

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**



**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ  
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ  
ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ**

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

Υπό την  
Ευαγγελία Μεριστούδη

Επιβλέπων Καθηγητής: Νικόλαος Τσουρβελούδης

Χανιά, 2016

---

## Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Καθηγητή Νικόλαο Τσουρβελούδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος, τη συνεχή υποστήριξη και την άριστη συνεργασία. Χωρίς την δική του καθοδήγηση η συγκεκριμένη εργασία δεν θα υπήρχε.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή της σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, διευθυντή του Εργαστηρίου «Μεταβαλλόμενης Αρχιτεκτονικής, Κινητικών Συστημάτων και Ευφών Περιβαλλόντων» (TIE LAB) Κωνσταντίνο-Αλκέτα Ουγγρίνη για τη συνεχή του υποστήριξη και πολύτιμη βοήθεια του. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά την ομάδα του εργαστηρίου TIE LAB για τις πολύτιμες συμβουλές τους και τον χρόνο που αφιέρωναν λύνοντας απορίες.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Σάββα Πιπερίδη για την υποστήριξη και τη βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης τον διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Πολυχρόνη Σπανουδάκη για την πολύτιμη και συνεχή βοήθεια του σχετικά με την διαδικασία της 3D εκτύπωσης.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την υποστήριξη τους σε κάθε βήμα μου και για την συμπαράσταση τους κατά τη διάρκεια της εργασίας, καθώς και όλων αυτών των χρόνων σπουδών.

---

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	4
1.1 Γενικά στοιχεία για τα έντροχα ρομποτικά οχήματα.....	4
1.2 Κίνητρο εργασίας.....	7
1.3 Διατύπωση προβλήματος.....	8
Κεφάλαιο 2. Περιγραφή του έντροχου ρομποτικού οχήματος ATRV-mini.....	9
2.1 Εισαγωγή.....	9
2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	9
2.3 Λειτουργικά μέρη του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini....	10
2.3.1 Αισθητήρες υπερήχων.....	10
2.3.2 Παγκόσμιο σύστημα Συντεταγμένων-GPS.....	11
2.3.3 Πυξίδα.....	11
2.3.4 Κινητήρες συνεχούς ρεύματος.....	12
2.3.5 Κινηματικό μοντέλο.....	12
2.3.6 Λογισμικό Mobility .....	14
2.3.7 Σύστημα ελέγχου rFlex.....	15
2.4 Η μορφή του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini μέχρι σήμερα.....	15
Κεφάλαιο 3. Προτεινόμενη λύση- Σχεδιασμός.....	17
3.1 Εισαγωγή.....	17
3.2 Έρευνα νέων λειτουργικών τμημάτων.....	17
3.2.1 Ελεγκτής.....	18
3.2.2 Συσκευή Ασύρματης Επικοινωνίας.....	19
3.2.3 Αισθητήρες Υπερήχων.....	20
3.2.3 IMU- Inertial Measurement Unit.....	21
3.2.4 GPS- Global Positioning System.....	21
3.2.5 Οπτικό σύστημα.....	22
3.2.6 Προβολείς πορείας LED.....	23
3.2.7 Logic converter, Sabertooth, PWM-Pulse Width Modulation .....	24
3.2.8 Τροφοδοσία.....	25
3.3 Τρισδιάστατη παραμετρική μοντελοποίηση.....	26
3.4 Περιγραφή χωροθέτησης των δομικών τμημάτων.....	37
3.5 Η νέα μορφή του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini- Αποτελέσματα.....	43
Κεφάλαιο 4. Τρισδιάστατη εκτύπωση-3D printing.....	47
4.1 Εισαγωγή.....	47
4.2 Η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	47
4.3 Οι τεχνολογίες της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	49
4.4 Σχεδιασμός και Τρισδιάστατη εκτύπωση των εξαρτημάτων...	52
4.5 Τοποθέτηση των εξαρτημάτων στο ATRV-mini.....	60
4.6 Συμπεράσματα.....	61
Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα.....	63
Κεφάλαιο 6. Βιβλιογραφία.....	64

---

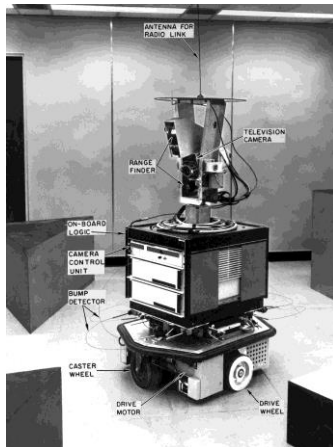
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά στοιχεία για τα έντροχα ρομποτικά οχήματα

Η εξέλιξη της πληροφορικής και της ρομποτικής μπορεί να θεωρηθεί ως επιτυχές αποτέλεσμα της προσπάθειας του ανθρώπου να αντικατασταθεί από μηχανές αυτοματοποιημένες ή τηλεχειριζόμενες στην εκτέλεση μιας εργασίας για τους κλάδους όπως της βιομηχανίας, της ιατρικής, των αγροτικών εφαρμογών κλπ. Έπειτα εφαρμογές σε τομείς όπως η εξερεύνηση του διαστήματος, οι επιτηρήσεις χώρων, η έρευνα και διάσωση, καθιστούν απαραίτητη την εξέλιξη ευέλικτων, αυτόνομων οχημάτων ώστε να υποβοηθούν ή να αντικαθιστούν τον άνθρωπο σε επικίνδυνες ή μη εφαρμογές. Λόγω των σύγχρονων αυτών απαιτήσεων, γίνονται προσπάθειες σε παγκόσμιο επίπεδο να αναπτυχθούν αυτόνομα οχήματα επίγεια, εναέρια, πλωτά, υποβρύχια και διαστημικά.

Το πρώτο επίγειο ρομποτικό όχημα με αυτόματη συμπεριφορά είναι ο Shakey (Εικόνα 1.1) το οποίο δημιουργήθηκε από το Stanford Research Institute το 1969 [1]. Τα κύρια χαρακτηριστικά του ήταν το μεγάλο μέγεθός του και η καθοδήγηση του από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Διέθετε μία κάμερα για τη λήψη εικόνων στο περιβάλλον τις οποίες ανέλυε ο υπολογιστής, μία δέσμη laser για το προσδιορισμό της απόστασης από τα εμπόδια και τους κινητήρες με κωδικοποιητές ώστε να μπορεί να προσδιορίσει τη σχετική του θέση από την απόσταση που διένυε κάθε τροχός. Τα βασικά του μειονεκτήματά του ήταν η πολύωρη εργασία στον εντοπισμό των εμποδίων και το υψηλό κόστος χιλιάδων δολαρίων.

Αργότερα, στις Ηνωμένες Πολιτείες τη δεκαετία του '90, το πρόγραμμα MDARS (Mobile Detection Assessment Response System) ανέπτυξε πρωτότυπα ρομπότ επιτήρησης για τους σκοπούς του Στρατού και του Ναυτικού τα οποία παρείχαν την δυνατότητα αξιολόγησης ανίχνευσης εισβολής (Εικόνα 1.2). Η προσπάθεια τους αυτή αναπτύχθηκε τόσο για τους εσωτερικούς χώρους όσο και για τους εξωτερικούς. Το γενικό δυναμικό πρότυπο MDARS robot είναι η ικανότητα να πλοηγηθεί ημι-αυτόνομα και να εντοπίσει τους εισβολείς, χρησιμοποιώντας λογισμικό Multiple Robot Host Architecture (MRHA) σχεδιασμένο για μη επανδρωμένα στρατιωτικά οχήματα.



**Εικόνα 1.1** Το έντροχο ρομπότ Shakey

Η πρώτη προσπάθεια ανάπτυξης εξωτερικού MDARS-E (MDARS-Exterior) ξεκίνησε στις αρχές 1994, με την ανάπτυξη των δύο πλατφόρμων brassboard με εξοπλισμό αυτόνομης πλοήγησης, αποφυγής συγκρούσεων και δυνατότητες ανίχνευσης εισβολέα (Εικόνα 1.3) [2].



**Εικόνα 1.2** MDARS exterior vehicle



**Εικόνα 1.3** Το πρώτο MDARS-E

Ωστόσο, το πρώτο ρομπότ που ήταν εμπορικά διαθέσιμο και ήταν ικανό να επιδείξει τις δυνατότητες του MDARS project για χρήσεις γενικές όπως σε αεροδρόμια, σε εργοστάσια, στην εσωτερική ασφάλεια κλπ. είναι το ρομπότ Seekur

---

της ActivMedia Robotics (2006) [3]. Το Seekur είναι ένα μεγάλο, παντός καιρού ρομπότ το οποίο μπορεί να διασχίσει ανώμαλα εδάφη. Διαθέτει τέσσερις ανεξάρτητα ελεγχόμενους τροχούς, μπορεί να εξοπλιστεί με βαριά ωφέλιμα φορτία και με διάφορα εξαρτήματα για βέλτιστη απόδοση. Υπάρχει η επιλογή χρήσης τηλεχειριστηρίου αλλά μπορεί να αυτονομηθεί σε ένα βαθμό με τη βοήθεια επεξεργασίας εικόνων, ασύρματη επικοινωνία, GPS και δέσμη λέιζερ και μπορεί να χειριστεί οποιαδήποτε εξωτερική εργασία (Εικόνα 1.4).

Επίσης, αναφορά πρέπει να γίνει στην πρώτη σημαντική έκδοση της ομάδας Pioneer, η οποία είναι το Pioneer 1 και εκδόθηκε το 1995 με τη συνεργασία των εταιρειών ActivMedia και RWI (Real World Interface) [4]. Προοριζόταν για εσωτερική χρήση, διέθετε δύο τροχούς με κωδικοποιητές, ανιχνευτές sonar εφτά στη σειρά και είχε υψηλή απόδοση. Ήταν μία επαναστατική ενέργεια στο τομέα, καθώς ήταν το πρώτο έντροχο όχημα χαμηλού κόστους και έτσι μπορούσαν να το αποκτήσουν στα δευτεροβάθμια και τριτοβάθμια ιδρύματα για ακαδημαϊκούς σκοπούς. Τελικά, κέρδισε το 1998 στο Παρίσι το World Robocup Soccer Championship.

Έπειτα, το 2008, η νέα γενιά της Pioneer, έφερε στο προσκήνιο ένα πολλά υποσχόμενο έντροχο όχημα εξωτερικής χρήσης για εφαρμογές έρευνας και πρωτοτύπων που αφορούν τη χαρτογράφηση, την πλοήγηση, την παρακολούθηση, την αναγνώριση και άλλες συμπεριφορές. Το Pioneer 3-AT είναι ένα τετράτροχο, ιδιαίτερα ευέλικτο σε κίνηση όχημα. Διαθέτει λογισμικό συμβατό με όλα τα ρομπότ MobileRobots και με τη βοήθεια του GPS μπορεί να πλοηγηθεί αυτόνομα εξωτερικά. Η ομάδα των Pioneer 3-AT είναι δημοφιλής σε ομάδες έρευνας για εφαρμογές εξωτερικά σε τραχύ ή μη έδαφος (Εικόνα 1.5). [4] [5]



**Εικόνα 1.4 Seekur**



**Εικόνα 1.5 Pioneer 3-AT**

## **1.2 Κίνητρο εργασίας**

Η εξέλιξη των αυτόνομων ρομποτικών οχημάτων κρίνεται ολοένα και πιο απαραίτητη σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εποχής και δεδομένου τη ραγδαία ανάπτυξη της σύγχρονης τεχνολογίας. Βέβαια η ανάπτυξη των αυτόνομων επίγειων οχημάτων εξωτερικής χρήσης παρουσιάζει δυσκολίες λόγω:

- Της τρισδιάστατης διάταξης του εδάφους
- Των μεγάλων διαφορών στη πυκνότητα της επιφάνειας
- Των καιρικών συνθηκών
- Της αστάθειας των αισθήσεων από το περιβάλλον.

Η προσπάθεια επίτευξης στοιχείων αυτόνομης συμπεριφοράς, δηλαδή λειτουργίας απαλλαγμένης από τον ανθρώπινο παράγοντα σε έντροχο ρομποτικό όχημα αποτέλεσε το βασικό κίνητρο της εργασίας αυτής. Μελετήθηκε το ATRV-mini της Real World Interface, το οποίο είναι το πρώτο έντροχο όχημα που αποκτά το τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής). Το εν λόγω όχημα ενδείκνυται για κίνηση σε εξωτερικούς χώρους λόγω της κατασκευής του και υπό προϋποθέσεις. Προϋποθέσεις που λαμβάνονται για την ασφαλή πλοήγηση σε ανοιχτούς χώρους για γνωστό ή άγνωστο περιβάλλον, την δυνατότητα εκτίμησης της ακριβούς θέσης του και εντοπισμού/αποφυγής πιθανού εμποδίου. Το περιβάλλον που μπορεί να δράσει είναι τόσο στατικό όσο και δυναμικό. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η χρήση συγκεκριμένων εξαρτημάτων όπως είναι:

- Οι αισθητήρες υπερήχων,
- Η κάμερα,
- Το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης (GPS)
- Και η πυξίδα

Στη παρούσα εργασία γίνεται ανασχεδίαση πολλών τμημάτων του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini συμπεριλαμβανομένων και επιπλέον ηλεκτρονικών, όπως ένας νέος ελεγκτής και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας καθώς και η παραμετρική σχεδίαση όλων των λειτουργικών μερών που απαρτίζουν το όχημα με ανασχεδιασμένη χωροθέτηση για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης. Στόχος είναι η



---

σχεδίαση ενός πλήρους αυτόνομου οχήματος ικανού να κινείται εύκολα σε εξωτερικά περιβάλλοντα με σύνθεση των πληροφοριών που θα αντλεί από τους αισθητήρες (κάμερα, sonar, GPS, πυξίδα).

### 1.3 Διατύπωση προβλήματος

Το όχημα ATRV-mini από την αρχή της λειτουργίας του σε εφαρμογές παρουσίαζε αρκετά προβλήματα όσον αφορά την πλοήγηση και την κίνησή του καθώς επίσης και τον εντοπισμό εμποδίων. Σε προηγούμενες εργασίες [6] [7] [8], οι οποίες εκπονήθηκαν χρησιμοποιώντας το όχημα, γίνεται αναφορά στην έλλειψη αξιοπιστίας των αισθητήρων υπερήχων. Συγκεκριμένα αναφέρεται, ότι δεν μπορούσαν να ανιχνεύσουν μικρά σε μέγεθος αντικείμενα (πόδια καρέκλας, τραπεζίων κλπ) ή αντικείμενα που βρισκόντουσαν σε διαφορετικό επίπεδο. Γι' αυτό το λόγο έδιναν στα πειράματα διαφορετικές ενδείξεις κάθε φορά. Έπειτα, σημαντικό πρόβλημα υπήρξε με την κίνηση της κάμερας του οχήματος και τη λήψη φωτογραφιών. Τέλος, αναφορά προβλήματος έγινε και για το οδόμετρο το οποίο έδινε λάθος ενδείξεις για περίπτωση επανάληψης του ίδιου προγράμματος.

Για τους ανωτέρω λόγους, πραγματοποιήθηκε έρευνα νέων εξαρτημάτων ικανών να υποστηρίξουν την επαναλειτουργία του οχήματος χωρίς προβλήματα. Στα επόμενα κεφάλαια γίνεται ανάλυση της έρευνας στην οποία στηρίχθηκε η εργασία και προτείνονται λύσεις για συγκεκριμένες αλλαγές.



---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- Περιγραφή του έντροχου ρομποτικού οχήματος ATRV-mini

### 2.1 Εισαγωγή

Το έντροχο όχημα που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της εργασίας είναι το ATRV-mini της εταιρίας Real World Interface (Εικόνα 2.1). Πρόκειται για ένα ρομποτικό όχημα με δυνατότητα λειτουργίας τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους. Ανήκει στην κατηγορία των οχημάτων που στρίβουν με ολίσθηση των τροχών (skid steering).



**Εικόνα 2.1** Το έντροχο ρομποτικό όχημα ATRV-mini

### 2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος ATRV-mini

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία μας είναι ήδη γνωστά από την εταιρεία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 2.1 [9]. Μέσα στον εξοπλισμό ο οποίος είχε προσφερθεί από την εταιρία, περιλαμβάνονταν και κάποια εξαρτήματα τα οποία χρειάστηκαν για τις ανάγκες του Εργαστηρίου Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα εξαρτήματα αυτά ήταν η κάμερα, το GPS και επιπλέον αισθητήρες.

**Πίνακας 2.1** Οι προδιαγραφές του ATRV-mini [9]

Μήκος	62,2 cm
Πλάτος	53,3 cm
Ύψος	45 cm
Βάρος	38.6 kg
Ταχύτητα	0-1.5 m/sec
Ωφέλιμο φορτίο	9 kg
Χρόνος λειτουργίας	3-6 hr, εξαρτάται από το έδαφος
Κίνηση	4-wheel, PWM
Κατεύθυνση	Skid Steering
Γωνία στροφής	0 (στρίβει στο κέντρο)
Μπαταρίες	2x12V, 12 amp/hr

Σύστημα ελέγχου	RWI rFlex System
Κινητήρες	2x0.10 HP, 24V DC servo motors
Υπολογιστής	Pentium III EBX
I/O Ports	Ethernet, RS-232, Joystic
Αισθητήρες	24 Sonar (6 σε κάθε γωνία μπροστά και πίσω) Κάμερα (Sony EVI D30) GPS Πυξίδα Γωνιόμετρο

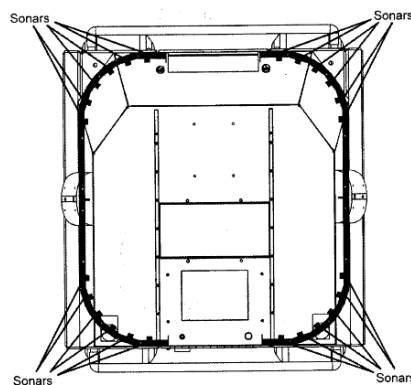
## 2.3 Λειτουργικά μέρη του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini

### 2.3.1 Αισθητήρες Υπερήχων

Οι αισθητήρες υπερήχων είναι συσκευές μικρού μεγέθους και κόστους για την ανίχνευση πιθανών εμποδίων και τον υπολογισμό της απόστασης από αυτό με γρήγορο ρυθμό. Αποτελούνται από ένα σύστημα πομπού, έναν μετατροπέα και έναν δέκτη.

