχήματος, όπως δείχνει το σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.85



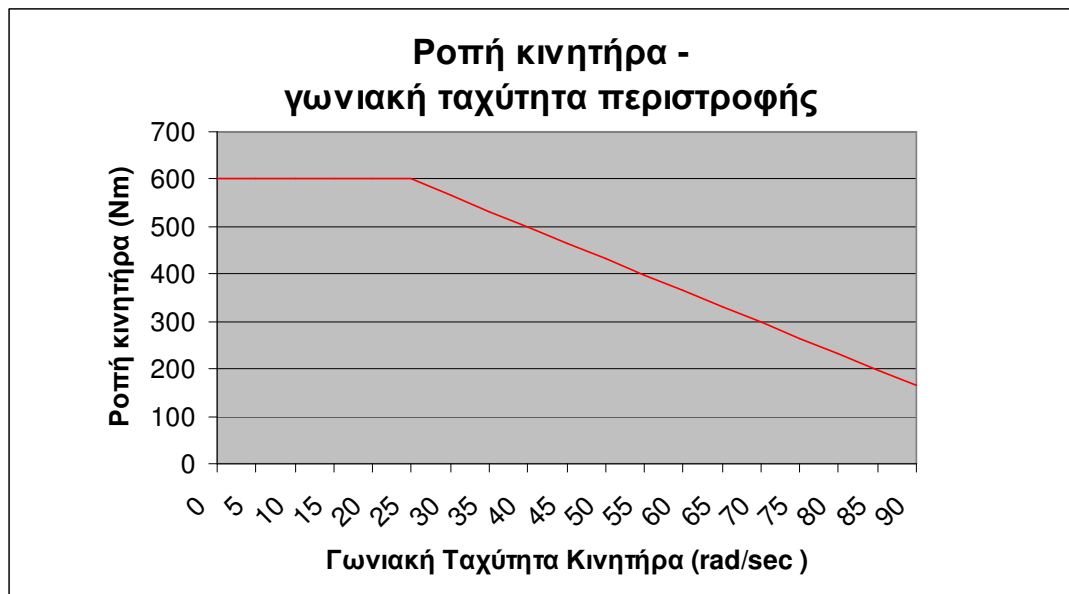
Για τον υπολογισμό της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος του ηλεκτροκινητήρα θα χρησιμοποιήσουμε την δυσμενέστερη περίπτωση από πλευράς ισχύος, που είναι η εκκίνηση του οχήματος από στάση με την μέγιστη επιτάχυνση (12 sec από 0 σε 100Km/h). Για την περίπτωση αυτή θεωρούμε ότι το οδόστρωμα έχει μηδενική κλίση και ότι η επιτάχυνση είναι σταθερή. Στην περίπτωση που έχουμε κλίση στο οδόστρωμα, μειώνουμε την επιτάχυνση του οχήματος αντί να αυξήσουμε την απαιτούμενη ισχύ του κινητήρα. Για την επίτευξη των 100 Km/h ο ηλεκτροκινητήρας θα πρέπει να περιστρέφεται με 89 rad/sec. Σχεδιάζουμε σε διάγραμμα το άθροισμα των απαιτούμενων ροπών του κινητήρα ώστε να υπερνικήσει την αντίσταση κύλισης, την οπισθέλκουσα και την αδράνεια λόγω επιτάχυνσης, συναρτήσει της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής.



**Σχήμα 5.86**

Παρατηρούμε ότι για επιταχυνόμενη κίνηση, στην ταχύτητα των 100 Km/h η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς είναι 30 KW με μέγιστη ροπή τα 330 Nm. Επειδή όμως οι ηλεκτροκινητήρες έχουν περιθώριο υπερφόρτωσης αρκετές φορές πάνω από την ονομαστική τιμή ροπής και ισχύος για περίπου μισό λεπτό και επειδή ο χρόνος της επιτάχυνσης είναι 12 δευτερόλεπτα για λόγους κόστους και βάρους θα επιλέξουμε ένα πολύ μικρότερο κινητήρα. Ένας πιθανός κινητήρας που μπορεί να επιλεγεί είναι 15 KW ονομαστικής ισχύος με ροπή υπερφόρτωσης 640 Nm. Για τον κινητήρα αυτό θα εξετάσουμε αν μπορεί να δώσει στο όχημα τις απαιτούμενες επιδόσεις ενώ θα βρούμε την βέλτιστη καμπύλη ροπής που η οδήγηση του κινητήρα θα πρέπει να δώσει ώστε να έχουμε την επιθυμητή επιτάχυνση χωρίς η μέγιστη ισχύς να ξεπεράσει τα 15 Kw.

Θεωρούμε ότι ο κινητήρας εκκινεί υπερφορτωμένος και δίνει ροπή 600 Nm από 0 rad/sec μέχρι 25 rad/sec, η οποία μετά μειώνεται με σταθερό ρυθμό μέχρι τα 168 Nm στα 89 rad/sec που αντιστοιχούν στην ταχύτητα των 100 Km/h. Η τιμές των 168 Nm και 25 rad/sec υπολογίστηκαν αντίστροφα για σταθερή ισχύ 15 KW (ισχύς = ροπή \* στροφές). Το διάγραμμα της βέλτιστης ροπής του ηλεκτροκινητήρα φαίνεται παρακάτω.



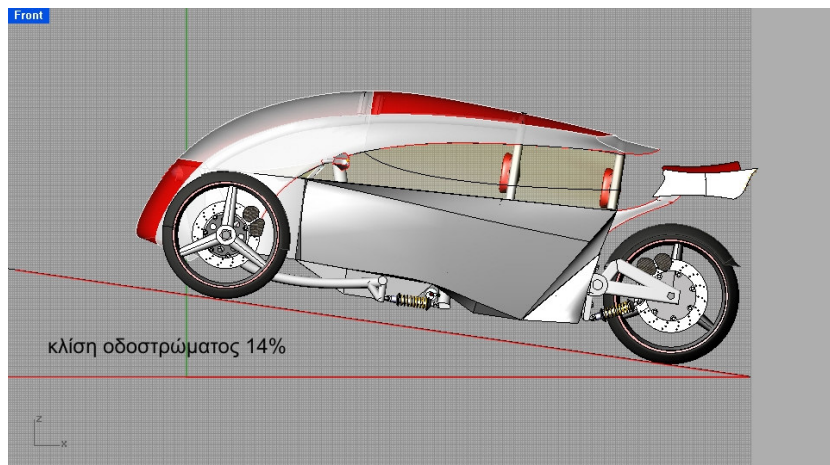
Σχήμα 5.87

Για τη ροπή αυτή και δεδομένου ότι ο κινητήριος τροχός έχει διάμετρο 630 mm υπολογίζουμε την διαθέσιμη δύναμη στον τροχό. Αφαιρούμε τις αεροδυναμικές αντιστάσεις και τις αντιστάσεις κύλισης και για συνολικό φορτίο 400 κιλών κατασκευάζουμε το γράφημα διαθέσιμης επιτάχυνσης μέχρι την ταχύτητα των 100 Km/h.



**Σχήμα 5.88**

Για την επιτάχυνση αυτή, ο χρόνος που θα χρειαστεί το όχημα να αναπτύξει ταχύτητα 100 Km/h από στάση είναι 10,5 sec. Για την επίτευξη του χρόνου αυτού ο κινητήρας δουλεύει στο σημείο μέγιστης ροπή μόνο για 1,7 sec , δίνοντας ροπή 600 Nm η οποία στη συνέχεια μειώνεται γραμμικά. Η ισχύς που απαιτείται ώστε το όχημα να μπορεί να διατηρεί την τελική του ταχύτητα σε επίπεδο οδόστρωμα είναι 7,86 Kw, ενώ για ισχύ 15 Kw το όχημα μπορεί να διατηρεί την τελική του ταχύτητα μέχρι κλίση οδοστρώματος 5% .



**Σχήμα 5.89**

Παρατηρούμε ότι ο κινητήρας των 15 Kw είναι ικανός να δώσει τις επιθυμητές επιδόσεις στο όχημα και συνεπώς κρίνεται επαρκής. Σημειώνουμε ότι ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα είναι μεγαλύτερος από 0,95 ενώ απουσιάζουν διαφορικό και κιβώτιο ταχυτήτων που έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης. Για τους υπολογισμούς μας δεν λαμβάνουμε υπ' όψιν βαθμούς

απόδοσης αφενός μεν γιατί ζητάμε προσεγγιστικές τιμές και αφετέρου γιατί οι επιδόσεις που έχουμε θέσει δεν είναι αυστηρά καθορισμένες αλλά ενδεικτικές.