Ο πομπός παράγει έναν ηλεκτρικό παλμό, ο οποίος μετατρέπεται σε ηχητικό κύμα και μεταδίδεται στον αέρα ή στο νερό. Το κύμα αντηχείτε όταν αντηχθεί την ύπαρξη ενός εμποδίου. Έπειτα, η αντήχηση επιστρέφει στον μετατροπέα και μετασχηματίζεται σε ηλεκτρικό παλμό και αναλύεται από τον δέκτη. Έτσι έχοντας ως δεδομένο την ταχύτητα του ήχου στον αέρα ή στο νερό και τη διάρκεια αποστολής και λήψης του ηλεκτρικού παλμού, γίνεται ο υπολογισμός της απόστασης από το εμπόδιο.

Το όχημα ATRV-mini διαθέτει 24 αισθητήρες υπερήχων τοποθετημένους περιμετρικά, από έξι σε κάθε γωνία όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.2.



**Εικόνα 2.2** Η διάταξη των αισθητήρων υπερήχων

---

Ο κάθε αισθητήρας εντοπίζει έναν πιθανό εμπόδιο σχηματίζοντας έναν κώνο με κορυφή το κέντρο και γωνία 30 μοίρες. Σε προηγούμενες αναφορές, είχε επισημανθεί η δυσκολία των αισθητήρων να εντοπίζουν αντικείμενα μικρού μεγέθους ή σε μεγάλη γωνία σε σχέση με την ακτίνα των αισθητήρων. Τρόπος αποφυγής λάθους ήταν η ομαδοποίηση ανά δύο αισθητήρων με ασαφή λογική, ο οποίος συμπεράθηκε αποτελεσματικός. [6]

### 2.3.2 Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων Θέσης- GPS

Το Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων (Global Positioning System-GPS) είναι ένα σύγχρονο σύστημα πλοήγησης και εντοπισμού της θέσεως στην οποία θέλουμε να κατευθυνθούμε. Βασίζεται σε ένα πλέγμα δορυφόρων της γης, στους οποίους υπάρχουν ειδικές συσκευές, οι δέκτες GPS. Οι δέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για το θέση ενός σημείου (στίγματος), το υψόμετρο του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του.

Ένα Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων αποτελείται από:

1. Το τμήμα ελέγχου (control segment)
2. Το δορυφορικό τμήμα (space segment) και
3. Την μονάδα χρήσης του (user segment)

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το σφάλμα ενός αξιόπιστου ΠΣΣ είναι μικρότερο των 100m. Οι παράγοντες που το επηρεάζουν είναι οι καιρικές συνθήκες (σφάλμα 5-10m), ο χειριστής και οι σκόπιμες στρατιωτικές παρεμβολές (σφάλμα 100-300m). Το στρατιωτικό σφάλμα παρεμβολών μπορεί να εξαλειφθεί από ένα εξελιγμένο σύστημα ΠΣΣ, το διαφορικό Παγκόσμιο Σύστημα Συντεταγμένων (Differential Global Positioning System, DGPS). Το ΔΠΣΣ μπορεί να μειώσει το σφάλμα κάτω από 100m. Το ATRV-mini διαθέτει ΔΠΣΣ.

### 2.3.3 Πυξίδα

Εκτός από το GPS, το ATRV-mini χρησιμοποιεί και μία ηλεκτρονική πυξίδα η οποία χρησιμοποιείται σαν οδηγός στην κατεύθυνση της πορείας μετακίνησης (κλασική μαγνητική ένδειξη). Εκτός αυτού, η πυξίδα μπορεί να παρέχει υπηρεσίες μέτρησης θερμοκρασίας και μέτρηση κλίσης.

Ο λόγος που χρειάζονται και τα δύο είναι γιατί το GPS δίνει πληροφορίες για το σημείο(στίγμα) προορισμού χωρίς βασικές οδηγίες για την κατεύθυνση της πορείας στο συγκεκριμένο προορισμό. Έτσι, το GPS και η πυξίδα αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα πλοήγησης.

### 2.3.4 Κινητήρες Συνεχούς Ρεύματος

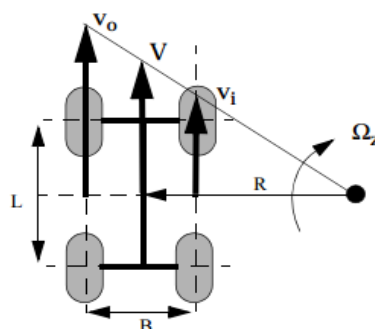
Το ATRV-mini είναι εφοδιασμένο με σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος καθώς είναι οι πλέον κατάλληλοι για τις ρομποτικές εφαρμογές. Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Η ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα είναι ανάλογη προς τη ροή του μαγνητικού πεδίου και του ρεύματος του οπλισμού.

Οι κινητήρες συνδυάζονται από ένα κιβώτιο μείωσης της ταχύτητας περιστροφής και τους κωδικοποιητές (αισθητήρες προσδιορισμού θέσης). Το κιβώτιο μείωσης της σχέσης μετάδοσης της κίνησης μεταξύ του άξονα του κινητήρα και του άξονα της τελικής μετάδοσης στον τροχό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ροπής του κινητήρα ανάλογα με τη μείωση της μετάδοσης. Βέβαια, σημαντικό μειονέκτημα στη χρήση κιβωτίων είναι η αύξηση των διαστάσεων και του βάρους του συστήματος κίνησης.

Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων συνεχούς ρεύματος είναι το χαμηλό κόστος, η ακρίβεια θέσης και επαναληψιμότητας και η απλή υλοποίηση ανάδρασης θέσης και ταχύτητας. Από την άλλη, τα μειονεκτήματά τους είναι ο κατώτερος λόγος ισχύος προς το βάρος έναντι των υδραυλικών, η χαμηλή ταχύτητα, η ανάγκη ψύξης του κινητήρα με παράλληλη αύξηση του μεγέθους του και η αργή απόκριση σε σύγκριση με άλλους τύπους κινητήρων.

### 2.3.5 Κινηματικό μοντέλο

Η κινηματική ανάλυση ενός οχήματος που στρίβει με ολίσθηση των τροχών (skid steering) επιτρέπει την προκαταρκτική εκτίμηση της ταχύτητας των τροχών δοθέντων των διαστάσεων του οχήματος, της επιθυμητής ακτίνας στροφής και του επιθυμητού ρυθμού στροφής (Εικόνα 2.3). Σε αυτά τα μοντέλα οι δυνάμεις που αναπτύσσονται δεν μελετούνται, γι' αυτό η ολίσθηση δεν λαμβάνεται υπόψη, έχοντας σαν αποτέλεσμα τα κινηματικά μοντέλα να μην είναι τόσο ακριβή [10].



**Εικόνα 2.3** Το κινηματικό μοντέλο ενός οχήματος που στρίβει με ολίσθηση τροχών [10]

---

Ορίζουμε ως:

$V_o$  = Ταχύτητα του εξωτερικού τροχού (m/s)

$V_i$  = Ταχύτητα του εσωτερικού τροχού (m/s)

$V$  = Ταχύτητα του οχήματος

$\Omega_Z$  = Γωνιακή ταχύτητα του οχήματος

$\Omega'_Z$  = Γωνιακή ταχύτητα του οχήματος λαμβάνοντας υπόψη την ολίσθηση

$R$  = Ακτίνα στροφής του οχήματος (m)

$R'$  = Ακτίνα στροφής του οχήματος (m) λαμβάνοντας υπόψη την ολίσθηση

$L$  = Μήκος του οχήματος (m)

$B$  = Πλάτος του οχήματος (m)

Ο λόγος των ταχυτήτων των τροχών είναι:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R + \frac{B}{2}}{R - \frac{B}{2}} \quad (3.1)$$

Η ακτίνα στροφής δίνεται ως:

$$R = \frac{\frac{B}{2} \left( \frac{V_o}{V_i} + 1 \right)}{\left( \frac{V_o}{V_i} - 1 \right)} = \frac{B}{2} \left( \frac{V_o + V_i}{V_o - V_i} \right) \quad (3.2)$$

Η ακτίνα αυτή θα επιτευχθεί εάν δεν υπάρχει ολίσθηση των τροχών στο έδαφος. Εάν λάβουμε υπόψη την ολίσθηση των εξωτερικών τροχών  $i_o$  και των εσωτερικών τροχών  $i_l$  τότε:

$$R' = \frac{B}{2} \left( \frac{V_o (1 - i_o) + V_i (1 - i_l)}{V_o (1 - i_o) - V_i (1 - i_l)} \right) \quad (3.3)$$

Ο ρυθμός περιστροφής μπορεί να βρεθεί σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\Omega_Z = \frac{V_o + V_i}{2R} = \frac{V_i \left( \frac{V_o}{V_i} - 1 \right)}{B} \quad (3.4)$$

Λαμβάνοντας υπόψη και την ολίσθηση έχουμε:

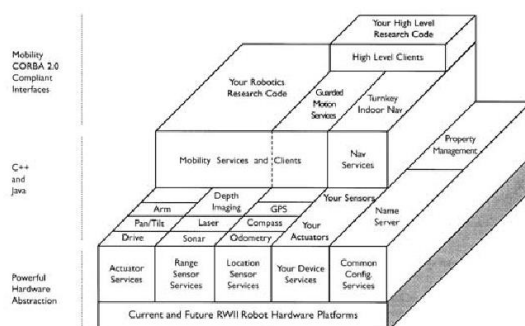
$$\Omega'_Z = \frac{V_o (1 - i_o) + V_i (1 - i_l)}{2R'} = \frac{V_i \left( \frac{V_o (1 - i_o)}{V_i} - (1 - i_l) \right)}{B} \quad (3.5)$$

Έχοντας ένα ακριβές κινηματικό μοντέλο ολίσθησης, οι κινηματικές εξισώσεις μπορούν να δώσουν ακριβή αποτελέσματα, διαφορετικά αντιμετωπίζεται πρόβλημα με την εκτίμηση των ταχυτήτων των τροχών και της ακτίνας στροφής. Πλεονέκτημα των οχημάτων που στρίβουν με ολίσθηση είναι ότι είναι συμπαγή, απαιτούν λιγότερα εξαρτήματα για να κατασκευαστούν και επιδεικνύουν εξαιρετική ευελιξία στο να κινούνται χρησιμοποιώντας εξαρτήματα τα οποία απαιτούνται για να κινηθεί το όχημα σε ευθεία γραμμή. Επίσης, ο τρόπος μετάδοσης της κίνησης των οχημάτων αυτών γίνεται μόνο σε ένα άξονα γύρω από τον οποίο περιστρέφονται οι τροχοί και έτσι κάνει ευκολότερη την κίνηση.

### 2.3.6 Λογισμικό Mobility

Το λογισμικό Mobility είναι ένα αντικειμενοστραφές εργαλείο που παρέχεται από την εταιρεία για την δημιουργία προγραμμάτων ελέγχου για συστήματα ενός ή περισσότερων έντροχων ρομπότ. Αποτελείται από ένα σύνολο λογισμικών εργαλείων, το αντικείμενο του μοντέλου του ρομποτικού οχήματος, βασικές μονάδες (modules) ελέγχου του ρομπότ (κίνηση, sonar, κάμερα, GPS) και ένα αντικειμενοστραφές περιβάλλον εργασίας για την απλοποίηση της ανάπτυξης κώδικα.

Το Mobility προσδιορίζει το αντικείμενο του οχήματος χρησιμοποιώντας το CORBA standard, το οποίο του δίνει τη δυνατότητα να υποστηρίζει πολλές γλώσσες προγραμματισμού σε διάφορες πλατφόρμες (Εικόνα 2.4). Το περιβάλλον του Mobility επιτρέπει στο χρήστη να τροποποιήσει βασικά μέρη του συστήματος του ρομπότ και να προσθέσει νέα, ανάλογα με τις ανάγκες του.



**Εικόνα 2.4 Το περιβάλλον του Mobility**

Το αντικείμενο του ρομποτικού οχήματος αποτελείται από μια σειρά άλλων αντικειμένων. Καθένα από αυτά αντιπροσωπεύει μέρη του ρομπότ όπως τους αισθητήρες και το μηχανισμό κίνησης. Τα αντικείμενα αυτά μπορούν να τροποποιηθούν ή να χρησιμοποιηθούν ως συναρτήσεις σε νέους αλγόριθμους. Το Mobility υποστηρίζει τις γλώσσες προγραμματισμού την Java και την C++.

---

### 2.3.7 Σύστημα ελέγχου rFlex

Το rFlex είναι ένα σύστημα ελέγχου του ρομποτικού συστήματος και των περιφερειακών του που λειτουργεί χωρίς την χρήση υπολογιστικής μονάδας και βρίσκεται πάνω στο ρομπότ. Αποτελείται από ένα απλό αλληλεπιδραστικό περιβάλλον εργασίας με το οποίο πραγματοποιείται διαχείριση, διαμόρφωση και διάγνωση των περιφερειακών.

Οι κύριες λειτουργίες του rFlex είναι:

- Εκκίνηση- Τερματισμός λειτουργίας του ρομπότ
- Ορισμός του τύπου του δικτύου στο οποίο μετέχει το ρομπότ
- Ενεργοποίηση και έλεγχος των αισθητήρων ήχου
- Ενεργοποίηση της οδήγησης με χειριστήριο
- Έλεγχος των μοτέρ
- Ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των φρένων
- Ένδειξη στάθμης μπαταρίας
- Μεταφορά στην οθόνη του λειτουργικού συστήματος
- Έλεγχος των θυρών επικοινωνίας

Οι πληροφορίες παρέχονται στον χρήστη μέσω μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων που βρίσκεται στο πίσω μέρος της κορυφής του ρομπότ. Η εναλλαγή μεταξύ των λειτουργιών πραγματοποιείται με διακριτό ποτενσιόμετρο.

## 2.4 Η μορφή του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini μέχρι σήμερα

Το όχημα ATRV-mini χρησιμοποιήθηκε κατά καιρούς σε ερευνητικές εφαρμογές οι οποίες εκπονήθηκαν στο εργαστήριο Ευφών Συστημάτων και Ρομποτικής. Μελέτη και έρευνα πάνω στη πλοήγηση και στη κίνηση με βάση τις πληροφορίες που συνέλεγε από τους αισθητήρες υπερήχων ή το οπτικό σύστημα, καθώς και από την ομαδοποίηση των αισθητήρων, δίνοντας έτσι την ευκαιρία το όχημα να εξελίσσεται με σύγχρονη τεχνολογία, στοχεύοντας έτσι στη γνώση νέων χρήσεων και εφαρμογών. Τα τελευταία χρόνια, η κύρια μελέτη σε εργασίες ήταν η συμπεριφορά του σε εσωτερικούς χώρους και για το λόγο αυτό το όχημα ήταν εφοδιασμένο με τα κατάλληλα εξαρτήματα (κάμερα, κωδικοποιητές, πυξίδα, αισθητήρες υπολογισμού απόστασης) όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.5. Έπειτα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.6, το εσωτερικό του οχήματος είναι εφοδιασμένο με ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα οποία δόθηκαν από την εταιρία. Μπορούμε να



---

συμπεράνουμε ότι η σημερινή μορφή του είναι παλαιάς τεχνολογίας και δεν μπορεί να υποστηρίξει τις νέες, απαιτούμενες ανάγκες του.



**Εικόνα 2.5** Η όψη του οχήματος ATRV-mini



**Εικόνα 2.6** Το εσωτερικό μέρος του οχήματος ATRV-mini

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3- Προτεινόμενη λύση-Σχεδιασμός

### 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα, γίνεται έρευνα ανανέωσης των λειτουργικών τμημάτων του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini και προτείνουμε λύση για συγκεκριμένες αλλαγές. Αρχικά, γίνεται μία έρευνα αγοράς νέων εξαρτημάτων σε όσο το δυνατόν καλύτερες τιμές και δυνατότητες ώστε να ανταπεξέρχονται στις τεχνολογικές ανάγκες του οχήματος. Γίνεται μία ανάλυση των επιλεγμένων αυτών εξαρτημάτων και στη συνέχεια με παραμετρική σχεδίαση, η οποία διεκπεραιώνεται με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Pro Engineer 2.0, αναλύονται στο τρισδιάστατο χώρο όλα τα τμήματα που απαρτίζουν το όχημα (περίβλημα, κινητήρες, τροχοί, ηλεκτρονικά εξαρτήματα, αισθητήρες κλπ). Τελικά, καταλήγουμε στη μελέτη της χωροθέτησης των δομικών τμημάτων του οχήματος με την συναρμολόγηση τους στο τρισδιάστατο χώρο του προαναφερόμενου προγράμματος, πετυχαίνοντας μια νέα, εξελιγμένη και αναλυτική μορφή του ATRV-mini. Ως αποτέλεσμα θα εκλάβουμε τις νέες βελτιωμένες εφαρμογές που θα μπορεί να υποστηρίξει όπως και σημαντικά πλεονεκτήματα σχετικά με μετρήσιμες αλλαγές όπως είναι το βάρος, η ισχύς, η διάρκεια λειτουργίας.

### 3.2 Έρευνα νέων λειτουργικών τμημάτων

Αρχικά, χρειάζεται να γίνει η ανάπτυξη ενός συστήματος επικοινωνίας του οχήματος τόσο για τον έλεγχο του όσο και για την επαφή του με το περιβάλλον. Για να καλυφτεί αυτή η ανάγκη, τα ρομποτικά οχήματα (αυτόνομα και τηλεκατευθυνόμενα) έχουν στη διάθεση τους ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου και επικοινωνίας. Οι συσκευές αυτές χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1. Μικροεπεξεργαστές,
2. Κυκλώματα οδήγησης,
3. Συσκευές ασύρματης επικοινωνίας και
4. Συσκευές που λειτουργούν ως “μεσολαβητές” ή αλλιώς ως συσκευές διεπαφής για την ενδεχόμενη συνεργασία δύο ηλεκτρονικών συσκευών στη περίπτωση που υπάρχει ασυμβατότητα μεταξύ τους.

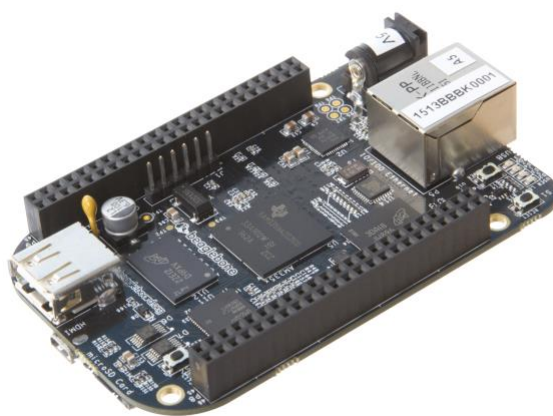
Πρακτικά, ο έλεγχος και η επικοινωνία του οχήματος με το περιβάλλον επιτυγχάνεται με τον συνδυασμό των προαναφερόμενων κατηγοριών, εφόσον υπάρχει η κατάλληλη συμβατότητα.