Ένας πιθανός κινητήρας που μπορούμε να επιλέξουμε είναι ο Wheelmotor EW 30/60 της εταιρίας PML flightlink με τα εξής χαρακτηριστικά:

- 14,4 Kw ονομαστική ισχύς
- 160 Nm ονομαστική ροπή
- 640 Nm μέγιστη ροπή,για 30 δευτερόλεπτα
- Βάρος κινητήρα 18 kg

Περισσότερα στοιχεία για τον κινητήρα δίνονται στο παράρτημα.

Σημειώνουμε ότι ο ηλεκτροκινητήρας αυτός μπορεί να δώσει και καλύτερες επιταχύνσεις στο όχημα,όμως για λόγους οικονομίας ενέργειας,ο ηλεκτρονικός έλεγχος του κινητήρα περιορίζει το όχημα στις επιδόσεις που περιγράψαμε παραπάνω.Μια ιδέα θα ήταν να υπάρχουν ρυθμίσεις στην επιλογή του οδηγού όσο αφορά την μέγιστη επιτάχυνση με άμεση επίδραση,βέβαια,στην αυτονομία του οχήματος,η οποία και θα αναγράφεται στον πίνακα ενδείξεων.

Για τον καθορισμό της απαραίτητης ενέργειας των μπαταριών θα δημιουργήσουμε το ακόλουθο σενάριο κίνησης του οχήματος.Θεωρούμε ότι το όχημα κινείται με την τελική ταχύτητα των 130 Km/h σε επίπεδο δρόμο και απαιτούμε να διανύσει απόσταση 100 χιλιομέτρων.Βρίσκουμε ότι την απόσταση αυτή θα την καλύψει σε 0,77 ώρες ενώ η απαραίτητη ισχύς θα είναι 7,86 Kw.Δεχόμαστε από στατιστικά και εμπειρικά στοιχεία ότι από τον χρόνο των 0,77 ωρών μόνο το 40% η ισχύς θα είναι 7,86 Kw.Το υπόλοιπο 60% ,για να κάνουμε ασφαλείς υπολογισμούς,το υπολογίζουμε με 15 Kw καθώς είτε το οδόστρωμα δεν θα είναι παντού επίπεδο είτε ο οδηγός θα θέλει να επιταχύνει απότομα το όχημα.Για το σενάριο αυτό έχουμε:

- $0,77 \text{ h} * 0,4 * 7,86 \text{ Kw} = 2,42 \text{ KWh}$
- $0,77 \text{ h} * 0,6 * 15 \text{ Kw} = 6,93 \text{ KWh}$
- Συνολική απαιτούμενη ενέργεια μπαταριών  $2,42 + 6,93 = 9,35 \text{ KWh}$

Συμπεριλαμβανομένων και των απωλειών του ηλεκτροκινητήρα επιλέγουμε πακέτο μπαταριών με δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας 10 KWh.Ακριβή υπολογισμό της απαιτούμενης αποθηκευμένης ενέργειας μπορούμε να έχουμε μόνο με πειραματικά δεδομένα καθώς η τεχνολογία των μπαταριών και των ηλεκτροκινητήρων για χρήση σε ηλεκτρικά οχήματα είναι ακόμα σε εξέλιξη,συνεπώς ενδέχεται τα τεχνικά στοιχεία να είναι ανακριβή ή να διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χρήση.

Επειδή το βάρος των μπαταριών και η πυκνότητα ενέργειας είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα των ηλεκτροκίνητων οχημάτων,και επειδή ο όγκος του



οχήματός μας είναι ιδιαίτερα περιορισμένος,θα επιλέξουμε μπαταρίες λιθίου ιόντων που έχουν την μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας και αναλογικά μικρότερο όγκο και βάρος από τις υπόλοιπες που κυκλοφορούν στην αγορά(NiCd,NiMH,Cobalt).Έτσι λοιπόν,για μπαταρίες λιθίου ιόντων μπορούμε να έχουμε πυκνότητα ενέργειας 130 Wh/kg ,330Wh/lt,με κόστος 200-300 €/KWh.Συνεπώς η μπαταρία του οχήματος θα καταλαμβάνει χώρο 30 λίτρων ενώ το βάρος της θα είναι 77 kg. Για την φόρτιση του οχήματος σε οικιακό δίκτυο 220V/10A απαιτούνται περίπου 5 ώρες ενώ υπάρχει και η δυνατότητα της ταχυφόρτισης,όπου ο χρόνος μπορεί να είναι και λιγότερος από μισή ώρα.Για την ταχυφόρτιση υπάρχουν συγκεκριμένες καμπύλες ρεύματος προκειμένου αυτή να γίνει με ασφάλεια και να μην προκληθεί υπερθέρμανση ή ακόμα και καταστροφή των μπαταριών.Ο χρόνος ζωής των μπαταριών λιθίου ιόντων είναι περίπου 2000 κύκλοι φόρτισης που σημαίνει ότι μετά τα 200.000 Km η απόδοσή τους θα είναι μειωμένη και πιθανόν να χρειάζονται αλλαγή.Γενικά οι μπαταρίες λιθίου ιόντων απαιτούν συνεχή παρακολούθηση της θερμοκρασίας τους λόγω πιθανής ανάφλεξης από υπερθέρμανση.

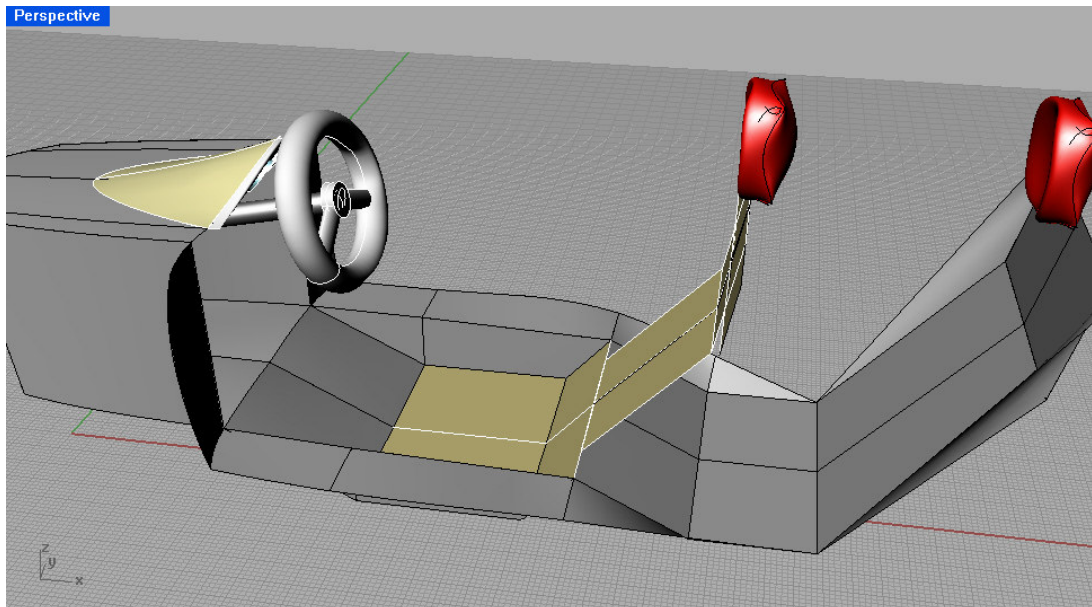
Μία περίπτωση εξοικονόμησης ενέργειας αποτελεί η αναγεννητική πέδηση (regenerative braking).Στην πραγματικότητα η λειτουργία των φρένων είναι να καταστρέφουν την κινητική ενέργεια του οχήματος μετατρέποντάς την σε θερμότητα μέσω της τριβής στις δισκόπλακες.Την ενέργεια αυτή μπορούμε να την ανακτήσουμε κατά ένα ποσοστό μέχρι και 20% λειτουργώντας τον κινητήρα ως γεννήτρια σταδιακά όσο μεγαλώνει και η απαίτηση για επιβράδυνση.Όταν η απαιτούμενη επιβράδυνση ξεπεράσει την τιμή που μπορεί η γεννήτρια να επιβάλλει με την αντίστασή της,τότε αρχίζουν να λειτουργούν τα δισκόφρενα.Η τιμή του ποσοστού ανάκτησης ενέργειας πρέπει να είναι ρυθμιζόμενη και στην επιλογή του οδηγού καθώς μεγάλο ποσοστό ανάκτησης δημιουργεί απότομες επιβραδύνσεις στο όχημα με το άφημα του πεταλιού επιτάχυνσης.Σε περίπτωση που η ενέργεια της πέδης αποθηκεύεται πρώτα σε πυκνωτές (ultracapacitors) μπορούμε να ανακτήσουμε ακόμα και το 85% της κινητικής ενέργειας του οχήματος κατά την πέδη επειδή αυτοί έχουν την δυνατότητα ταχείας φόρτισης.Η απαιτούμενη χωρητικότητα της συστοιχίας των πυκνωτών για χρήση σε τετραθέσιο ηλεκτροκίνητο όχημα είναι της τάξης των 10 Farad.