Έπειτα, για ανεξερεύνητα περιβάλλοντα στα οποία επιθυμούμε να πλοηγηθεί το όχημα, απαιτείται ο προσδιορισμός της θέσης και ο σωστός προσανατολισμός του στο τρισδιάστατο χώρο. Το όλο πρόβλημα έγκειται στην μη αξιοποίηση του συνδυασμού διαφορετικών αισθητήρων για οδομετρικές μετρήσεις. Οι συσκευές αυτές, όπως οι αισθητήρες υπερήχων, το GPS, η μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU), η στερεοσκοπική κάμερα και οι κωδικοποιητές ταχυτήτων, καθιστούν το όχημα ικανό να λαμβάνει γνώση για το χώρο και να χαράζει πορεία. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το όχημα διαθέτει ήδη κάποιες από αυτές τις συσκευές όπως οι κωδικοποιητές, οι οποίοι είναι έγκυροι και δεν χρειάζονται αλλαγή σε αντίθεση με τα υπόλοιπα.

### 3.2.1 Ελεγκτής

Οι μικροεπεξεργαστές είναι οι συσκευές αυτές που παράγουν τα ηλεκτρικά σήματα για να λειτουργήσουν όλες οι υπόλοιπες συσκευές του οχήματος. Είναι με λίγα λόγια ο ‘εγκέφαλος’ του οχήματος. Ο μικροεπεξεργαστής μαζί με την πλακέτα που τον υποστηρίζει είναι ένας *ελεγκτής* για το ρομποτικό όχημα. Οι ελεγκτές προγραμματίζονται με γλώσσες υψηλού επιπέδου, αντικειμενοστραφείς σε φιλικό περιβάλλον. Συνήθως κάθε όχημα διαθέτει έναν ή περισσότερους ελεγκτές οι οποίοι ελέγχουν κάθε ένα σύστημα του οχήματος ξεχωριστά και καταλήγουν να καθοδηγούνται από τον ανώτερο ελεγκτή, τον ‘επόπτη’.

Στην περίπτωση του οχήματος ATRV-mini, η κατηγορία του ελεγκτή που επιλέχθηκε με βάση τις δυνατότητες του είναι αυτή του *προσωπικού υπολογιστή*. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής αυτός είναι ο Beagle Bone Black της εταιρίας Texas Instrument σε συνεργασία με τις εταιρείες Digi-Key και Newark element (Εικόνα 3.1).



**Εικόνα 3.1** Η πλατφόρμα Beaglebone Black

---

Πρόκειται για έναν ελεγκτή χαμηλού κόστους και μεγέθους (περίπου ίσο με μία πιστωτική κάρτα), με γρήγορες ταχύτητες και υπολογιστική δύναμη. Είναι ιδιαίτερα δημοφιλής αλλά και κατάλληλος να χρησιμοποιηθεί σε ρομποτικές εφαρμογές. Πρέπει να αναφερθεί επίσης ότι είναι φιλικός κατά τον προγραμματισμό του χωρίς να απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις προγραμματισμού, ρομποτικής και ηλεκτρονικών. Τρέχει με το λειτουργικό σύστημα Android 4.0.3 Ice Cream Sandwich ή Linux OS και διαθέτει:

- Επεξεργαστή AM335xARM Cortex-A8 1GHz
- Μονοπύρηνιο GPU PowerVR SGX530
- RAM 512 MB
- Ενσωματωμένη μνήμη 2GB και υποδοχή για κάρτες μνήμης micro SDmicro HDMI (1280x1024 pixels)
- Ethernet 10/100 Mbps
- Αναλογικές και ψηφιακές θύρες (65 θύρες I/O, 7 αναλογικές, 4 σειριακές, 2 SPI, 1 θύρα με το πρωτόκολλο I2C, 8 PWMs, 4 χρονομετρητές)
- Σειριακή θύρα τροφοδοσίας 5 V
- Κόστος 45\$

### 3.2.2 Συσκευή Ασύρματης Επικοινωνίας

Για την επίτευξη της αυτόνομης συμπεριφοράς του ρομποτικού οχήματος, είναι απαραίτητη η χρήση της ασύρματης λειτουργίας για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ αυτού και του προσωπικού υπολογιστή. Η επικοινωνία τους γίνεται απ' ευθείας μέσω μιας θύρας usb όπου μεταφέρεται η πληροφορία από τον αποστολέα ελεγκτή στην ασύρματη συσκευή, κωδικοποιείται και την μεταφέρει στον παραλήπτη ελεγκτή. Η συσκευή ασύρματης επικοινωνίας που επιλέγουμε είναι η TP-LINK μοντέλο TL-WN722N Wireless και USB Adapter (Εικόνα 3.2).



**Εικόνα 3.2** Η συσκευή ασύρματης επικοινωνίας TP-LINK μοντέλο TL-WN722N Wireless & Adapter USB με αποσπώμενη κεραία

---

Τα χαρακτηριστικά της ασύρματης επικοινωνίας είναι η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, η φορά της επικοινωνίας, η εμβέλεια και το πρωτόκολλο κωδικοποίησης της ασύρματης μετάδοσης. Η συσκευή που επιλέχτηκε διαθέτει το πρότυπο επόμενης γενιάς, 802.11b/802.11g/802.11n πρωτόκολλο ασύρματης κωδικοποίησης και είναι 3 φορές ταχύτερο. Είναι ιδανική επιλογή για εφαρμογές HD streaming, online gaming και άλλες εργασίες. Υποστηρίζει λογισμικό Windows 8.1/8/7/XP 32/64bit και διαθέτει:

- Θύρα USB 2.0
- Κεραία 3dBi αποσπώμενη, πανκατευθυντική (RP-SMA)
- Ταχύτητα 11-150 Mbps (ανάλογα το πρωτόκολλο ασύρματης κωδικοποίησης)
- Συχνότητα 2.4-5GHz
- Ασύρματες καταστάσεις: Ad-Hoc/ Infrastructure
- Ασφάλεια: 64/128 bit WEP, WPA-PSK/WPA2-PSK, 802.1x
- Κόστος 23\$

### 3.2.3 Αισθητήρες Υπερήχων

Οι αισθητήρες υπερήχων είναι οι πιο δημοφιλείς της κατηγορίας για τη μέτρηση αποστάσεων ιδιαίτερα σε ρομποτικές εφαρμογές. Οι αισθητήρες υπερήχων είναι ψηφιακοί με σχετικά μικρό κόστος και βεληνεκές μέχρι και 10m. Για το όχημα που διαθέτουμε, επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας Ultrasonic Range Finder-LV-MaxSonar-EZ (Εικόνα 3.3), ο οποίος συνδέεται με τον ελεγκτή Beagle Bone μέσω αναλογικών θυρών. Ο αισθητήρας υπερήχων έχει χαρακτηριστικά:

- Τροφοδοσία 2.5-5.5 V
- Χαμηλή παροχή ρεύματος 2 mA
- RS232 σειριακή έξοδος-9600bps (bytes per second)
- Ρυθμός ανάγνωσης 20Hz
- Αναλογική έξοδος 10mV/inch
- PWM Έξοδος 147uS/inch
- Κόστος 26\$



**Εικόνα 3.3 Ο αισθητήρας Ultrasonic Range Finder-LV-MaxSonar-EZ**

---

### 3.2.3 IMU- Inertial Measurement Unit

Για τη χρήση πυξίδας, έγινε η έρευνα μίας ηλεκτρονικής συσκευής με μεγαλύτερη ακρίβεια από μία απλή πυξίδα και με πιο γρήγορο ρυθμό ανανέωσης δεδομένων. Αυτή η συσκευή είναι η *μονάδα μέτρησης αδρανειακών μεγεθών IMU (Inertial Measurement Unit)*. Πρόκειται για μία συσκευή που μετρά τις επιταχύνσεις και την περιστροφή που υφίσταται το σύστημα στο οποίο η πυξίδα είναι συνδεδεμένη στις τρεις διαστάσεις. Τα τελευταία χρόνια, λόγω του κόστους και κατανάλωσης οργάνων, γίνεται απαραίτητη η χρήση της σε επίγειες εφαρμογές της ρομποτικής. Ιδιαίτερα, για γνωστό πεδίο βαρύτητας, μπορεί να υπολογιστεί εύκολα ο προσανατολισμός του ρομποτικού οχήματος στο χώρο βάσει των τριών γωνιών Euler.



**Εικόνα 3.4** Η μονάδα μέτρησης αδρανειακών μεγεθών Razor IMU

Η συσκευή που επιλέχθηκε βάσει έρευνας είναι η *Razor IMU- 9 Degrees of Freedom* (Εικόνα 3.4), η οποία διαθέτει:

- 9 βαθμούς ελευθερίας σε μία πλακέτα
- ITG-3200 - 3 αξόνων γυροσκόπιο (ψηφιακής εξόδου)
- ADXL345 - ανάλυση 13bit,  $\pm 16g$ , 3 αξόνων επιταχυνσιόμετρο
- HMC5883L - 3 αξόνων, ψηφιακή πυξίδα
- Λειτουργία 3.5-16VDC είσοδος
- Σύνδεση με Bluetooth Mate, XBee Explorer
- Κόστος 75\$

### 3.2.4 GPS- Global Positioning System

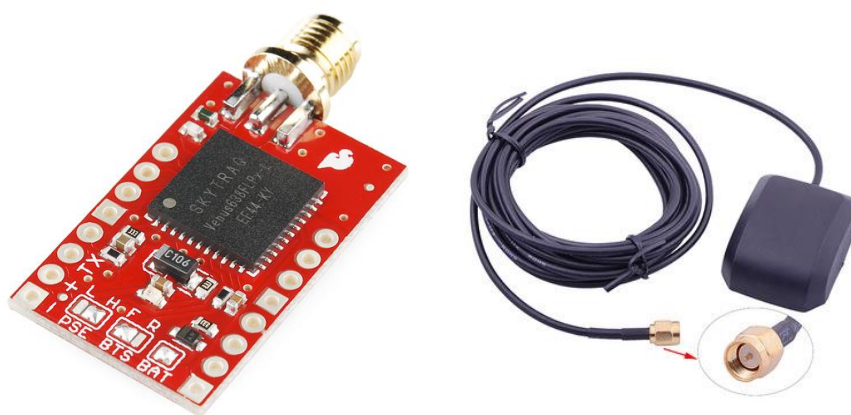
Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο αισθητήρας Προσδιορισμού Παγκόσμιων Συντεταγμένων Θέσης GPS είναι ιδανικός για εφαρμογές ρομποτικής σε εξωτερικούς χώρους, στη πλοήγηση μεσαίων ή μεγάλων ρομποτικών οχημάτων. Η



---

συσκευή που επιλέχτηκε για το ATRV-mini είναι η *Venus GPS with SMA Connector* (Εικόνα 3.5) και τα χαρακτηριστικά της είναι:

- Διαθέτει βύσμα SMA για σύνδεση εξωτερικής κεραίας, κεφαλίδες των 3.3V σειριακών δεδομένων, NAV ένδειξη (κλείδωμα), μέθοδο διαμόρφωσης παλμού ανά δευτερόλεπτο (Pulse-Per-Second) και εξωτερική υποστήριξη Flash
- Κατανάλωση ρεύματος 60-90mA
- Πλήρη ισχύ πλοήγησης 67mW
- Ρυθμιζόμενη τροφοδοσία 2.7-3.3V
- Κόστος 50\$



**Εικόνα 3.5** Ο αισθητήρας Προσδιορισμού Παγκόσμιων Συντεταγμένων Θέσης Venus GPS with SMA Connector και Κεραία με SMA Connector

### 3.2.5 Οπτικό σύστημα

Συμπληρώνεται το σύστημα πλοήγησης του οχήματος με την επιλογή οπτικού συστήματος το οποίο αποτελείται από μία στερεοσκοπική κάμερα για να γίνει δυνατή η λήψη του χώρου σε εικόνες ή βίντεο. Για τις προσδοκίες του οχήματος ATRV-mini, η κάμερα που επιλέχθηκε είναι η *έγχρωμη ρομποτική διαδικτυακή κάμερα Foscam FI9816P* (Εικόνα 3.6). Διαθέτει κωδικοποίηση H.264 δυνατότητα κάθετης και οριζόντιας περιστροφής, λειτουργία ανίχνευσης κίνησης και δυνατότητα νυχτερινής λήψης έως 8 μέτρα. Τα χαρακτηριστικά της είναι:

- Αισθητήρας 1.4” CMOS
- Εύρος γωνίας φακού 70°
- Εστιακό μήκος φακού 2.8mm
- Υψηλή ανάλυση HD 1280x720 (720p)



- Ενσωματωμένο μικρόφωνο και ηχείο και υποδοχή για εξωτερικό μικρόφωνο και ηχείο
- Ασύρματη/Ενσύρματη επικοινωνία Wireless (IEEE 802.11 b/g/n) ή/και καλωδίου Ethernet (10/100 mbps)
- Νυχτερινή όραση έως 8m σε απόλυτο σκοτάδι με την βοήθεια των ενσωματωμένων LED υπερύθρων (11 IR-*Infrared* Leds)
- Περιστροφή *οριζόντιου* άξονα 300°
- Περιστροφή *κάθετου* άξονα 120°
- Αυτόματη αναγνώριση κίνησης και καταγραφή στον υπολογιστή- δυνατότητα αποστολής φωτογραφιών της κίνησης μέσω email- παρακολούθηση μέσω web browser
- Αθόρυβη λειτουργία
- Τροφοδοσία 5V
- Κατανάλωση ισχύος 5W
- Κόστος 77\$



**Εικόνα 3.6 Η έγχρωμη ρομποτική διαδικτυακή κάμερα Foscam FI9816P**

### **3.2.6 Προβολείς πορείας LED**

Σημαντικά εξαρτήματα για την νυχτερινή πλοήγηση του οχήματος είναι οι προβολείς LED. Κρίνεται απαραίτητη η χρήση τους γιατί έτσι γίνεται εύκολη η κίνηση τη νύχτα ως προς την ανίχνευση εμποδίων και την χάραξη πορείας στο χώρο. Για τις ανάγκες μας, επιλέχτηκε ο προβολής *High Power LED Spot Light* (Εικόνα 3.7) και τα χαρακτηριστικά του είναι:

- Κατανάλωση ισχύος 3W
- Τροφοδοσία 12V-80V
- Καλώδιο μήκους 55cm

- Χαμηλό κόστος συντήρησης και μεγάλη διάρκεια ζωής (50.000hr θεωρητικά)
- Κόστος 6,20\$

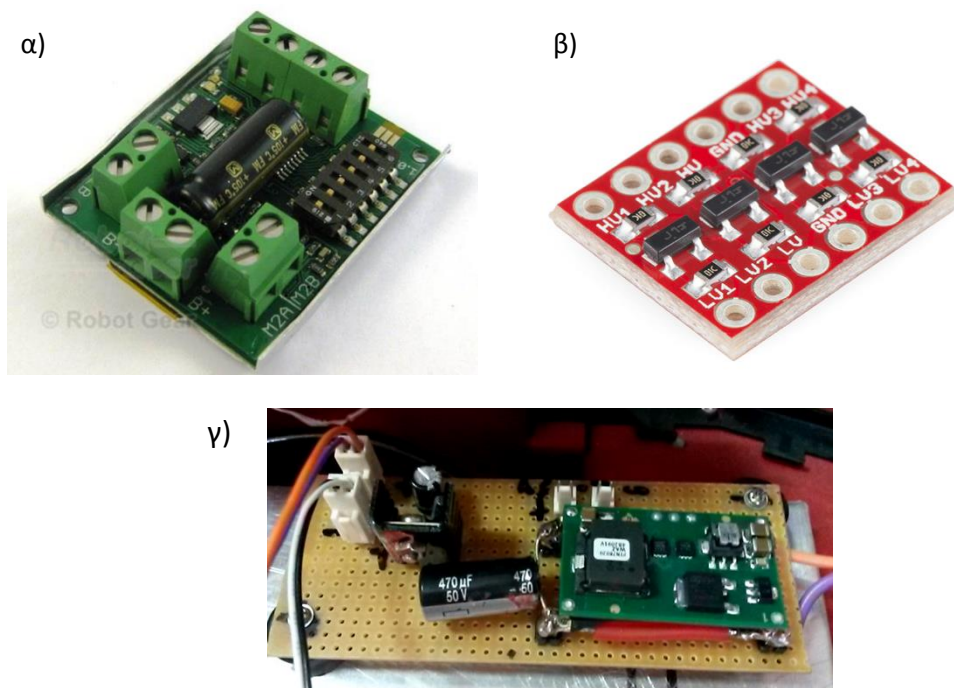


**Εικόνα 3.7 Ο προβολής High Power LED Spot Light**

Με τη προσθήκη των δύο προβολέων, ολοκληρώνεται το οπτικό σύστημα του έντροχου οχήματος ATRV-mini.

### **3.2.7 Logic converter, Sabertooth, PWM-Pulse Width Modulation**

Για να εξασφαλιστεί τόσο η ισχύς όλων των εξαρτημάτων σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόδοση, όσο και η διάρκεια ζωής τους ταυτόχρονα, χρησιμοποιούνται κάποια επιπλέον ηλεκτρονικά εξαρτήματα σχεδόν σε όλες τις ρομποτικές εφαρμογές. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα αυτά εξυπηρετούν στη διαχείριση της σωστής παροχής και κατανάλωσης ρεύματος και τάσεων ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε συσκευής [11]. Έτσι, χρησιμοποιείται ο λογικός μετατροπέας (logic converter) (Εικόνα 3.8α), δηλαδή η συσκευή με την οποία μετατρέπονται σήματα 5V σε 3.3V και αντίστροφα. Η συσκευή Sabertooth (Εικόνα 3.8β) λειτουργεί ως ενισχυτής ή ως κύκλωμα οδήγησης και μεσολαβεί για να τροφοδοτήσει τους κινητήρες με ρεύμα τουλάχιστον 5A. Επίσης, η χρήση της μεθόδου Διαμόρφωσης Πλάτους Παλμού (Pulse Width Modulation-PWM) (Εικόνα 3.8γ) είναι απαραίτητη ώστε να καθοριστεί η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Μέσω του κυκλώματος, στέλνονται στο κινητήρα παλμοί σταθερής συχνότητας από 2 έως 25kHz.