Ο ηλεκτροκινητήρας μαζί με το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου έχει κόστος της τάξης των 7.000 ευρώ,οι μπαταρίες περίπου 2.500 ευρώ και ο φορτιστής περίπου 1.000 ευρώ.Προφανώς το κόστος είναι υπερβολικά μεγάλο αν αναλογιστούμε ότι το όχημα προορίζεται για περιορισμένη χρήση και είναι μόνο για δύο άτομα.Ομως,επειδή η κατασκευή των μπαταριών όπως και των ηλεκτροκινητήρων για χρήση σε οχήματα είναι ακόμα σε προβιομηχανικό στάδιο,είναι προφανές ότι οι τιμές θα μειωθούν αρκετά όταν υπάρξει μαζική παραγωγή.Αρκεί να σκεφτούμε ότι στην αγορά κυκλοφορούν ελάχιστα ηλεκτροκίνητα οχήματα και ότι οι περισσότεροι κατασκευαστές κινητήρων

και μπαταριών τροφοδοτούν κυρίως ερευνητικά προγράμματα και ειδικές κατασκευές κατά παραγγελία με άμεση συνέπεια στο κόστος.

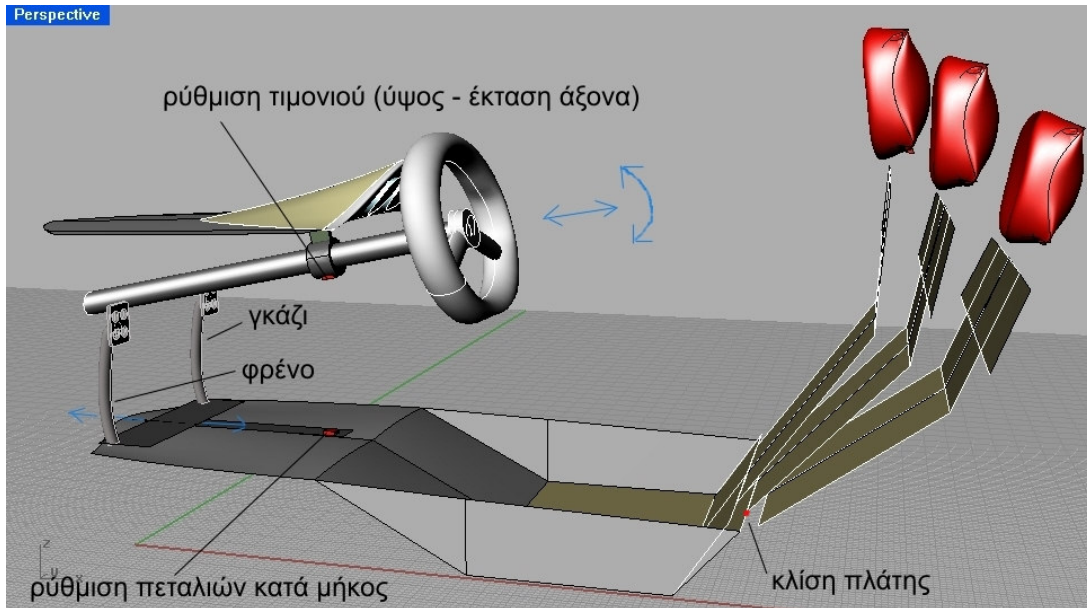
### **5.9 ΧΩΡΟΣ ΕΠΙΒΑΤΩΝ – ΘΕΣΗ ΟΔΗΓΗΣΗΣ**

Για λόγους οικονομίας χώρου και βάρους της κατασκευής, τα καθίσματα των επιβατών σχηματίζονται από την ίδια την μορφή του σασί, πάνω στο οποίο τοποθετείται τοπικά ταπετσαρία με ενδιάμεσο αφρώδες υλικό. Το κάθισμα του συνοδηγού διαθέτει δυνατότητα ρύθμισης μόνο στο προσκέφαλο ενώ για του οδηγού υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα επιλογής της κλίσης της πλάτης.



**Σχήμα 5.90**

Επειδή η θέση του οδηγού είναι σταθερή, μιας και αποτελεί τμήμα του ίδιου του σασί, τοποθετούμε τα πετάλια σε κινητή βάση ενώ παράλληλα το τιμόνι έχει τηλεσκοπικό άξονα περιστροφής και μπορεί να μετακινείται καθ' ύψος.



**Σχήμα 5.91**

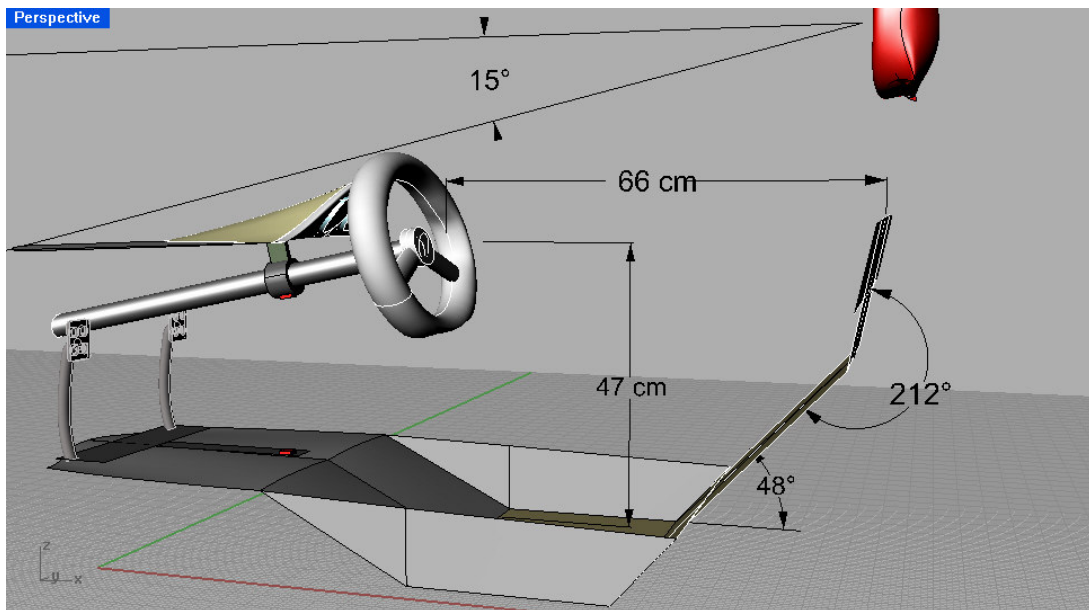
Για την οδήγηση του οχήματος απαραίτητα είναι δύο πετάλια (γκάζι και φρένο) και το τιμόνι, ενώ απουσιάζουν πετάλι συμπλέκτη και μοχλός ταχυτήτων καθώς ο ηλεκτροκινητήρας συνδέεται στη ρόδα χωρίς την παρεμβολή κιβωτίου ταχυτήτων. Οι όποιες ενδείξεις είναι απαραίτητες για την σωστή λειτουργία του οχήματος και τον επαρκή χειρισμό του, εμφανίζονται ηλεκτρονικά στον πίνακα οργάνων που είναι τοποθετημένος σε εμφανές για τον οδηγό σημείο.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις πρότυπες διαστάσεις για το σχεδιασμό της θέσης οδήγησης ενός αυτοκινήτου.

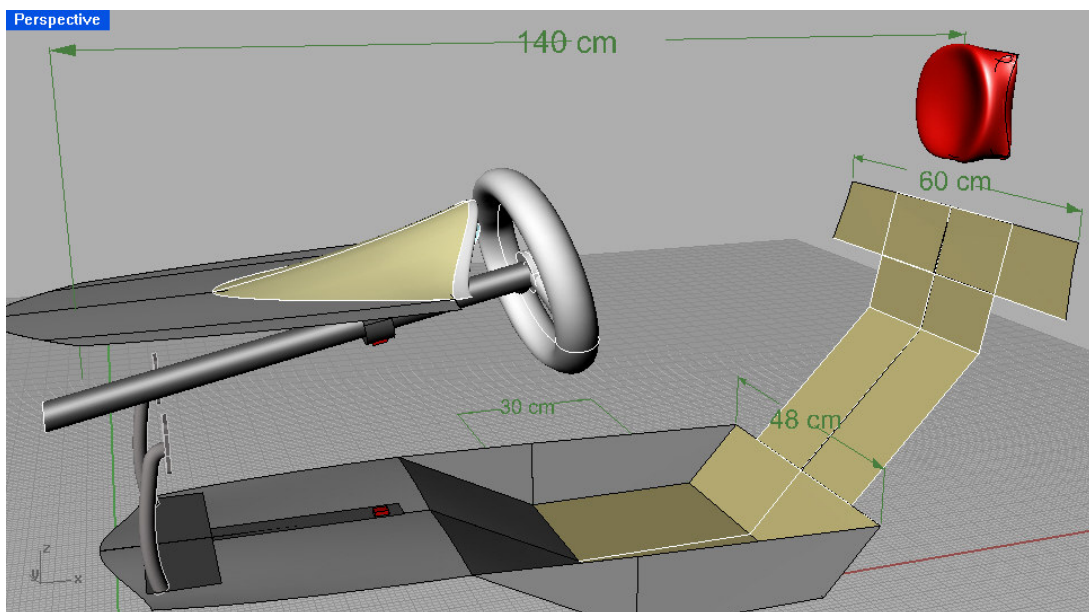








Σχήμα 5.93



Σχήμα 5.94

## **5.10 ΛΟΙΠΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

### **5.10.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ**

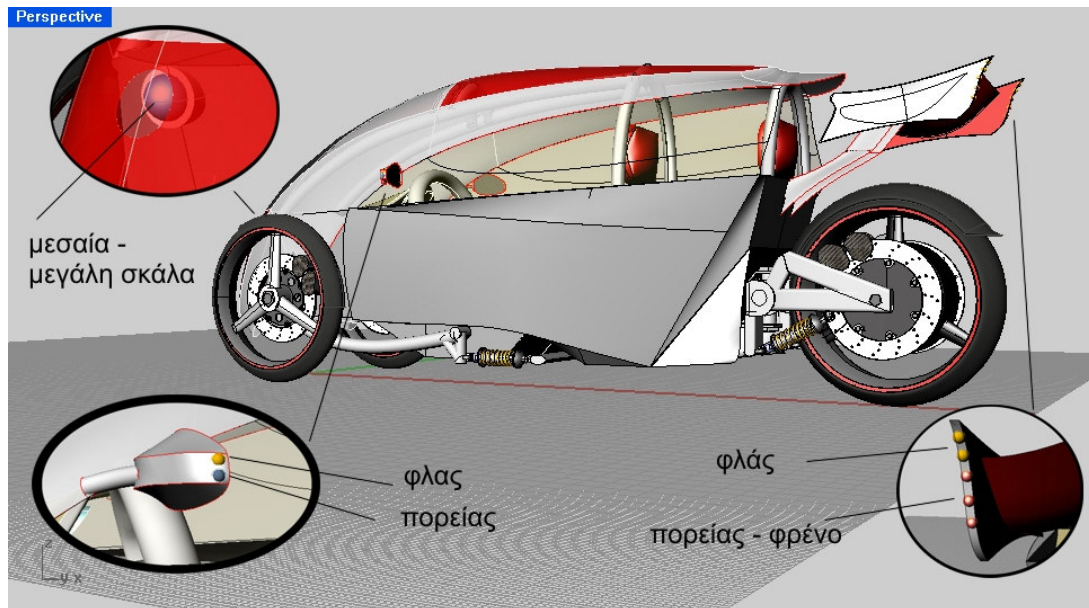
Για την επιβράδυνση του οχήματος είναι υπεύθυνα υδραυλικά δισκόφρενα, από ένα στους εμπρός τροχούς και δύο στον πίσω τροχό. Επειδή το βάρος του οχήματος είναι χαμηλό, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας, αποφεύγουμε τη χρήση ηλεκτρικής αντλίας για την δημιουργία αδιαχώρητου. Έτσι, πίσω από το πετάλι του φρένου, τοποθετούμε ένα έμβολο το οποίο τροφοδοτεί με υδραυλικό υγρό τα δισκόφρενα. Ένας κατανεμητής είναι υπεύθυνος να διαχωρίσει την παροχή που θα πάει στους μπροστά τροχούς και τον πίσω. Η κατανομή της πίεσης σε κάθε τροχό εξαρτάται άμεσα από την κατανομή του βάρους.

Το χειρόφρενο, για λόγους ασφαλείας, σταματάει τους δύο μπροστινούς τροχούς. Διαθέτει δικό του κύκλωμα και ξεχωριστό έμβολο το οποίο ενεργοποιείται με το χειρομοχλό. Έτσι, σε περίπτωση αστοχίας του κυρίως κυκλώματος, το όχημα θα μπορεί να ακινητοποιηθεί με το χειρόφρενο, που λειτουργεί και ως εφεδρικό κύκλωμα.

Στην περίπτωση που διαπιστωθεί πειραματικά ότι η δύναμη του ποδιού δεν επαρκεί για την πίεση που χρειάζεται, μπορούν να τοποθετηθούν ηλεκτροκίνητη αντλία χαμηλής ισχύος ( $< 200\text{W}$ ) και συσσωρευτής που θα υποβοηθήν το μηχανικό σύστημα. Για λόγους ασφαλείας, προτιμάμε να μην αντικαταστήσουμε εντελώς την λειτουργία του εμβόλου πίσω από το πετάλι του φρένου.

### **5.10.2 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑ**

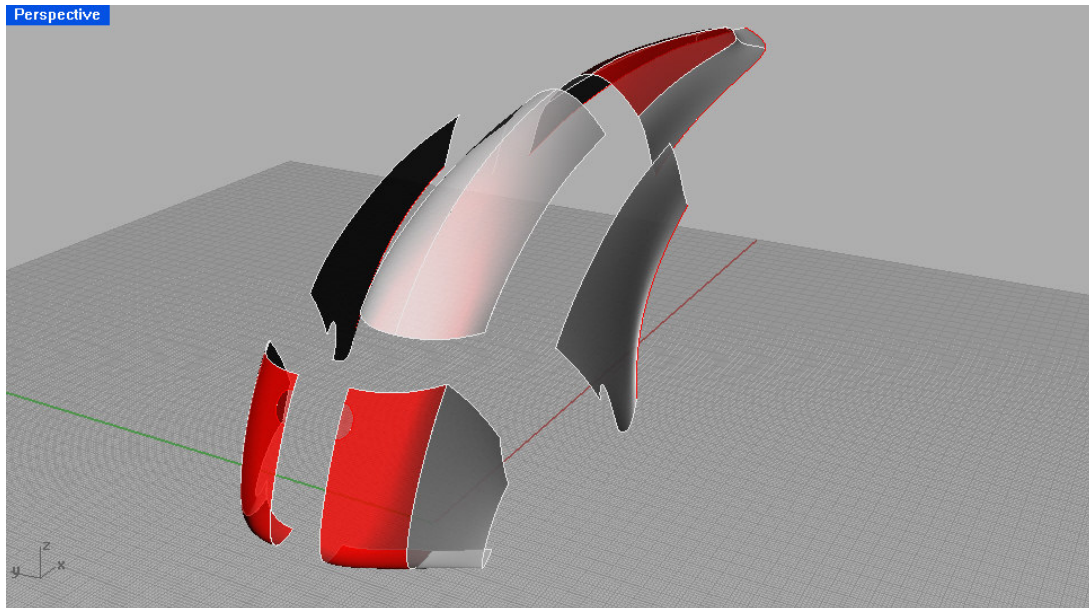
Οι κυριότερες καταναλώσεις, εκτός από τον κινητήρα, που καλείται η μπαταρία να τροφοδοτήσει είναι τα φώτα, ο κλιματισμός, ο γυαλοκαθαριστήρας και το ραδιοκασετόφωνο. Τα φώτα απαιτούν στο σύνολό τους  $150\text{ W}$  (σχήμα 5.95), ενώ για τον καθαρισμό της μπροστινής επιφάνειας του παρμπρίζ  $50\text{ W}$  κινητήρας γυαλοκαθαριστήρα κρίνεται ικανοποιητικός. Όσο αφορά το ραδιοκασετόφωνο, μία ανεκτή ισχύ αποτελούν τα  $30\text{ W}$ . Αλλαγή του ηχοσυστήματος θα μπορεί να γίνει κατά προτίμηση, με άμεση όμως συνέπεια στην αυτονομία του οχήματος. Το μεγάλο πρόβλημα ενέργειας έρχεται στον κλιματισμό. Ένα όχημα γενικά, απαιτεί  $500\text{ W}$  για τον κλιματισμό του, με κλιματιζόμενο όγκο αέρα περίπου  $4\text{ m}^3$ . Το όχημα που κατασκευάζουμε έχει εσωτερικό όγκο περίπου  $1,5\text{ m}^3$ , που σημαίνει ότι ισχύς της τάξης των  $200\text{ W}$  κρίνεται ικανοποιητική.