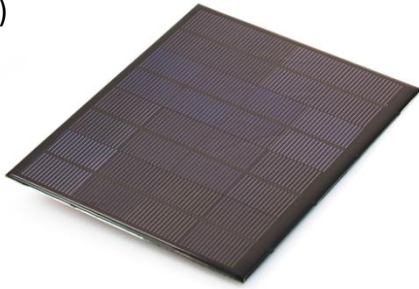


**Εικόνα 3.8** α) Ο λογικός μετατροπέας (logic converter), β) Η συσκευή Sabertooth, γ) Η μέθοδος Pulse Width Modulation (PWM)

### 3.2.8 Τροφοδοσία

Η τροφοδοσία των συσκευών του οχήματος γίνεται μέσω διατάξεων, οι οποίες παρέχουν την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή συνεχούς ρεύματος. Οι διατάξεις αυτές είναι κατά κανόνα συσσωρευτές οι οποίοι αποθηκεύουν χημική ενέργεια και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Επίσης, υπάρχουν περιπτώσεις όπου ρομποτικά οχήματα χρησιμοποιούν ειδικά φωτοβολταϊκά πάνελ για την τροφοδοσία, τα οποία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Στη περίπτωση της τροφοδοσίας του οχήματος ATRV-mini, χρησιμοποιούνται και οι δύο τρόποι τροφοδοσίας, δηλαδή συσσωρευτές μολύβδου (Lead-acid) και φωτοβολταϊκά πάνελ Solar Cell Huge με το ρυθμιστή φόρτισης Lumiax (Εικόνα 3.9α). Το εργαστήριο διαθέτει συσσωρευτές για χρήση και δεν χρειάζεται να γίνει αγορά. Οι συσσωρευτές που θα χρησιμοποιηθούν είναι οι σφραγισμένοι συσσωρευτές μολύβδου (Lead-acid) (Εικόνα 3.9β). Είναι επαναφορτιζόμενοι συσσωρευτές μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους, με γέμιση σε μορφή γέλης και με μεγάλες χωρητικότητες. Είναι ιδανικοί για την τροφοδοσία ρομποτικών οχημάτων. Έχει χαρακτηριστικά: τάση 12V και ρεύμα φόρτισης 7,2Ah.

α)



β)



**Εικόνα 3.9** Οι διατάξεις τροφοδοσίας. α) Το φωτοβολταϊκό πάνελ Solar Cell Huge και ο ρυθμιστής φόρτισης Lumiax β) Οι συσσωρευτές

Τα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πάνελ είναι:

- Ισχύς 5,2 W
- Κατανάλωση ρεύματος 650 mA
- Τροφοδοσία 8V
- Κόστος 50\$

και του ρυθμιστή φόρτισης Lumiax:

- Μέγιστο Ρεύμα Φόρτισης 10A
- Τάση συστήματος 12 / 24 V
- Αυτόματη αναγνώριση τάσεως συστήματος
- Προστασία από λανθασμένη σύνδεση με φωτοβολταϊκό συλλέκτη και υπερβολική τάση από φωτοβολταϊκό συλλέκτη
- Κόστος 24\$

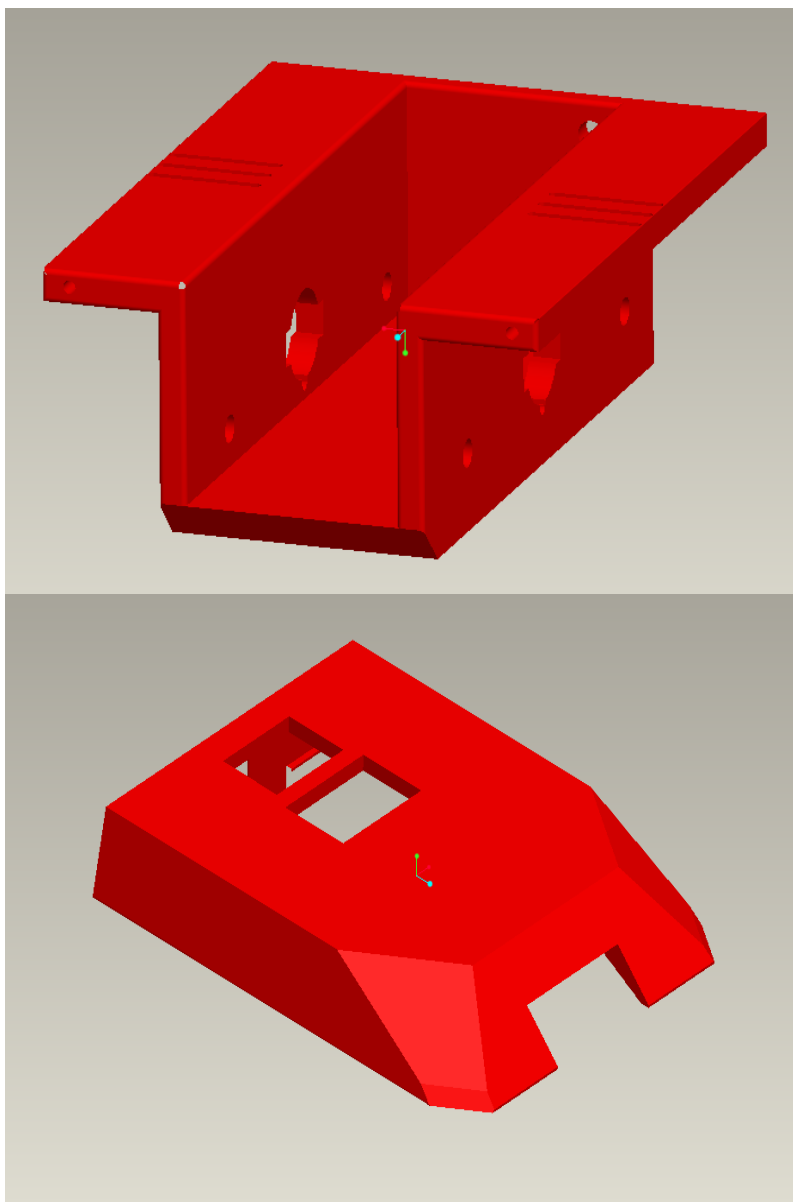
### 3.3 Τρισδιάστατη παραμετρική μοντελοποίηση

Η μοντελοποίηση του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini και των λειτουργικών μερών του πραγματοποιείται με παραμετρική σχεδίαση σε τρισδιάστατο χώρο ενός σχεδιαστικού προγράμματος. Το πιο κατάλληλο σχεδιαστικό πρόγραμμα είναι το Pro/Engineer Wildfire έκδοση 2.0. Παρακάτω, γίνεται λεπτομερής ανάλυση των

---

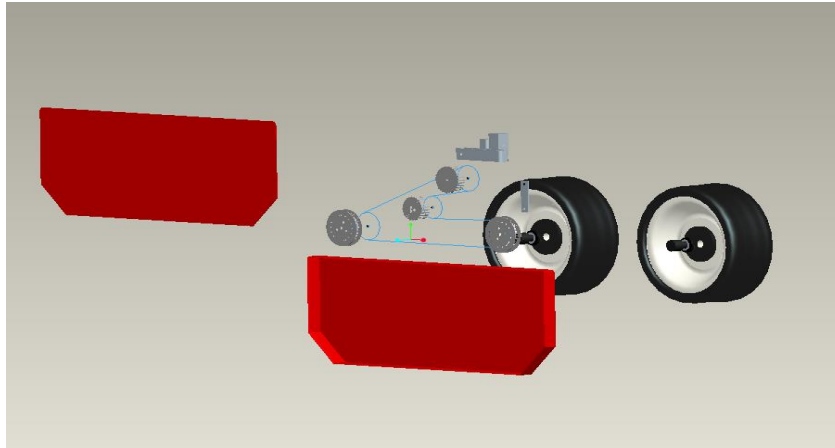
μερών που σχεδιάστηκαν ξεχωριστά, ξεκινώντας από τα τμήματα που συνθέτουν το όχημα και έπειτα τα εξαρτήματα το οποίο θα το θέσουν σε λειτουργία.

Τα πρώτα βασικά μέρη του έντροχου οχήματος είναι η βάση ή αλλιώς το ‘σώμα’ του και το καπάκι το οποίο κουμπώνει πάνω στη βάση και κλείνει με ασφάλεια το εσωτερικό μέρος του οχήματος. Στην Εικόνα 3.10, φαίνονται καθαρά.

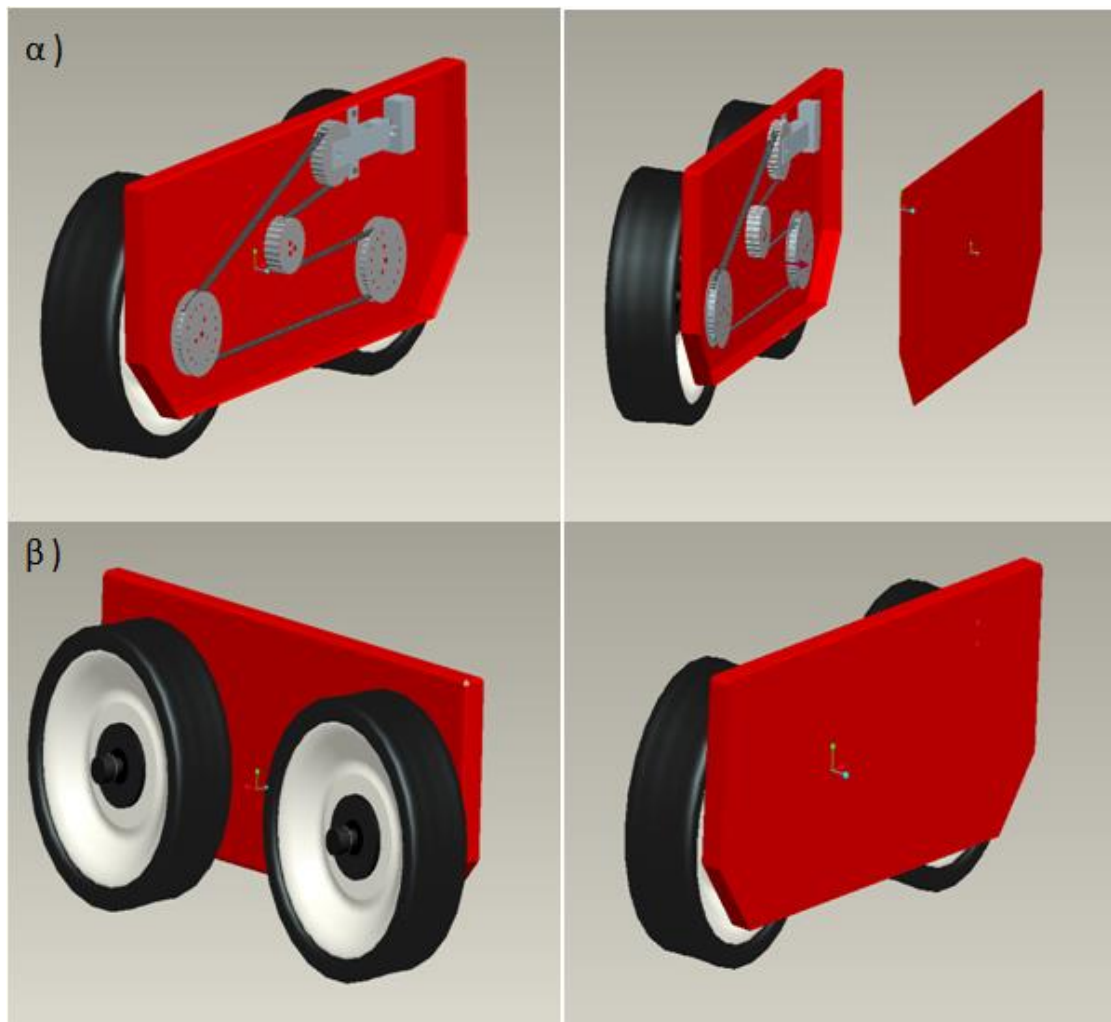


**Εικόνα 3.10** Το σώμα και το καπάκι του οχήματος ATRV-mini ξεχωριστά

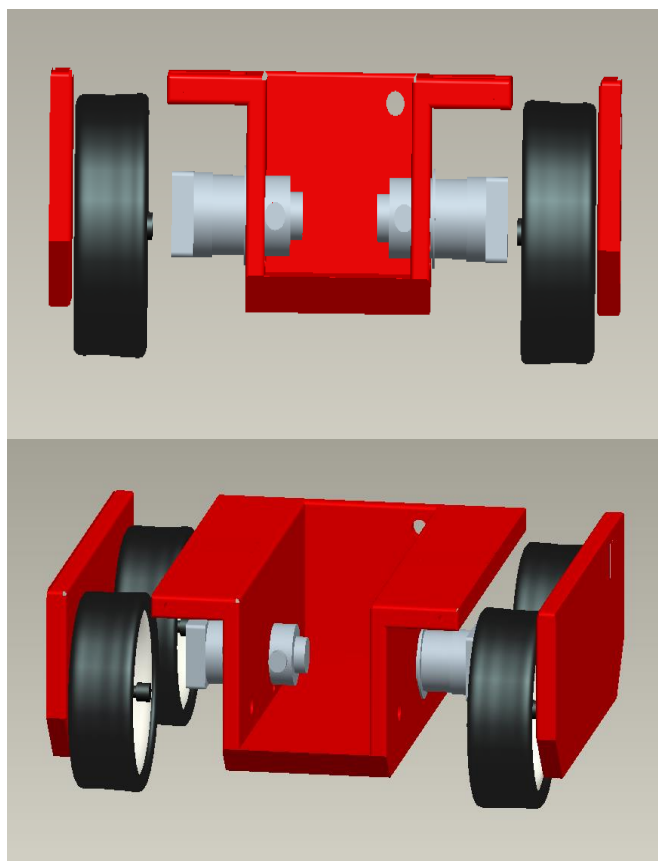
Έπειτα, θα δείξουμε το σύστημα κίνησης του ρομποτικού οχήματος, αρχικά με τα κομμάτια σε αποσυναρμολόγηση και μετά θα δείξουμε αναλυτικά τον τρόπο που συναρμολογούνται μεταξύ τους. Τέλος, θα δειχτεί ο τρόπος που συναρμολογείται όλο το σύστημα κίνησης, δηλαδή και με τους δύο κινητήρες και τους δύο κωδικοποιητές, στη βάση του οχήματος.



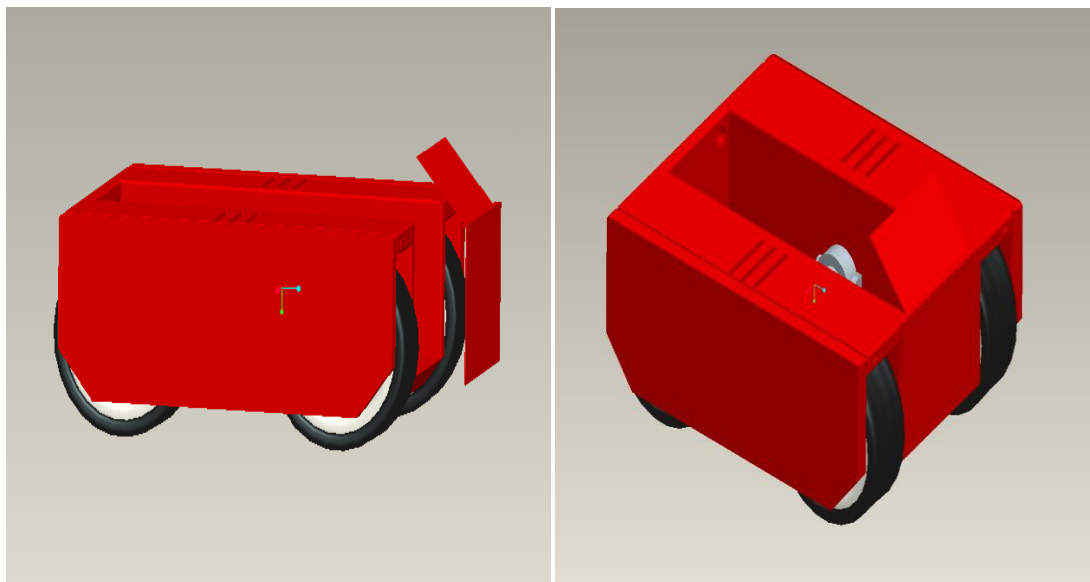
**Εικόνα 3.11** Το σύστημα κίνησης σε αποσυναρμολόγηση: οι 2 τροχοί, το κιβώτιο, ο άξονας μετάδοσης και η βάση στήριξης



**Εικόνα 3.12** Η συναρμολόγηση των μερών του συστήματος κίνησης. α) Ο τρόπος συναρμολόγησης, β) Το σύστημα κίνησης σε μπροστινή και πίσω πλάγια όψη



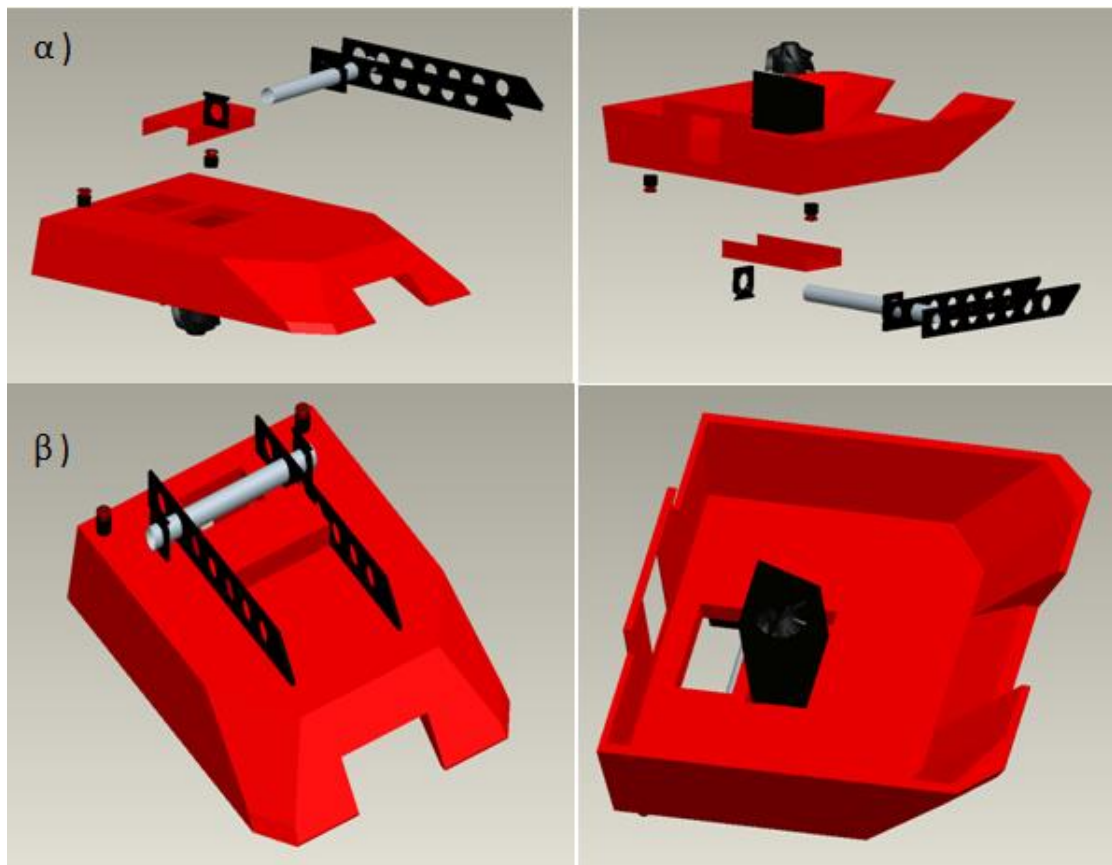
**Εικόνα 3.13** Η συναρμολόγηση του συστήματος κίνησης μαζί με τους 2 κινητήρες και τα οδόμετρα στο σώμα του οχήματος



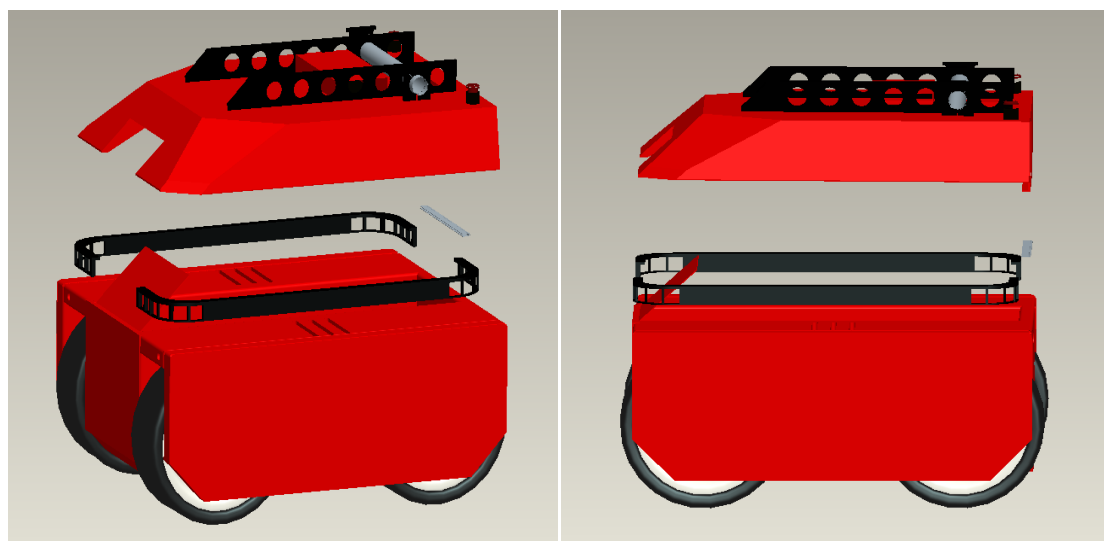
**Εικόνα 3.14** Η συναρμολόγηση του βοηθητικού κομματιού στο μπροστινό μέρος του σώματος του οχήματος



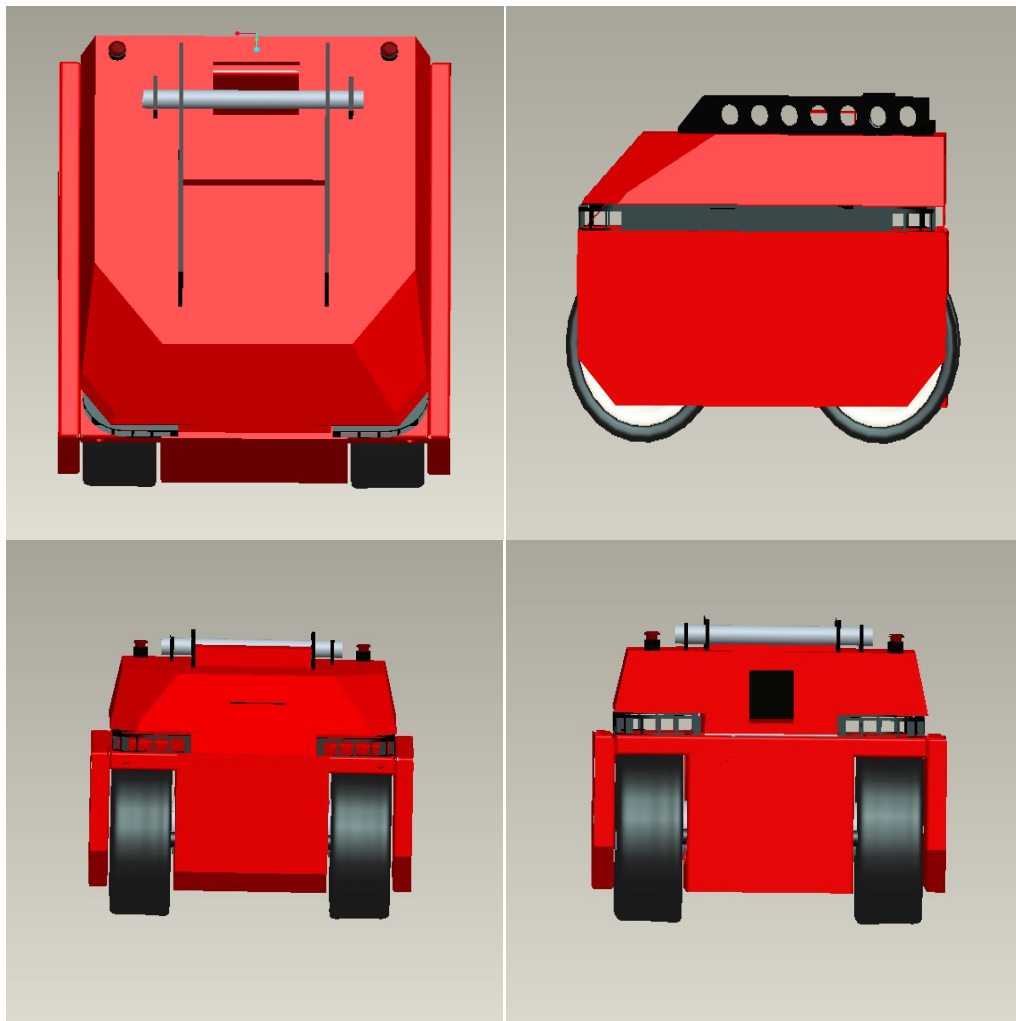
Στη συνέχεια, θα δείξουμε τον τρόπο συναρμολόγησης των κομματιών του καπακιού.



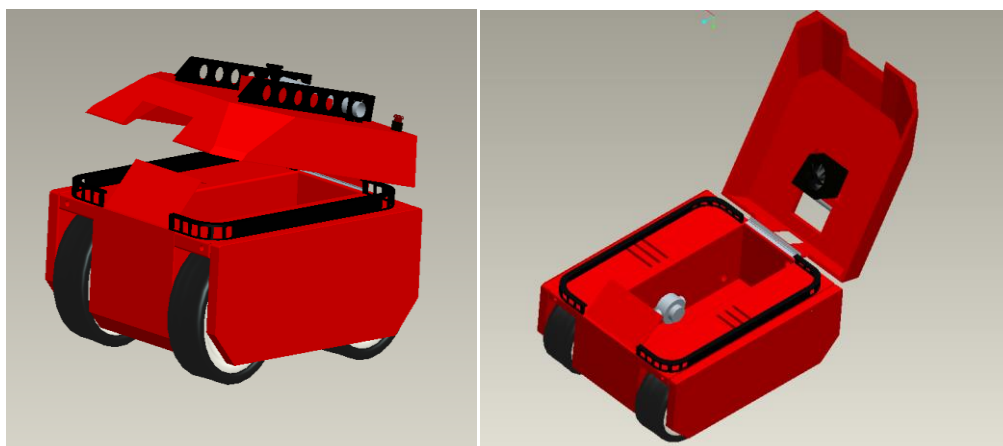
**Εικόνα 3.15** Το καπάκι του οχήματος και ο τρόπος που τοποθετούνται τα μέρη του. α) Πάνω και κάτω όψη της αποσυναρμολόγησης των μερών που απαρτίζουν το καπάκι: τα 2 stop buttons, το ανεμιστηράκι και η βάση στήριξης του και οι ράβδοι στήριξης εξαρτημάτων, β) Το καπάκι συναρμολογημένο σε πάνω και κάτω όψη



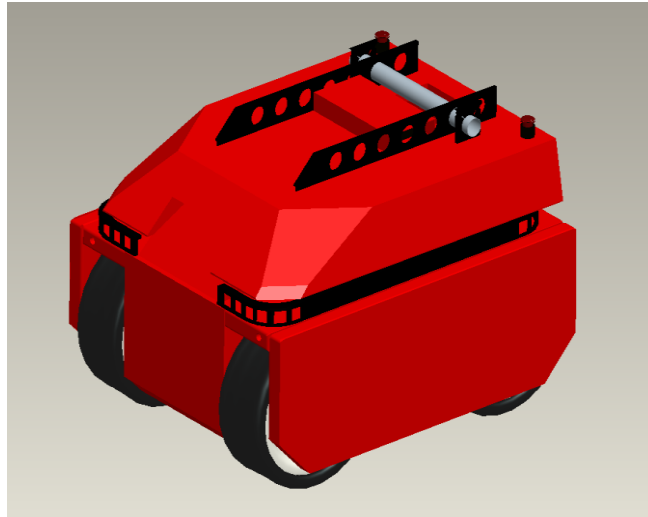
**Εικόνα 3.16** Η συναρμολόγηση των τμημάτων του οχήματος: το σώμα, η ράβδος στην οποία τοποθετούνται οι αισθητήρες υπερήχων, ο μεντεσές και το καπάκι



**Εικόνα 3.17** Οι διάφορες όψεις του έντροχου οχήματος: κάτωψη, πλάγια όψη, μπροστινή και πίσω όψη,



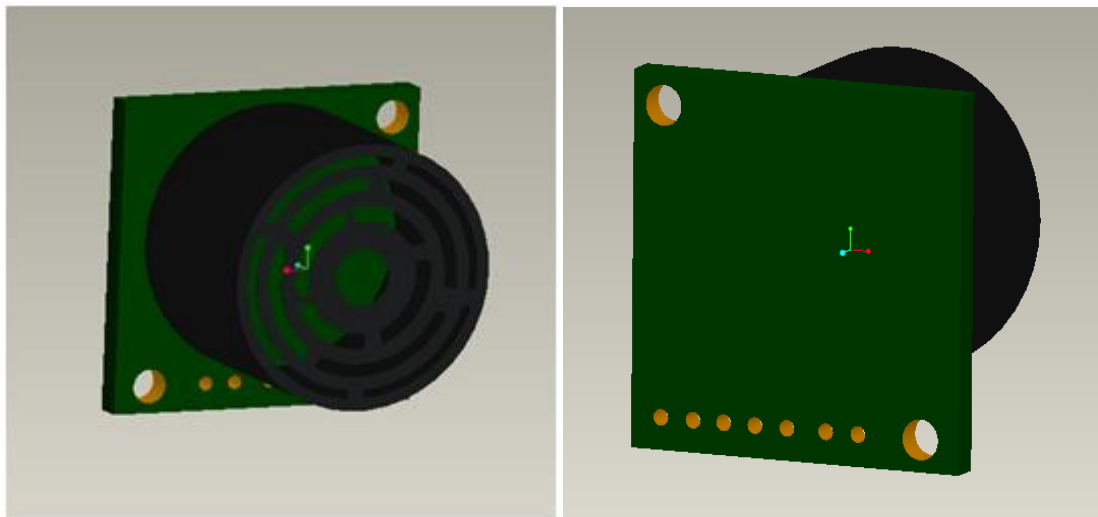
**Εικόνα 3.18** Ο μηχανισμός με τον οποίο σηκώνεται το καπάκι από τη βάση και αποκαλύπτεται το εσωτερικό μέρος του οχήματος



**Εικόνα 3.19** Η τελική μοντελοποίηση του ATRV-mini

Παρακάτω, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός των εξαρτημάτων τα οποία έχουν περιγραφεί σε προηγούμενη ενότητα.

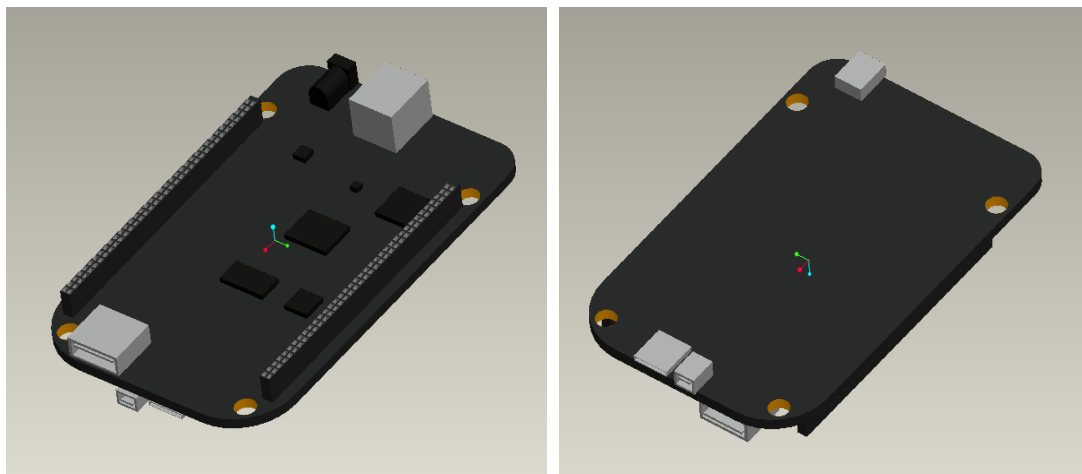
❖ **Αισθητήρας υπερήχων**



**Εικόνα 3.20** Η σχεδίαση του αισθητήρα υπερήχων, μπροστά και πίσω όψη και με χαρακτηριστικά: Μήκος 22 mm, Πλάτος 2 mm, Ύψος 21 mm

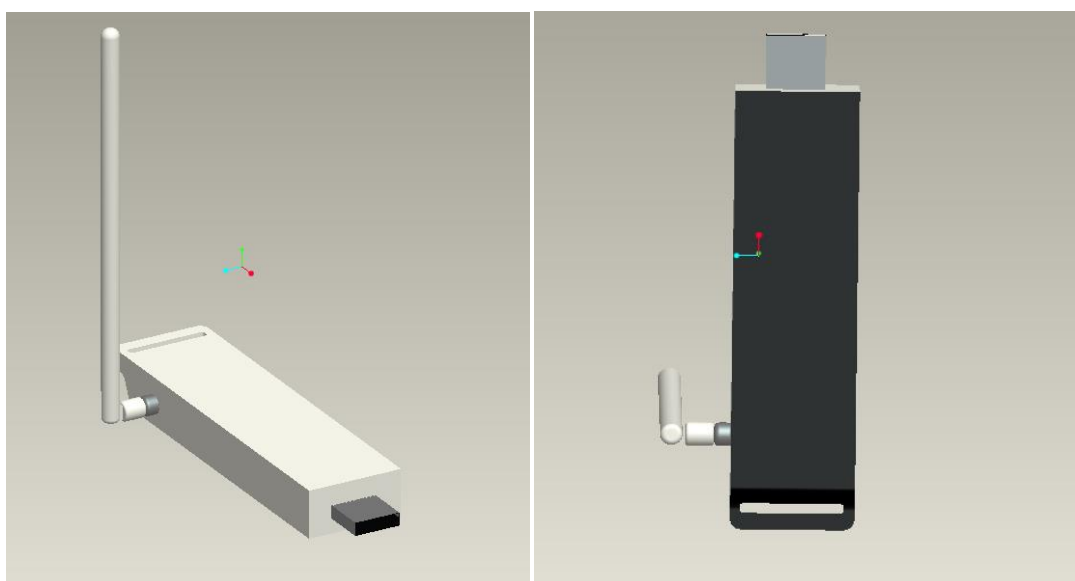
---

### ❖ Ελεγκτής Beagle Bone Black



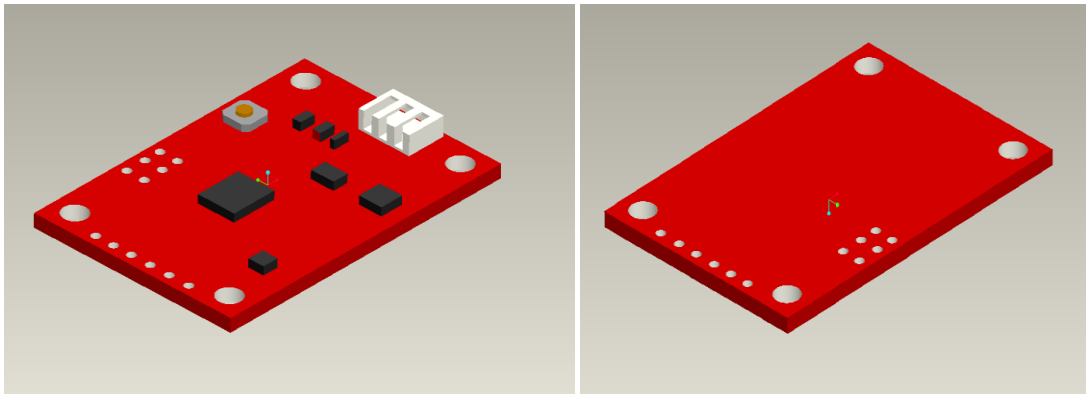
**Εικόνα 3.21** Η σχεδίαση του Beagle Bone Black, πάνω και κάτω όψη και με χαρακτηριστικά: Μήκος 86,36 mm, Πλάτος 5 mm, Ύψος 54,60 mm