**Σχήμα 5.95**

### **5.10.3 ΕΠΙΣΚΕΥΑΣΙΜΟΤΗΤΑ -ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ**

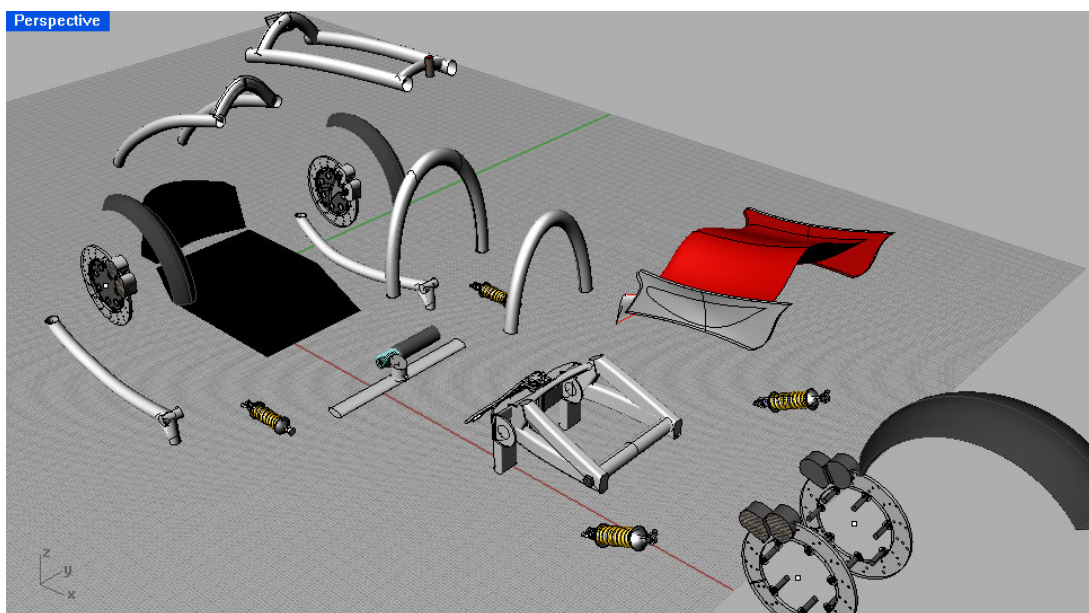
Προκειμένου το όχημα να είναι εύκολα επισκευάσιμο και με χαμηλό κόστος, προτιμάμε τα τμήματα με μεγάλη πιθανότητα καταστροφής σε μια μικρή κρούση ή επαφή να μη είναι μονοκόμματα. Έτσι, για παράδειγμα, αν σπάσει το εμπρός τμήμα της γυάλινης οροφής σε μία μικρή σύγκρουση και αυτή είναι χωρισμένη σε τμήματα, δεν θα χρειαστεί να αλλαχθεί ολόκληρο το γυάλινο κομμάτι αλλά μόνο το σπασμένο τμήμα. Για το λόγο αυτό, τεμαχίζουμε την οροφή σε τμήματα, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



**Σχήμα 5.96**

Το μπροστινό τμήμα μπορεί να είναι κατασκευασμένο από πλαστικό ή plexiglass ώστε να έχει ελαστικότητα και να μπορεί να επαναφέρει το σχήμα του μετά από μικρές παραμορφώσεις χωρίς να καταστρέφεται.

Όλα τα υπόλοιπα εξωτερικά μέρη, εκτός από το σασί, αποτελούνται από μικρά τμήματα κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα ψαλίδια και οι μπάρες προστασίας οροφής για μικρές παραμορφώσεις μπορούν να ισιωθούν με χρήση ειδικού εργαλείου (κουρμαδόρος), ενώ αν κρίνεται απαραίτητο μπορούν εύκολα να αντικατασταθούν.



**Σχήμα 5.97**



Το κάτω μέρος των μπαταριών επειδή διατρέχει κίνδυνο να χτυπηθεί σε ανώμαλο οδόστρωμα, προτιμάμε να το προστατέψουμε με διαμήκεις μεταλλικές δοκούς.

Τα σύνθετα υλικά είναι ψαθυρά και δεν εμφανίζουν το φαινόμενο του μόνιμου λυγισμού κάτω από την επιβολή μεγάλων φορτίων. Όταν ξεπεραστεί το όριο ελαστικότητας, εμφανίζεται ρωγμή και οι ίνες του σύνθετου σπάνε. Αν η ρωγμή βρίσκεται σε σημείο που να μην επηρεάζεται η αντοχή και η λειτουργία του τεμαχίου, ανοίγουμε οπή στο τέλος της ρωγμής ώστε να αποφύγουμε την διάδοσή της. Αν κρίνεται απαραίτητο για λόγους αντοχής ή στεγανότητας, τρίβουμε το σημείο της ρωγμής και εφαρμόζουμε τοπικά όσες στρώσεις σύνθετου χρειάζονται. Όταν πολυμεριστεί η ρητίνη λειαίνουμε τοπικά το σύνθετο ώστε να έρθει στο αρχικό του πάχος. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επισκευαστεί το σασί αν εμφανιστεί τοπικά μια ρωγμή λόγω κρούσης. Στην περίπτωση που το σπάσιμο διατρέχει μεγάλο μήκος μιας επιφάνειας τότε με την επισκευή ανακτούμε μικρό ποσοστό της αρχικής αντοχής, που σημαίνει ότι το σασί πιθανότατα να θέλει αντικατάσταση.

Ο ηλεκτροκινητήρας δεν χρειάζεται συντήρηση συγκριτικά με ένα κινητήρα εσωτερικής καύσης που απαιτεί συνεχείς αλλαγές σε πολλά μέρη του. Τα δισκόφρενα και οι αποσβεστήρες θέλουν αλλαγή, ανάλογα βέβαια με τον τρόπο οδήγησης, μετά από περίπου 25.000 Km. Όπως αναφέραμε και παραπάνω οι μπαταρίες μετά από τα 200.000 Km ενδέχεται να έχουν μειωμένη απόδοση και να θέλουν αλλαγή.

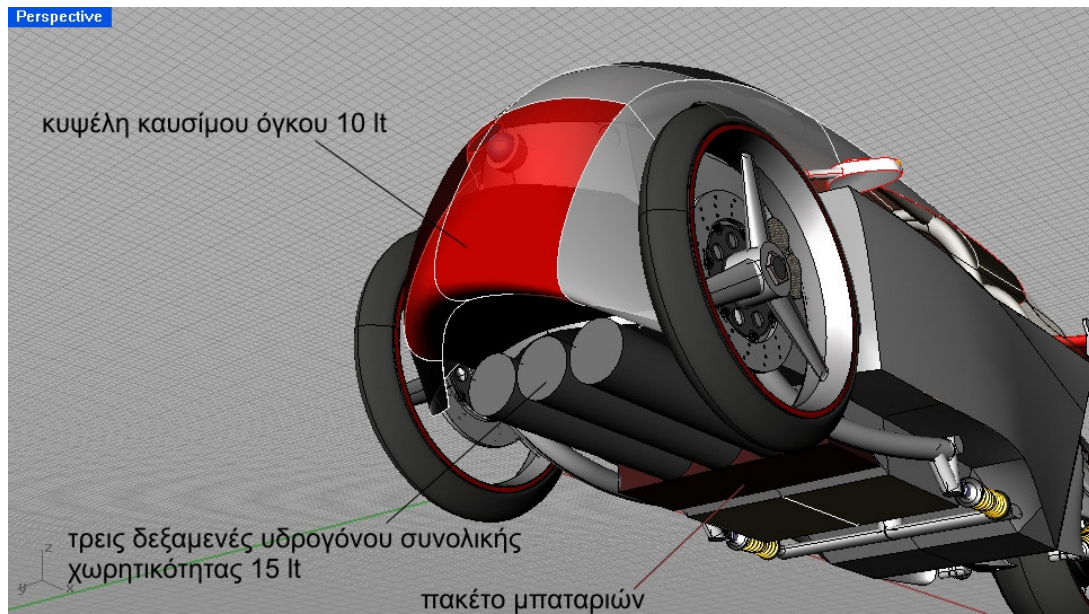
## **5.11 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΜΕ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ**

Ένα δεύτερο σενάριο τροφοδοσίας του ηλεκτροκινητήρα, εκτός από τις μπαταρίες, αποτελούν οι κυψέλες καυσίμου ή αλλιώς fuel cells. Στις μέρες μας δεν υπάρχει όχημα παραγωγής που να κινείται με fuel cell γιατί το υδρογόνο δεν διατίθεται στην αγορά για κατανάλωση σε οχήματα. Είναι, όμως, πολύ πιθανό σε μερικά χρόνια να δημιουργηθούν σταθμοί ανεφοδιασμού υδρογόνου, με συνέπεια την μαζική παραγωγή των υδρογονοκίνητων οχημάτων.