### ❖ Συσκευή Ασύρματης επικοινωνίας



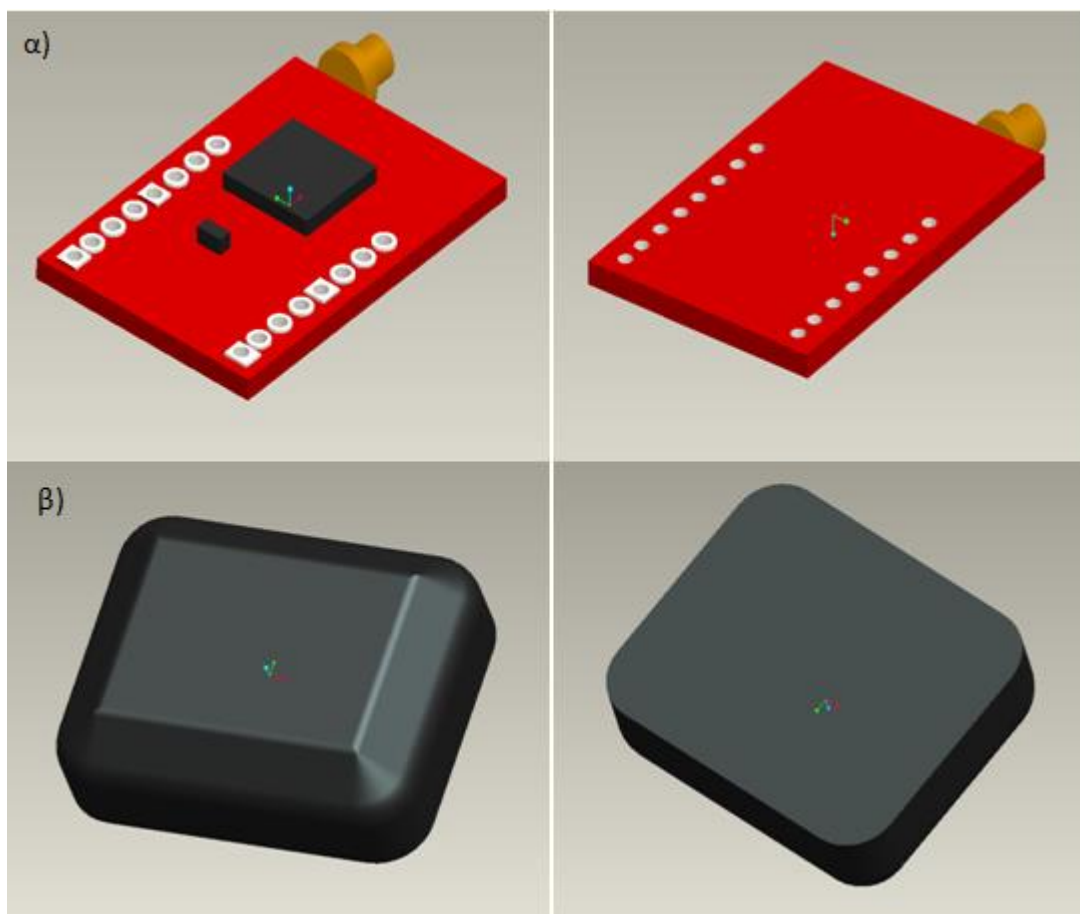
**Εικόνα 3.22** Η σχεδίαση της συσκευής ασύρματης επικοινωνίας, πάνω και κάτω όψη και με χαρακτηριστικά: Μήκος 93 mm, Πλάτος 22 mm, Ύψος 11 mm και Ύψος Κεραίας 9 mm

### ❖ Συσκευή IMU



**Εικόνα 3.23** Η σχεδίαση της συσκευής IMU, πάνω και κάτω όψη και χαρακτηριστικά: Μήκος 41 mm, Πλάτος 28 mm, Ύψος 1.6 mm

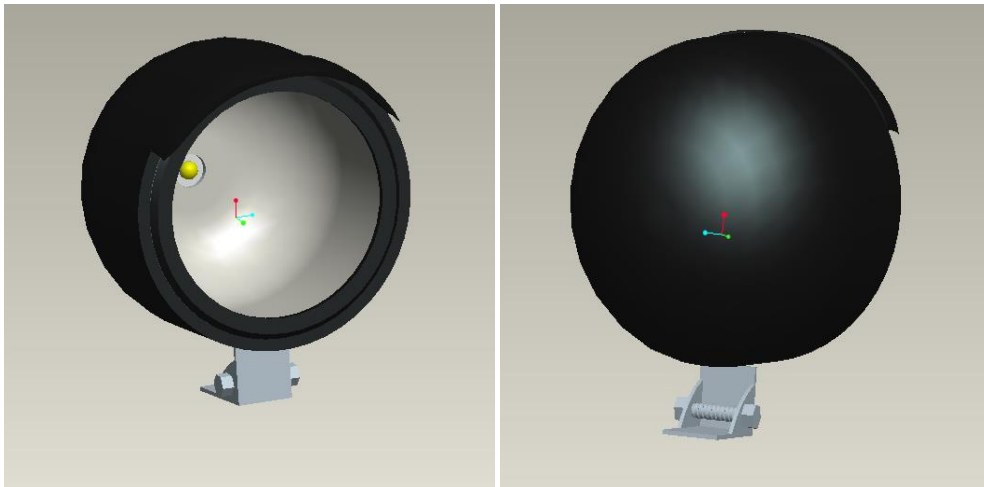
### ❖ Συσκευή GPS



**Εικόνα 3.24** α) Η σχεδίαση της συσκευής GPS, πάνω και κάτω όψη και με χαρακτηριστικά: Μήκος 25 mm, Πλάτος 17 mm, Ύψος 1.3 mm β) Η σχεδίαση της συσκευής Antenna GPS, πάνω και κάτω όψη και με χαρακτηριστικά: Μήκος 90 mm, Πλάτος 70 mm, Ύψος 16,5 mm

---

### ❖ Προβολέας LED



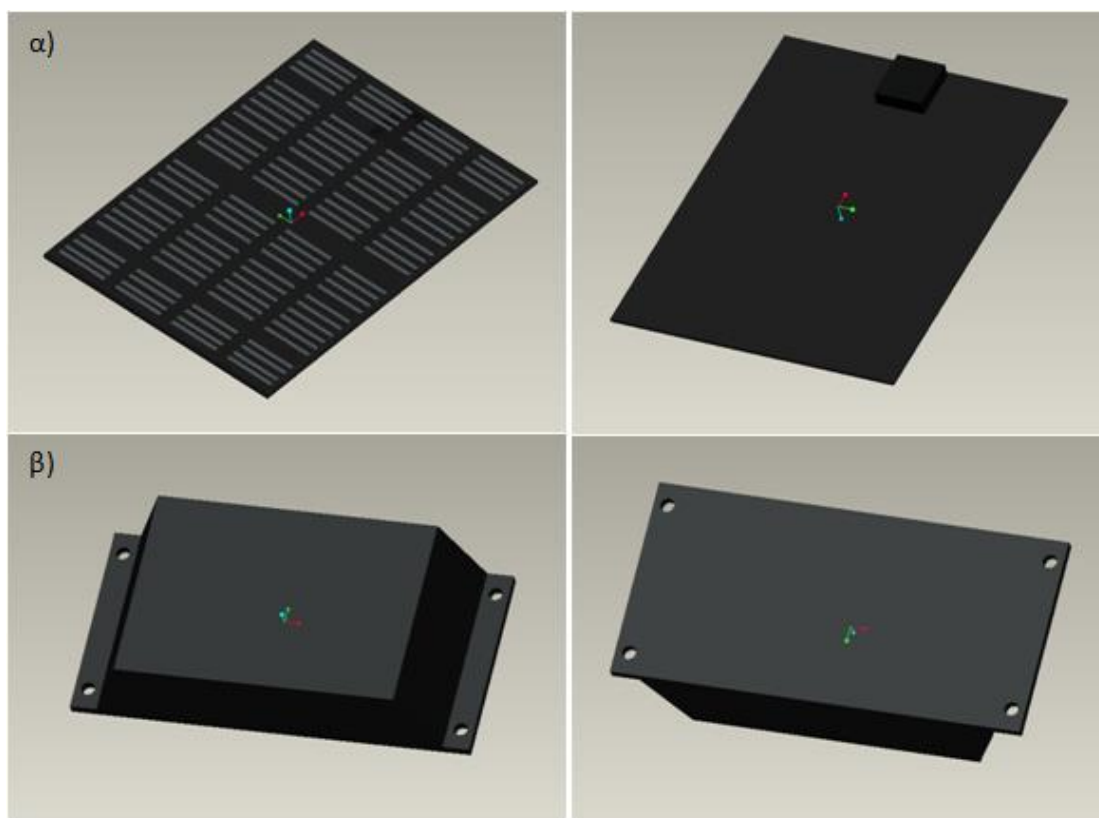
**Εικόνα 3.25** Η σχεδίαση του προβολέα LED και της βάσης στήριξης του, μπροστά και πίσω όψη και με χαρακτηριστικά: Διάμετρος 64 mm, Μήκος βάσης στήριξης 12,5 mm, Πλάτος βάσης υποστήριξης 20 mm, Συνολικό Ύψος 77,3 mm

### ❖ Στερεοσκοπική Κάμερα



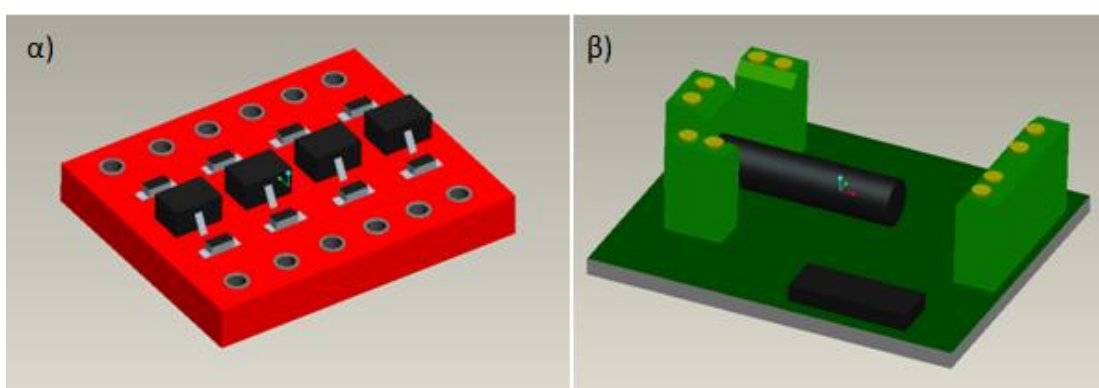
**Εικόνα 3.26** Η σχεδίαση της στερεοσκοπικής κάμερας, μπροστά και πίσω όψη και με χαρακτηριστικά: Μήκος 91 mm, Πλάτος 103 mm, Ύψος 135 mm

### ❖ Φωτοβολταικό Πάνελ

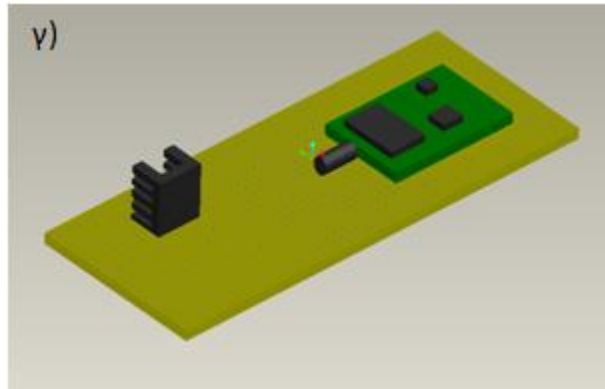


**Εικόνα 3.27** α) Η σχεδίαση του φωτοβολταικού πάνελ, πάνω και κάτω όψη και με χαρακτηριστικά: Μήκος 180 mm, Πλάτος 220 mm, Ύψος 30 mm β) Η σχεδίαση του ρυθμιστή φόρτισης Lumiax πάνω και κάτω όψη και με χαρακτηριστικά: Μήκος 150 mm, Πλάτος 72 mm, Ύψος 35 mm

### ❖ Logic Converter, Sabertooth, PWM







**Εικόνα 3.28** Η σχεδίαση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων Logic Converter, Sabertooth, PWM. α) Χαρακτηριστικά Logic Converter: Μήκος 16 mm, Πλάτος 13,3 mm, Ύψος 2 mm β) Χαρακτηριστικά Sabertooth: Μήκος 45 mm, Πλάτος 38 mm, Ύψος 13 mm γ) Χαρακτηριστικά PWM: Μήκος 100 mm, Πλάτος 40 mm, Ύψος 2 mm

### 3.4 Περιγραφή χωροθέτησης των δομικών τμημάτων

Αφού παρουσιάστηκαν όλα τα δομικά τμήματα και τα λειτουργικά μέρη του ρομποτικού οχήματος ξεχωριστά, σε αυτή την ενότητα επικεντρωνόμαστε στην χωροθέτησή τους με όσο το δυνατόν κατάλληλο τρόπο, εξωτερικά και εσωτερικά του οχήματος. Αρχικά, πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποιες προϋποθέσεις, οι οποίες κρίνονται απαραίτητες για την εύρεση της θέσης κάθε εξαρτήματος. Πληρώνοντας τα παρακάτω κριτήρια, δίνεται λύση στο πρόβλημα της πλήρους αυτονομίας του οχήματος. Τα κριτήρια αυτά είναι τα εξής:

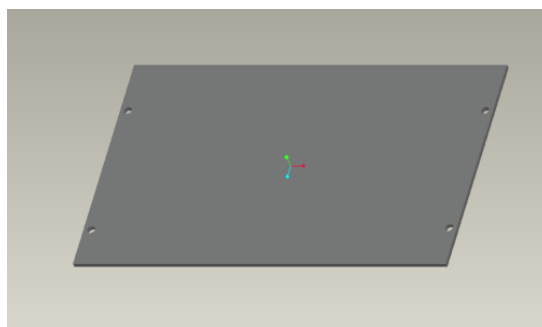
- Όλες οι ευαίσθητες πλακέτες και οι καλωδιώσεις να φυλάσσονται στο εσωτερικό του οχήματος, συγκεντρωμένες σε ένα μέρος
- Οι συσσωρευτές να τοποθετηθούν σε εύκολο σημείο για τις καταστάσεις επαναφόρτισης και αντικατάστασης
- Τα φωτοβολταικά πάνελ είναι σαφές ότι πρέπει να βρίσκονται εξωτερικά του οχήματος, σε ευθεία θέση και τοποθετημένα παράλληλα στη βάση στήριξης
- Η διαδικασία της λήψης ασύρματων συσκευών να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μην εμποδίζεται
- Η πυξίδα πρέπει να τοποθετηθεί σε απομακρυσμένο σημείο από τις μεταλλικές και ηλεκτρονικές συσκευές ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές
- Οι αισθητήρες υπερήχων να είναι τοποθετημένοι σε τέτοιο σημείο ώστε να μην εμποδίζονται από κάποιο τμήμα του οχήματος εμπρός τους
- Η κάμερα να βρίσκεται εξωτερικά και σε ψηλό σημείο ώστε να υπάρχει μεγάλο οπτικό πεδίο
- Οι προβολείς LED χρειάζεται να βρίσκονται σε παράλληλη ευθεία με την πορεία κατεύθυνσης του οχήματος.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, σχεδιάστηκε η τοποθέτηση των συσκευών με τον εξής τρόπο όπως περιγράφεται παρακάτω.

Αρχικά, τέθηκε η ανάγκη κατασκευής μίας βάσης η οποία θα φιλοξενεί σχεδόν όλο τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό, όπως είναι ο ελεγκτής, ο λογικός μετατροπέας, η συσκευή sabertooth, το κύκλωμα PWM και η πλακέτα της συσκευής GPS. Η βάση

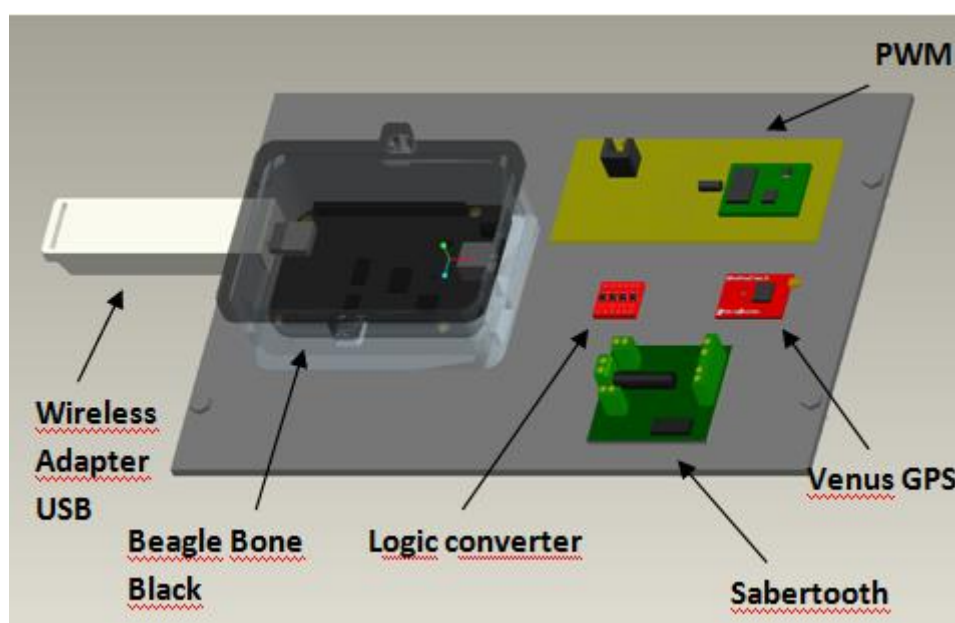
κατασκευάζεται από αλουμίνιο λόγω της υψηλής του αντοχής σε σχέση με το βάρος του και της εύκολης κατεργασίας του (Εικόνα 3.29). Τα χαρακτηριστικά της είναι:

- Μήκος 240 mm,
- Πλάτος 150 mm,
- Ύψος 3 mm

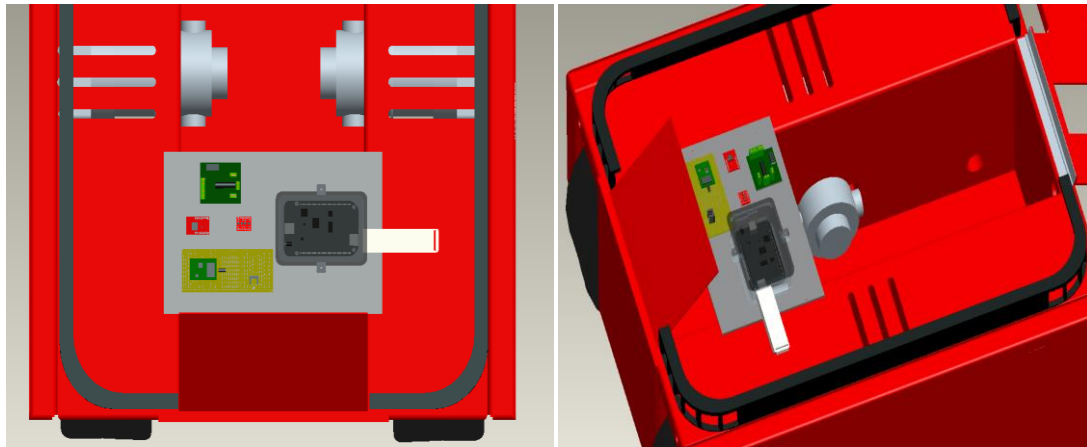


**Εικόνα 3.29** Η βάση στήριξης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της μελέτης, κρίθηκε αναγκαίο να αποθηκευτεί ο ελεγκτής σε μία ειδική θήκη η οποία σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε με την διαδικασία της 3D εκτύπωσης. Σε επόμενο κεφάλαιο αναλύεται λεπτομερώς η διαδικασία. Επίσης, συνδέεται η συσκευή ασύρματης επικοινωνίας μέσω θύρας usb στον ελεγκτή. Στην Εικόνα 3.30, φαίνεται η τελική σχεδίαση της συναρμολόγησης των εξαρτημάτων στη βάση στήριξης και στην Εικόνα 3.31 φαίνεται η χωροθέτηση της βάσης στο όχημα, η οποία γίνεται στο εσωτερικό του και σε μικρή απόσταση από τους δύο κινητήρες, για να γίνει εύκολη η σύνδεση τους με τις συσκευές logic converter και Sabertooth.

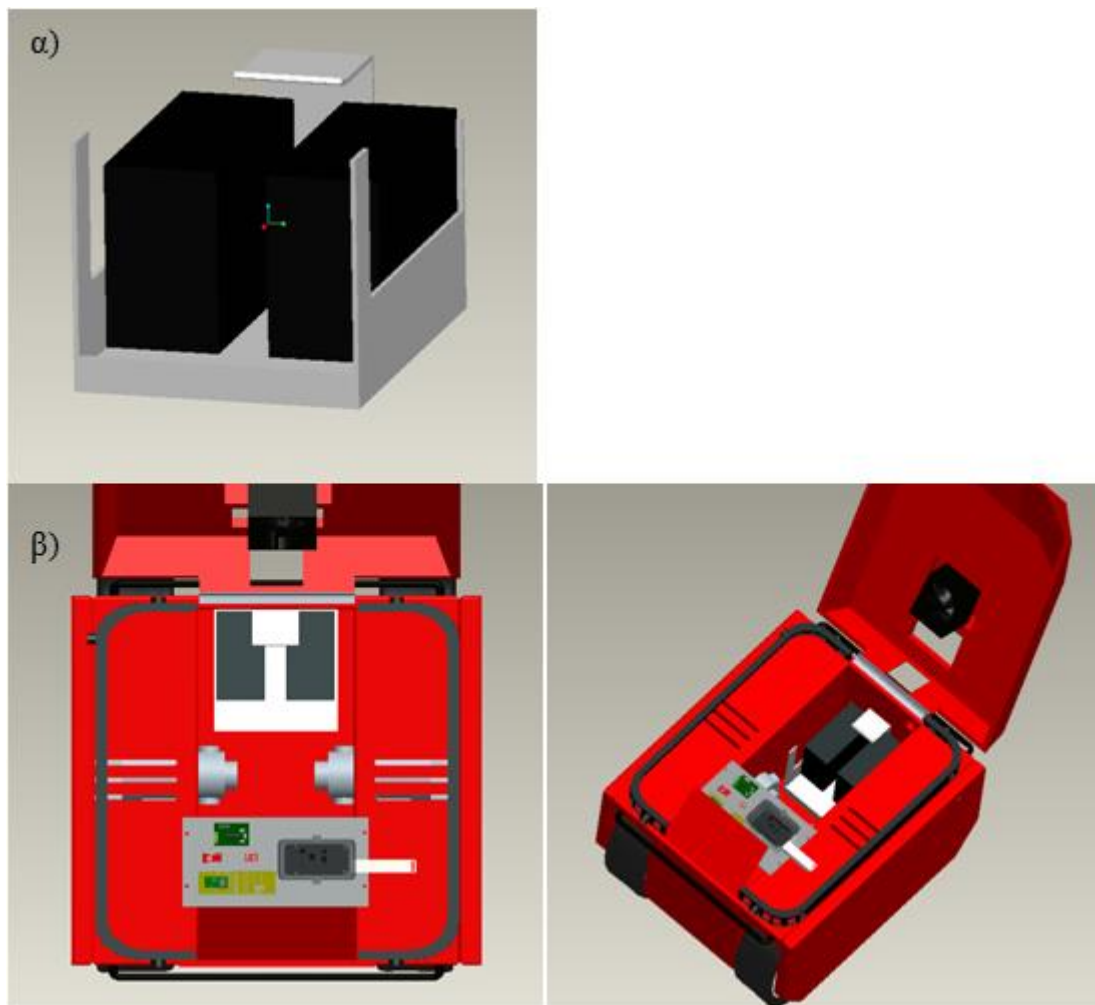


**Εικόνα 3.30** Η τελική σχεδίαση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων Beagle Bone Black, Wireless Adapter usb, logic converter, Venus GPS, Sabertooth και PWM, τοποθετημένα στη βάση στήριξης



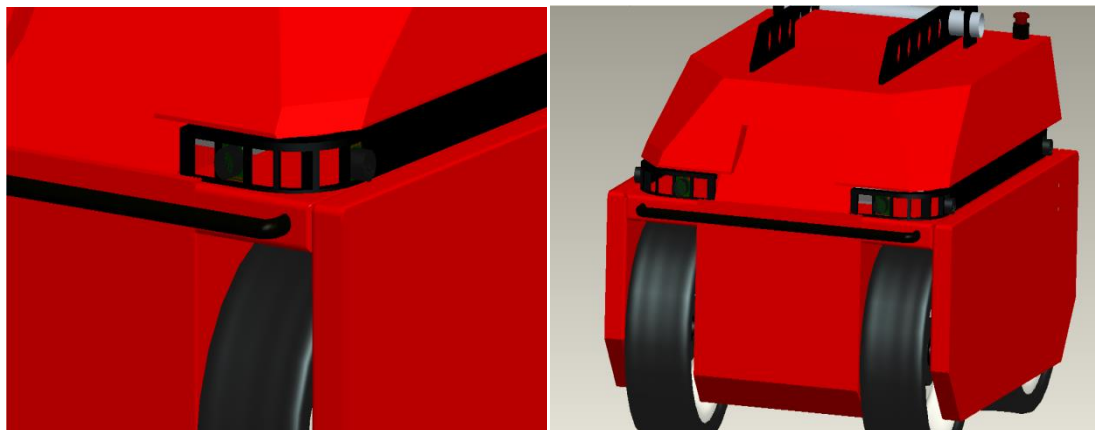
**Εικόνα 3.31** Η βάση στήριξης των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και η συναρμολόγηση της εσωτερικά του οχήματος, κάτωψη και άνω πλάγια όψη.

Συνεχίζουμε με την χωροθέτηση των δύο συσσωρευτών, πρώτα στη βάση στήριξης η οποία διατίθεται ήδη από όχημα και έπειτα στο εσωτερικό του οχήματος ακουμπώντας τους κάτω.

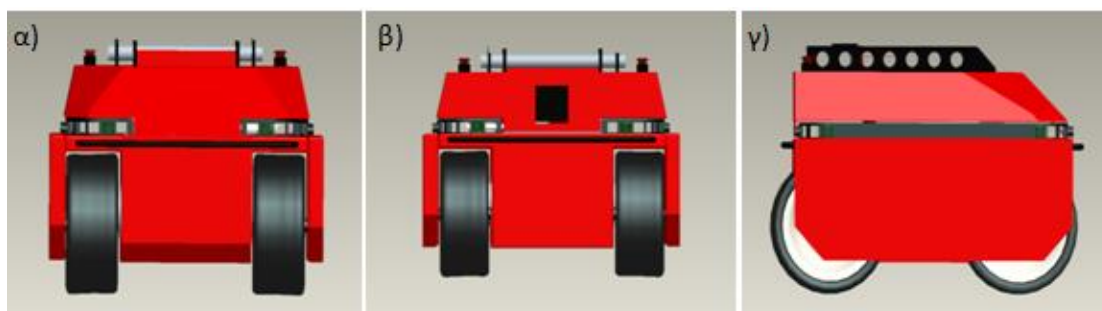


**Εικόνα 3.32** Η χωροθέτηση των συσσωρευτών α) Οι συσσωρευτές και η βάση στήριξης τους, β) Η κάτωψη και η πλάγια όψη του εσωτερικού του οχήματος με την συναρμολόγηση των συσσωρευτών

Οι αισθητήρες υπερήχων τοποθετούνται στη ράβδο στήριξης, στις ειδικά σχεδιασμένες θήκες για την υποδοχή τους, σε κάθε γωνία της ράβδου. Επιλέγεται λοιπόν να συναρμολογηθούν δύο αισθητήρες σε κάθε γωνία της ράβδου και συνολικά δύο αισθητήρες σε κάθε πλευρά του οχήματος, με τέτοιο τρόπο ώστε να μην προεξέχουν από το όχημα (Εικόνα 3.33). Με τον τρόπο αυτό, καλύπτονται όλα τα σημεία όπου χρειάζεται να έχει εμβέλεια το όχημα, δηλαδή εμπρός, πίσω και στις πλάγιες πλευρές του (Εικόνα 3.34).

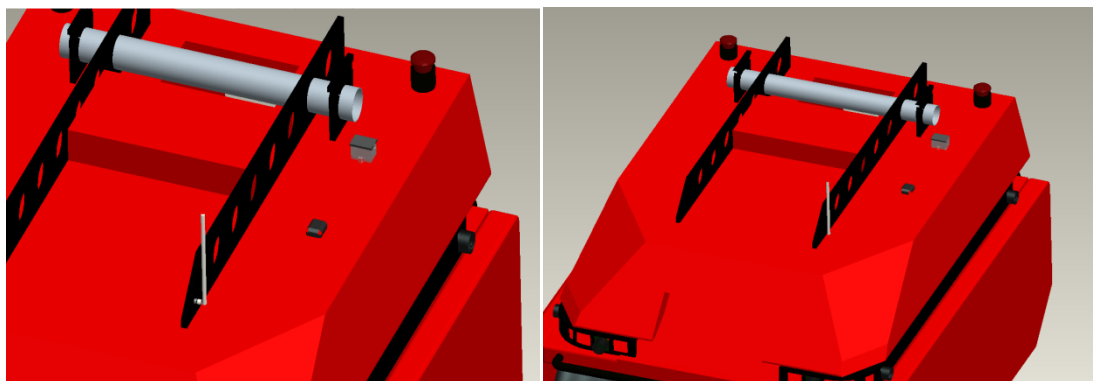


**Εικόνα 3.33** Η όψη των αισθητήρων υπερήχων τοποθετημένοι στη ράβδο στήριξης



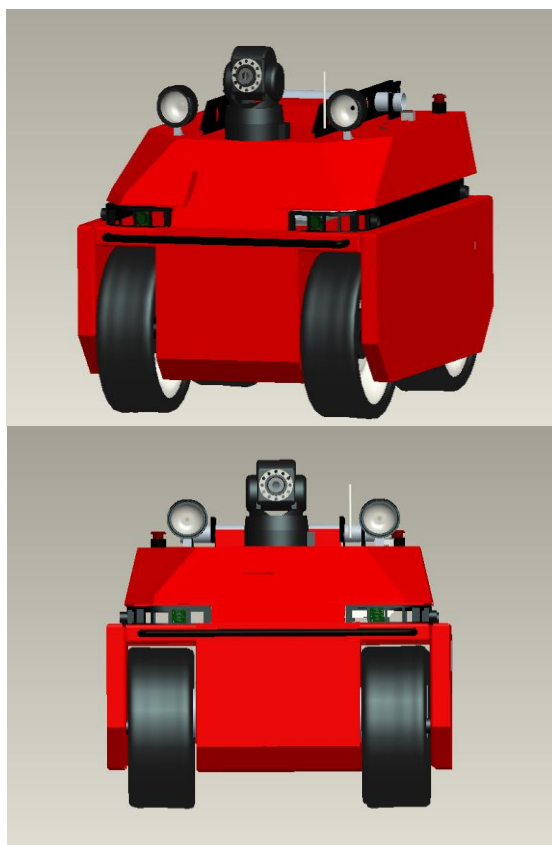
**Εικόνα 3.34** Η όψεις του οχήματος με τους αισθητήρες υπερήχων τοποθετημένους, α)Πρόσοψη, β)Πίσω όψη, γ)Πλάγια όψη

Έπειτα, τοποθετούνται στο πάνω μέρος του καπακιού η κεραία ασύρματης επικοινωνίας, η συσκευή GPS antenna και η πυξίδα IMU. Η κεραία πρέπει να βρίσκεται σε τέτοιο σημείο ώστε να συνδέεται εύκολα με τις ασύρματες συσκευές. Η συσκευή GPS antenna τοποθετείται εξωτερικά σε κάποιο σημείο και πάνω στο καπάκι για καλή εμβέλεια στην εύρεση της τοποθεσίας στην οποία βρίσκεται το όχημα. Τέλος, η πυξίδα IMU αποθηκεύεται μέσα σε ειδική θήκη η οποία σχεδιάζεται και κατασκευάζεται με την διαδικασία της 3d εκτύπωσης και η διαδικασία αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο. Η θήκη αυτή τοποθετείται σε κάποιο σημείο πάνω στο καπάκι σε σχετικά απομακρυσμένο σημείο από τις μεταλλικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι η αποθήκευση της πυξίδας μέσα σε θήκη μειώνει την εμφάνιση παρεμβολών και δυσλειτουργίας της πυξίδας μετέπειτα. Στη Εικόνα 3.35 φαίνεται η σχεδίαση της τοποθέτησης.



**Εικόνα 3.35** Η όψη των συσκευών Κεραία ασύρματης επικοινωνίας, antenna GPS και η πυξίδα IMU τοποθετημένες πάνω στο καπάκι

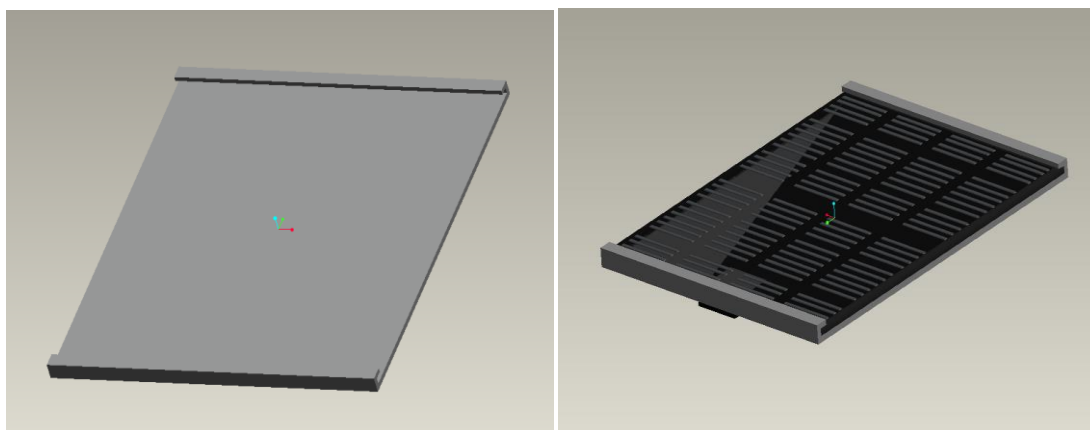
Για την μελέτη της χωροθέτησης της κάμερας, οι προδιαγραφές ήταν συγκεκριμένες. Η κατάλληλη θέση της κάμερας είναι στο εμπρός μέρος του καπακιού και στο κέντρο, ώστε να είναι άμεσα αντιληπτή η κάθε κίνηση και η πιθανή εμφάνιση εμποδίου, εμπρός του, πίσω του και πλαγίως με τη βοήθεια της περιστροφής του φακού στους άξονες οριζόντια και κάθετα. Παρομοίως, μελετάται και η χωροθέτηση των προβολέων LED, οι οποίοι κρίνεται πως η θέση τους πρέπει να είναι κοντά στην κάμερα. Έτσι, με βάση το διαθέσιμο χώρο και τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν, η τοποθέτηση των LED γίνεται δεξιά και αριστερά της κάμερας, ελάχιστα πιο πίσω από αυτήν για να αποφεύγεται η έντονη ακτινοβολία στη λήψη εικόνας ή βίντεο. Παρακάτω στην Εικόνα 3.36, φαίνονται τα αποτελέσματα.



**Εικόνα 3.36** Η τοποθέτηση της κάμερας και των προβολέων LED σε πρόσοψη και πλάγια όψη

Τελικά, ολοκληρώνεται η σχεδίαση όλων των λειτουργικών τμημάτων του ρομποτικού οχήματος με την συναρμολόγηση των φωτοβολταϊκών πάνελ. Η μελέτη που έγινε, βασίστηκε σε μεθόδους που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς ώστε να μπορεί ένα αυτόνομο όχημα να τροφοδοτείται μέσω ηλιακής ενέργειας σε άγνωστα περιβάλλοντα και ταυτόχρονα σε δύσκολες κλιματικές συνθήκες [12] [13]. Η χρήση ενέργειας από το περιβάλλον μέσω τέτοιων συσκευών, είναι ιδανική για την τροφοδοσία του οχήματος που ακολουθεί πορεία σε ανοιχτούς χώρους και επίσης απαραίτητη για την εξοικονόμηση της διάρκειας ζωής των συσσωρευτών. Στα πλαίσια της μελέτης, θεωρήθηκε ότι η αποδοτικότερη τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ πάνω σε κινούμενο όχημα είναι σε ευθεία θέση και τοποθετημένα παράλληλα προς την βάση στήριξης, δηλαδή η κλίση γωνίας των πάνελ με τη βάση στήριξης του οχήματος να είναι 0 μοίρες. Ειδικότερα, λόγω της ανάγκης για την δημιουργία ενός αυτόνομου, κινούμενου ρομποτικού οχήματος, κρίνεται κατάλληλη η συγκεκριμένη τοποθέτηση. Η απόδοση των πάνελ σε αυτή τη θέση υπολογίζεται περίπου στο 88%, σε αντίθεση με την τοποθέτηση τους υπό γωνία, στην οποία η βάση στήριξης των πάνελ δεν θα πρέπει να είναι σε σταθερή θέση για να ακολουθεί την πορεία του ηλίου κατά τη διάρκεια κίνησης, άρα δυσκολεύει την κατασκευή. Έτσι, η απόδοση θα εξαρτιόταν από το βάρος σε σχέση με την κατεύθυνση κίνησης του οχήματος.[14] [15]

Οπότε, σχεδιάζεται πρώτα το πλαίσιο στο οποίο θα ενσωματωθεί το πάνελ. Το υλικό του πλαισίου στήριξης επιλέγεται να είναι το αλουμίνιο και με χαρακτηριστικά: Μήκος 22.6 mm, Πλάτος 18 mm, Ύψος 9 mm και Πάχος τοιχωμάτων 3 mm. Έπειτα, επιλέγεται ο τρόπος χωροθέτησης των πάνελ να είναι πάνω στο καπάκι του οχήματος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν τρία πάνελ για να τροφοδοτήσουν όλα τα λειτουργικά μέρη του οχήματος και λαμβάνοντας υπόψη τον διαθέσιμο χώρο στο καπάκι, καταλήγουμε ότι η τοποθέτηση των πάνελ πρέπει να γίνει επάνω στις ράβδους στήριξης και στη θέση που περιγράφηκε παραπάνω. Επίσης τοποθετείται στο κάτω, εσωτερικό μέρος του καπακιού ο ρυθμιστής φόρτισης των πάνελ ώστε να συνδέεται άμεσα με αυτά. Στις επόμενες εικόνες, φαίνονται τα αποτελέσματα (Εικόνα 3.37) (Εικόνα 3.38).