Για το όχημά μας, η απαίτηση των 15 Kw μπορεί να ικανοποιηθεί με κυψέλη καυσίμου όγκου 10 λίτρων και βάρους 16 κιλών που μπορεί να τοποθετηθεί στο μπροστά μέρος του οχήματος.

Για την τροφοδότηση της κυψέλης και για αποθηκευμένη ενέργεια 10 κιλοβατωρών ο απαιτούμενος όγκος του υδρογόνου της δεξαμενής είναι 12,5 λίτρα με βάρος 7 κιλών. Μία πιθανή θέση για την τοποθέτηση της δεξαμενής, είναι κάτω από το πάτωμα, στο χώρο κάτω από τα πόδια του οδηγού (σχήμα 5.98). Σε αυτή την περίπτωση, όμως, η δεξαμενή θα πρέπει να είναι προστατευμένη από τυχόν χτυπήματα. Αν και το πακέτο μπαταριών δεν χρειάζεται να έχει χωρητικότητα 10

KWh ,ένα μικρό κομμάτι αυτού παραμένει ώστε να μπορεί να σταθεροποιεί την τάση τροφοδοσίας του ηλεκτροκινητήρα. Την ίδια δουλειά με το μικρό πακέτο μπαταριών μπορεί να κάνει και μία συστοιχία πυκνωτών.



**Σχήμα 5.98**

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑ

Η μέθοδος κατασκευής του οχήματος , όπως την περιγράψαμε στην εργασία είναι κατά βάση χειροποίητη, με το βασικό πλεονέκτημα ότι απαιτεί τα ελάχιστα μηχανήματα συγκριτικά με πιο αυτοματοποιημένες μεθόδους. Σε βιομηχανική, όμως, κλίμακα ενδέχεται κάποια μέρη να κατασκευαστούν με άλλη μέθοδο που θα επιδέχεται μεγαλύτερης αυτοματοποίησης, και για μαζική παραγωγή θα επιτυγχάνεται μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής σε σχέση με τη χειροποίητη μέθοδο. Παρ' όλα αυτά , η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου κατασκευής για κάθε τμήμα του οχήματος απαιτεί τεχνοοικονομική μελέτη ενώ εξαρτάται άμεσα από τον συνολικό αριθμό των παραγόμενων τεμαχίων.

Προκειμένου τα ηλεκτρικά οχήματα να γίνουν προσιτά στο αγοραστικό κοινό , απαιτείται συγχρονισμένη προσπάθεια από πλευράς σταθμών τροφοδοσίας ενέργειας , είτε αυτή είναι υπό την μορφή ηλεκτρικού ρεύματος είτε υπό την μορφή υδρογόνου, και από πλευράς αυτοκινητοβιομηχανιών. Είναι λογικό ότι καμία βιομηχανία δεν θα επενδύει χρήματα στην εξέλιξη και διάθεση ηλεκτροκίνητων οχημάτων αν δεν υπάρχουν αντίστοιχοι σταθμοί τροφοδοσίας ενέργειας και το αντίστροφο.

Για την συντήρηση του οχήματος απαιτείται σημαντικά μικρότερο κόστος σε σύγκριση με ένα συμβατικό όχημα με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Αρκεί να σκεφτούμε ότι σε ένα θερμικό όχημα το μεγαλύτερο ποσοστό από το συνολικό κόστος συντήρησης είναι για τον κινητήρα. Βέβαια , όπως αναφέραμε και σε σχετική παράγραφο , ένα σημαντικό κόστος που ένα ηλεκτροκίνητο όχημα καλείται να καλύψει μετά από περίπου 200.000 Km και που ένα συμβατικό όχημα δεν έχει , είναι η αλλαγή του πακέτου μπαταριών με κόστος της τάξης των 2.500 ευρώ. Εκτός από τους αποσβεστήρες και τα φρένα που είναι αναλώσιμα και τυποποιημένα , για τα υπόλοιπα μέρη του οχήματος , ο χρόνος ζωής τους εξαρτάται από τους στόχους του κατασκευαστή, δηλαδή το πόσο συχνά θέλει το όχημα που παράγει να απαιτεί συντήρηση (service).

Πιθανά σενάρια χρήσης του οχήματος θα μπορούσαν να είναι χρήση ως ειδικό όχημα της αστυνομίας , όπου απαιτείται ευελιξία και ταχύτητα στους δρόμους των πόλεων , χρήση από γιατρούς ή άτομα των οποίων ο χρόνος μετακίνησης είναι ιδιαίτερα περιορισμένος. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του οχήματος αποτελεί το γεγονός ότι είναι αθόρυβο , χαρακτηριστικό που το κάνει κατάλληλο για χρήση ως όχημα περιφρούρησης. Σημειώνουμε ότι το δεδομένο πάχος του σασί είναι ικανό να σταματήσει θραύσμα βάρους 1,1 gr με ταχύτητα 460 m/sec (βάρος και ταχύτητα εκτοξευόμενου βλήματος μικρού όπλου).

## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 7.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ



## EW Series Wheel Motor

#### PERFORMANCE DATA

TEST DETAIL MOTOR RATINGS	UNIT	E WHEEL MOTOR TEST RESULTS								
		EW 15		EW20		EW25		EW30		
Peak Stall Torque (30 sec)	Nm	36	60	48	76	140	168	340	320	640
Continuous Stall Torque	Nm	9	12	19	35	42	85	80	160	160
Rated Power	Watts	1350	1800	2280	4200	4200	8500	7200	14400	14400
Rated Speed	RPM	1500	1500	1200	1200	1000	1000	900	900	900

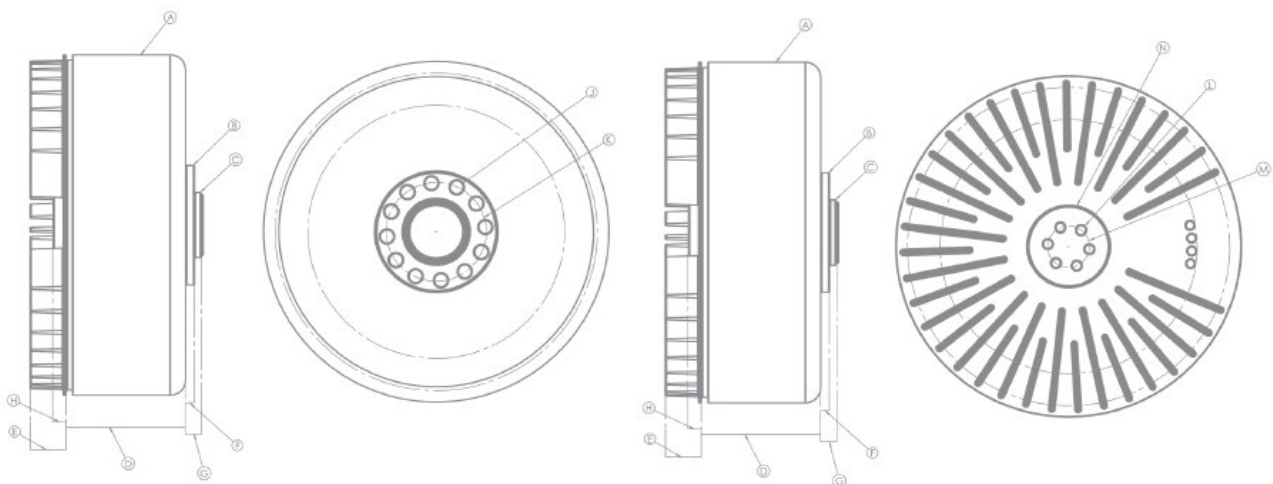
#### PERFORMANCE CHARACTERISTICS AND DATA

For more information visit our website [www.pmlflightlink.com](http://www.pmlflightlink.com). Precise figures will be qualified upon receipt of customer's specific application requirements.

All dimensions in mm. All weights in kg.

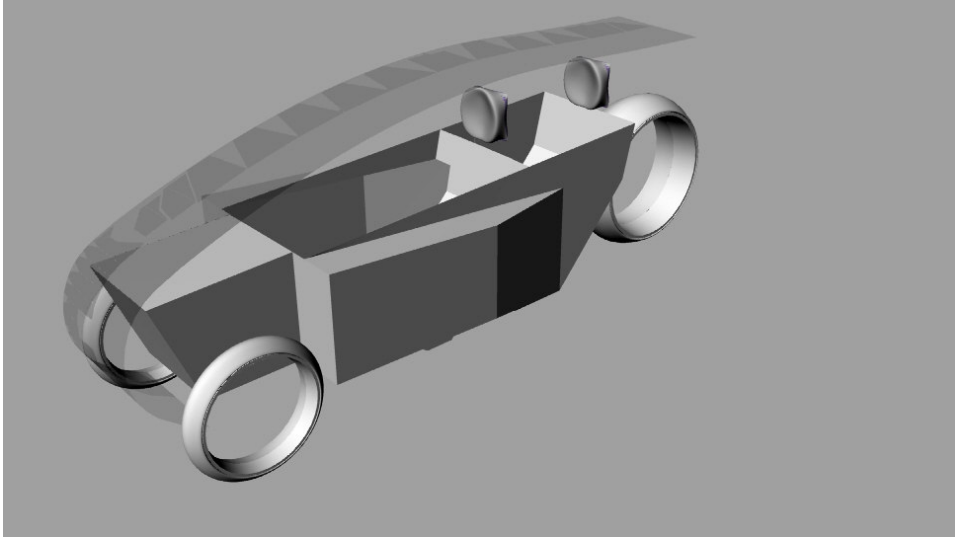
#### DIMENSION GUIDES

MOTOR TYPE	DIMENSIONS													
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	Wt
EW15/30	149	66	n/a	70	20	9	9	4	m6 x6	32	m5 x5	52	60	4
EW15/60	149	66	n/a	100	20	9	9	4	m6 x6	32	m5 x5	52	60	6
EW20/30	190	90	n/a	75	30	4	4	7	m8 x4	110	m6 x6	24	60	6
EW20/60	190	90	n/a	105	30	4	4	7	m8 x4	110	m6 x6	24	60	9
EW25/30	252	110	48	80	30	8	16	10	m12 x12	90	m8 x6	30	74	8.5
EW25/60	252	110	48	110	30	8	16	10	m12 x12	90	m8 x6	30	74	13
EW30/30	316	110	60	80	40	8	14	10	m12 x12	90	m8 x6	38	74	12
EW30/60	316	110	60	120	40	8	14	10	m12 x12	90	m8 x6	38	74	18

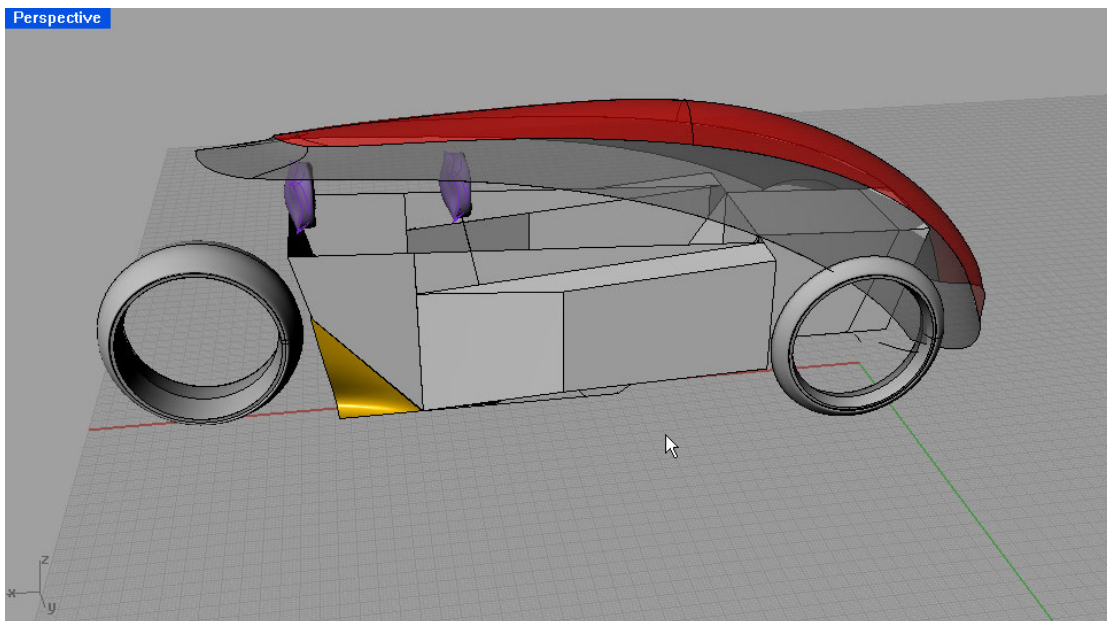




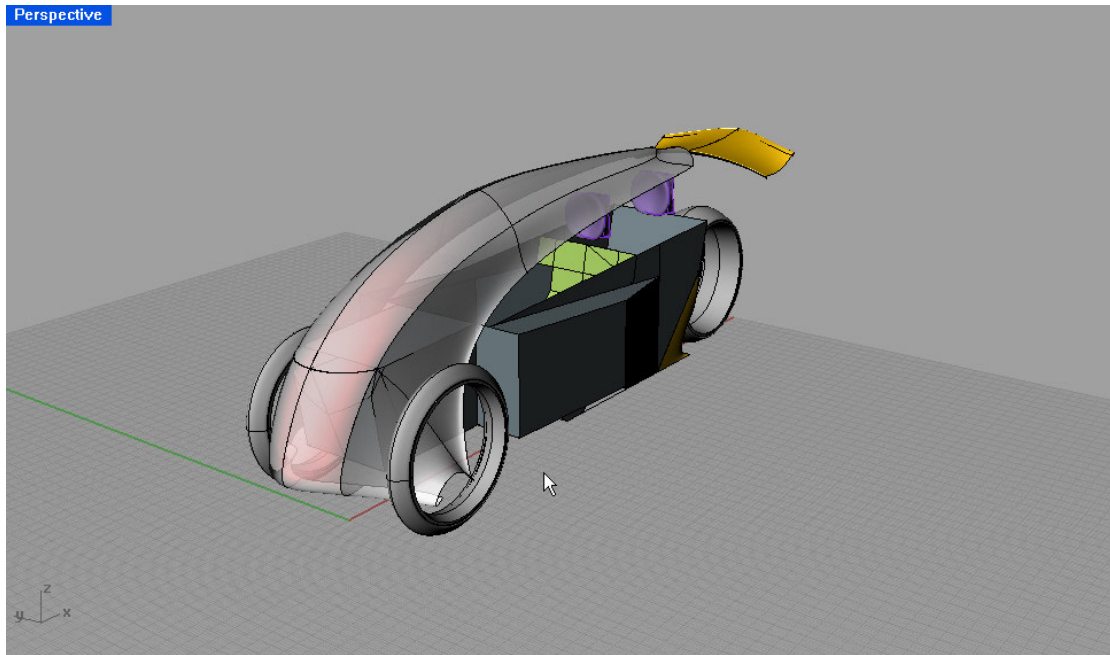
## 7.2 ΕΙΚΟΝΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ



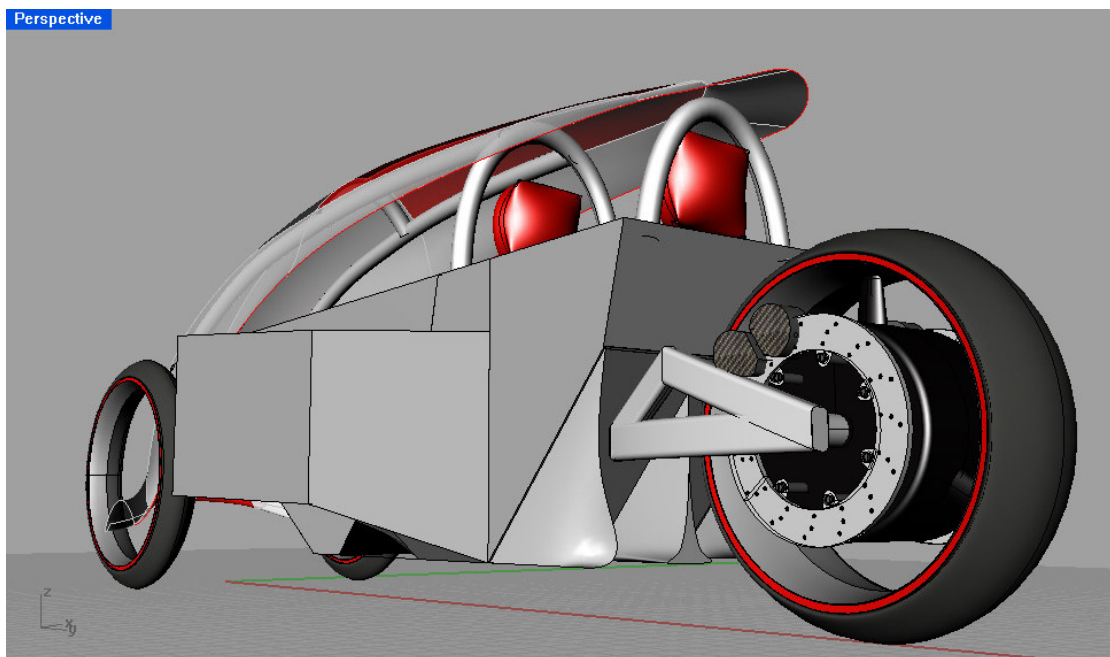
Σχήμα 7.1



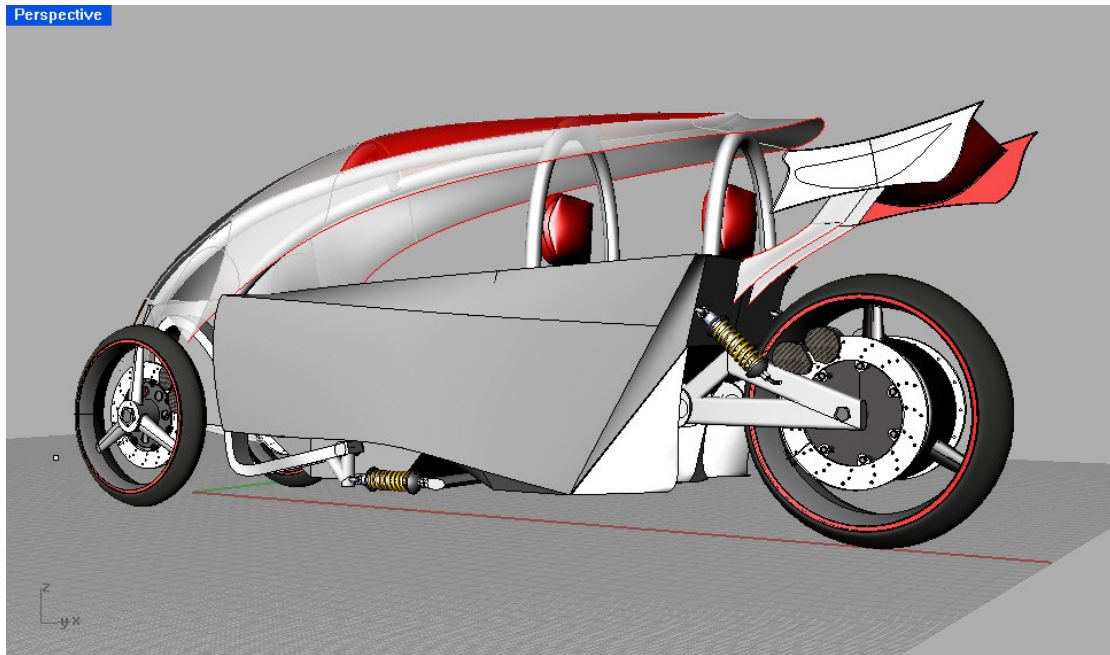
Σχήμα 7.2



Σχήμα 7.3



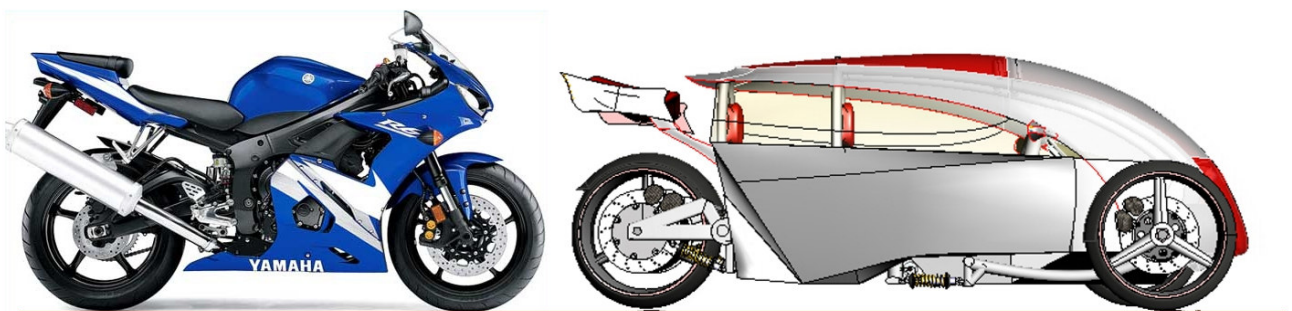
Σχήμα 7.4



Σχήμα 7.5

### 7.3 ΛΟΙΠΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Για την καλύτερη κατανόηση των διαστάσεων του οχήματος δημιουργούμε τις παρακάτω φωτογραφίες με την βοήθεια του προγράμματος Corel Photo Paint.



Σχήμα 7.6





**Σχήμα 7.7**



**Σχήμα 7.8**



**Σχήμα 7.9**



**Σχήμα 7.10**





**Σχήμα 7.11**

## **8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Κ.Ν. Σπέντζας , Κατασκευή Οχημάτων , ΕΜΠ ,Αθήνα 1999
2. Κ.Ν. Σπέντζας , Δυναμική Οχημάτων , ΕΜΠ , Αθήνα 2000
3. Κ.Ν. Σπέντζας , Ηλεκτροκίνητα Οχήματα , ΕΜΠ , Αθήνα 2004
4. Κ.Ν. Σπέντζας , Μ. Demic , Θεωρία Κινήσεως Τροχοφόρων Οχημάτων, Αθήνα 2004
5. Ι. Αντωνιάδης , Χ. Προβατίδης , Υπολογιστικές Μέθοδοι Στις Κατασκευές , ΕΜΠ, Αθήνα 2004
6. Ν.Γ. Τσουβαλής , Ανάλυση Και Σχεδίαση Σκαφών Από Σύνθετα Υλικά , ΕΜΠ , Αθήνα 1998
7. Δ.Ε. Μανωλάκος , Σημειώσεις του μαθήματος Εφαρμογές Προηγμένων Υλικών , ΕΜΠ , Αθήνα 2004
8. Ε. Παπαδόπουλος , Ηλεκτρομηχανικά Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας , ΕΜΠ, Αθήνα 2001
9. Ν. Μαρμαράς , Εισαγωγή Στην Εργονομία , ΕΜΠ , Αθήνα 2002
- 10 S.K. Mazumdar , Composites Manufacturing , CRC Press LLC , 2002

### ***ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***

1. [www.bolton.ac.uk/](http://www.bolton.ac.uk/)
2. [www.reversetribe.com](http://www.reversetribe.com)
3. [www.myersmotors.com](http://www.myersmotors.com)
4. <http://drivingthefuture.com/97pct.htm#add>
5. <http://greenspeed.us/>
6. <http://enerdel.com/index.php>
7. <http://www.gizmag.com/go/4031/gallery/>
8. [http://www.spacemart.com/reports/Prototype\\_For\\_Revolutionary\\_One\\_Metre\\_Wide\\_Vehicle\\_Is\\_Developed.html](http://www.spacemart.com/reports/Prototype_For_Revolutionary_One_Metre_Wide_Vehicle_Is_Developed.html)
9. [www.pmlflighthlink.com](http://www.pmlflighthlink.com)
10. [www.tm4.com](http://www.tm4.com)
11. [www.greencarcongress.com](http://www.greencarcongress.com)
12. [www.johnsoncontrols.com](http://www.johnsoncontrols.com)
13. <http://www.mitsubishi-motors.com>
14. [http://www.toshiba.co.jp/about/press/2005\\_03/pr2901.htm](http://www.toshiba.co.jp/about/press/2005_03/pr2901.htm)
15. [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
16. <http://www.howstuffworks.com/>
17. <http://www.answers.com/topic/fuel-cell?cat=technology>
18. <http://www.everspring.net/txt/index.htm>
19. [www.siemens.com](http://www.siemens.com)
20. <http://www.windsun.com/Batteries/>
21. [www.A123systems.com](http://www.A123systems.com)
22. [www.phiaro.co.jp](http://www.phiaro.co.jp)
23. [www.carver-worldwide.com](http://www.carver-worldwide.com)
24. <http://www.leftlanenews.com/bmws-clever-concept-completed.html>
25. <http://www.fimea.it/cars/open/street.htm>
26. <http://www.hammacher.com/publish/10954.asp>
27. [www.revaindia.com](http://www.revaindia.com)