**Εικόνα 3.37** Η βάση στήριξης του φωτοβολταϊκού πάνελ και η τελική συναρμολόγηση μεταξύ τους



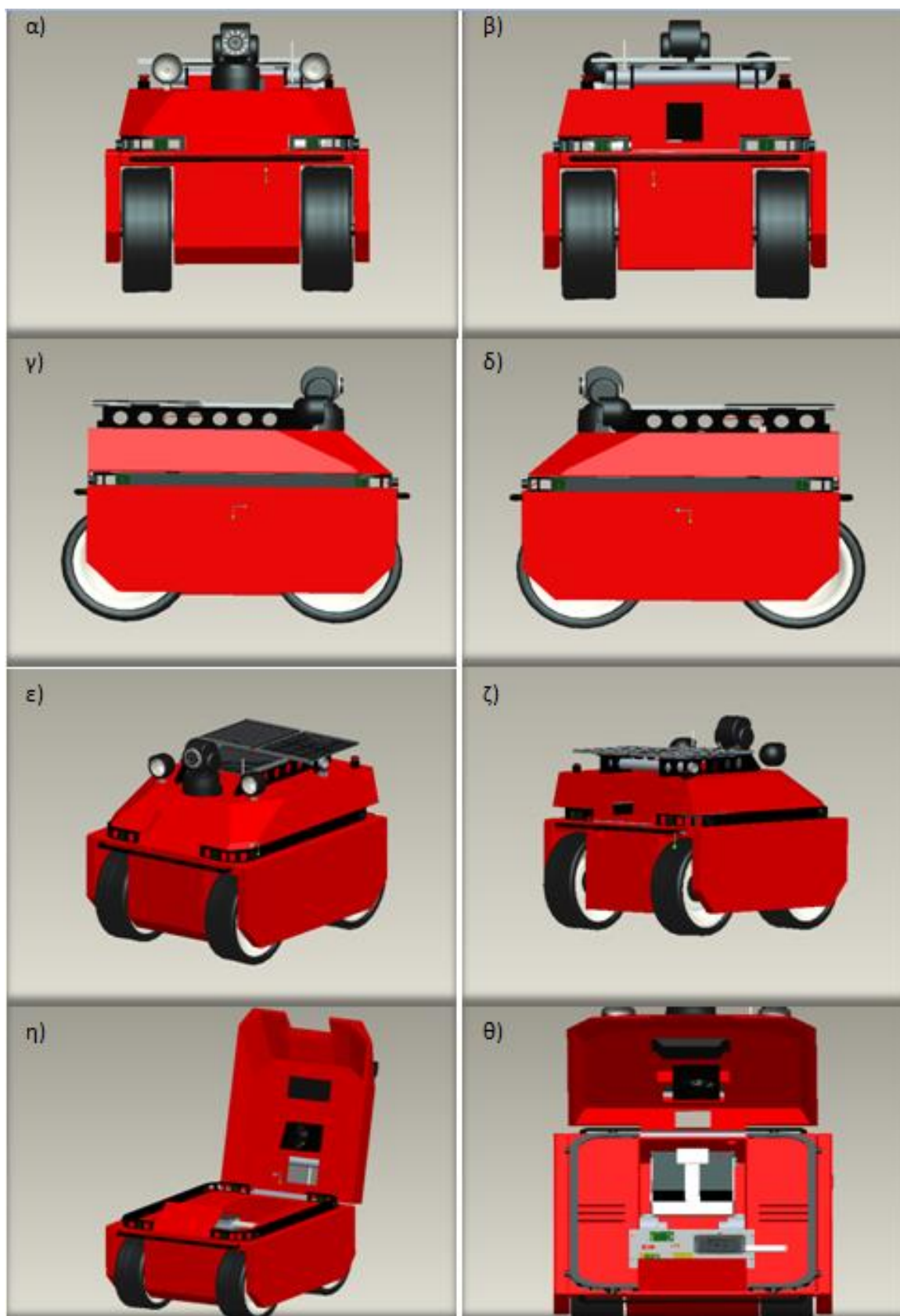


**Εικόνα 3.38** α) Η πλάγια όψη και η πρόσοψη του εσωτερικού του οχήματος με τον ρυθμιστή φόρτισης συναρμολογημένο κάτω από το καπάκι, β) Η κάτωψη και η πλάγια όψη του ρομποτικού οχήματος έπειτα από την συναρμολόγηση των τριών φωτοβολταϊκών πάνελ

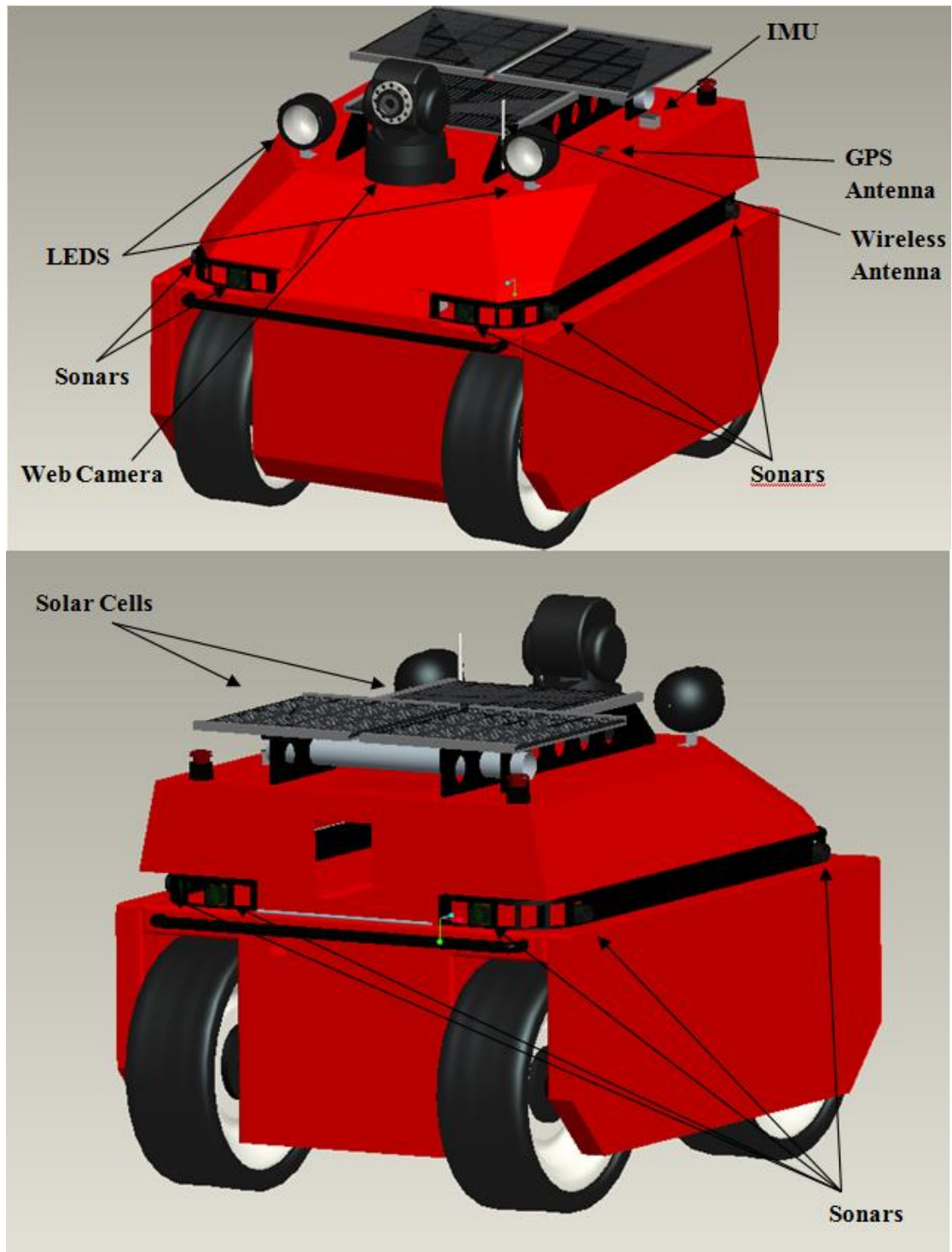
### 3.5 Η νέα μορφή του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini-Αποτελέσματα

Τελικά, ολοκληρώνεται η διαδικασία της συναρμολόγησης όλων των λειτουργικών τμημάτων του ρομποτικού οχήματος, καταλήγοντας στη τελική μοντελοποίηση του ATRV-mini. Η νέα εξελιγμένη μορφή του οχήματος φαίνεται λεπτομερώς από όλες τις όψεις του στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 3.39).





**Εικόνα 3.39** Οι όψεις της νέας μορφής του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini α)πρόσοψη, β)πίσω όψη, γ)δεξιά πλάγια όψη, δ)αριστερή πλάγια όψη, ε)εμπρός πλάγια όψη, ζ)πίσω πλάγια όψη, η)πλάγια όψη του εσωτερικού μέρους θ)κάτω όψη του εσωτερικού μέρους



**Εικόνα 3.40** Τα μέρη που απαρτίζουν το ρομποτικό όχημα ATRV-mini αναλυτικά, μπροστά και πίσω πλάγια όψη

Έχοντας υλοποιήσει την ανασχεδιασμένη χωροθέτηση των τμημάτων που απαρτίζουν το όχημα, επιτυγχάνεται η δημιουργία ενός αυτόνομου ρομποτικού οχήματος πληρώντας προδιαγραφές νέων χρήσεων και εφαρμογών. Ως εκ τούτου, έχοντας υπολογίσει το συνολικό κόστος, γύρω στα 476,2\$ για την αγορά όλων των εξαρτημάτων, συμπεραίνουμε ότι είναι προβλεπόμενο λαμβάνοντας υπόψη την απόδοση και την ισχύ.

---

Σημαντικό πλεονέκτημα αυτής της έρευνας είναι ότι το όχημα ATRV-mini σε συνδυασμό με τον ανανεωμένο εξοπλισμό και κυρίως των εξαρτημάτων GPS, ασύρματης επικοινωνίας και οπτικού συστήματος, καθίσταται ικανό να πλοηγηθεί και να εξερευνήσει άγνωστες περιοχές αξιοποιώντας όποια πληροφορία συλλέγουν οι αισθητήρες από το γύρω χώρο και έτσι να σχεδιάσει την πορεία κίνησης που θα ακολουθήσει. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η αλλαγή του βάρους του οχήματος. Αφαιρώντας, στην αρχή, τον εξοπλισμό που διέθετε από την εταιρεία και προσδίδοντας το τις συγκεκριμένες συσκευές, οι οποίες είναι πιο λίγες και μικρότερες σε βάρος, το βάρος του οχήματος ελαττώθηκε αρκετά. Επίσης, αποφεύγεται η χρήση των υποστηρικτικών βάσεων που υπήρχαν και έτσι ο αριθμός των καλωδιώσεων σε όλο το εσωτερικό του οχήματος. Ωστόσο, είναι σημαντικό πλεονέκτημα ότι η υπολογιστική ισχύς που διατίθεται, είναι αρκετή για να ανταπεξέρχεται στις απαιτήσεις του οχήματος στα πλαίσια της αυτόνομης λειτουργίας σε ανοιχτούς χώρους. Έπειτα, όσον αφορά τη διάρκεια ζωής των ηλεκτρονικών συσκευών, εξαρτάται κυρίως από το περιβάλλον στο οποίο θα πλοηγηθεί, δηλαδή από την ποιότητα του εδάφους και από τις καιρικές συνθήκες. Είναι σαφές ότι η διάρκεια λειτουργίας του οχήματος μειώνεται όσο το έδαφος στο οποίο κινείται, δυσκολεύει και επίσης όσο η τροφοδοσία δεν εξαρτάται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες (βροχή, πυκνή συννεφιά). Βέβαια, όλα αυτά μπορούν να αποδειχτούν με πειραματικούς ελέγχους στο μέλλον.

Το όχημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως σε εξωτερικούς χώρους, κινούμενο αυτόνομα με ολίσθηση των τροχών. Η χρήση του πλέον είναι ιδιαίτερα φιλική προς το χρήστη εφόσον μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά χωρίς εξειδικευμένες γνώσεις και χρόνια εμπειρία πάνω στο προγραμματισμό. Είναι ιδιαίτερα προσιτό και αποδοτικό σε εφαρμογές όπως η περιπολία και η επιτήρηση χώρων, η εξερεύνηση νέων περιοχών, η διάσωση αλλά και ερευνητικές και εκπαιδευτικές εφαρμογές σε εξωτερικούς χώρους.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4- Τρισδιάστατη Εκτύπωση (3D printing)

### 4.1 Εισαγωγή

Στη συνέχεια της έρευνας κρίθηκε απαραίτητη η τοποθέτηση κάποιων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων σε ειδικές θήκες. Τα εξαρτήματα αυτά είναι ο ελεγκτής(Beagle Bone Black) και η πυξίδα(imu) τα οποία όπως παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο λόγω της συγκεκριμένης τοποθέτησής τους πάνω στο όχημα και της ευαισθησίας τους σε εξωτερικούς παράγοντες (π.χ ύπαρξη σκόνης, βροχή κλπ.) χρειάστηκε να αποθηκευτούν σε θήκες. Αντίθετα με τα εξαρτήματα που πρέπει να αγοραστούν, τα συγκεκριμένα κουτιά που χρειαζόμαστε μπορούμε να τα κατασκευάσουμε με τη βοήθεια μιας προηγμένης τεχνολογίας, της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Στη συνέχεια θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάστηκαν τα κουτιά ώστε να είναι συμβατά και κατάλληλα για τα εξαρτήματα και ο τρόπος που παράχθηκαν με τη διαδικασία του 3D printing. Ο 3D printer που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου των εργαλειομηχανών του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η διαδικασία της 3D εκτύπωσης για κατασκευή εξαρτημάτων διεκπεριώνεται για πρώτη φορά στο εργαστήριο στα πλαίσια μελέτης διπλωματικής εργασίας.

### 4.2 Η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η τρισδιάστατη εκτύπωση(3D printing) θεωρείται ως η σημαντικότερη τεχνολογία των τελευταίων ετών παγκοσμίως. Σε σύγκριση με οποιαδήποτε από τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής, έχει ριζικές διαφορές και για το λόγο αυτό καθίσταται κατάλληλη ώστε να την επιλέξουμε. Συγκεκριμένα, μας δίνει την δυνατότητα να δημιουργήσουμε αντικείμενα επιλέγοντας από ένα ευρύ φάσμα υλικών ανάλογα με τις ανάγκες μας και προσφέροντας ένα άριστο αποτέλεσμα σε πολύ λιγότερο χρόνο και με εξαιρετικά μικρότερο κόστος.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι μια μέθοδος προσθετικής κατασκευής κατά την οποία τρισδιάστατα μοντέλα μετατρέπονται σε πραγματικά, απτά αντικείμενα. Η κατασκευή των αντικειμένων γίνεται μέσω της διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού. Οι διαδοχικές στρώσεις θα θεωρηθούν ως μία οριζόντια διατομή από λεπτές φέτες οι οποίες τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη. Στην μέθοδο αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι τύποι υλικών, κυρίως κάποια θερμοπλαστικά και μέταλλα, κεραμικά, χαρτί, άμμος κλπ.

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φυσικών μοντέλων και πρωτοτύπων από σχεδιαστές, μηχανικούς και ομάδες ανάπτυξης νέων

---

προϊόντων. Έχουν την δυνατότητα να εκτυπώνουν μέρη και εξαρτήματα από διάφορα υλικά με διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες και συχνά σε μια ενιαία διαδικασία κατασκευής. Ανάλογα με το μέγεθος του αντικειμένου και τη μέθοδο κατασκευής κυμαίνεται και η διάρκεια της εκτύπωσης από λίγα λεπτά μέχρι μερικές ώρες.

Η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης βρίσκει εφαρμογή στους τομείς της μηχανικής και των κατασκευών(AEC), του βιομηχανικού σχεδιασμού, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της αεροδιαστημικής, όπως επίσης και στους κλάδους της ιατρικής και της οδοντιατρικής. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή κοσμημάτων, αρχιτεκτονικών μακετών, αγαλμάτων και χαρτών. Ειδικά με τους εκτυπωτές που χρησιμοποιούν πλαστικό μπορεί εύκολα να κατασκευαστούν μικρά κομμάτια τα οποία να συναρμολογούνται και να δημιουργούν μία ολόκληρη κατασκευή.[16]

Τα πλεονεκτήματα της 3D εκτύπωσης είναι πολλά, ενδεικτικά όμως θα αναφέρουμε τα εξής παρακάτω:

- Ταχεία παραγωγή ενός μοντέλου
- Υψηλή ακρίβεια (16μm)
- Αντικείμενα σύνθετης γεωμετρίας
- Καθαρές επιφάνειες
- Μεγάλη γκάμα υλικών εκτύπωσης
- Χαμηλό κόστος υλικών παραγωγής
- Ευελιξία στην παραγωγή εξατομικευμένων προϊόντων χρησιμοποιώντας όσο υλικό είναι αναγκαίο
- Μείωση των εκπομπών CO2 λόγω λιγότερων μετακινήσεων(logistics)

Είναι σημαντικό να αναφερθούν και κάποια μειονεκτήματα της μεθόδου τα οποία είναι:

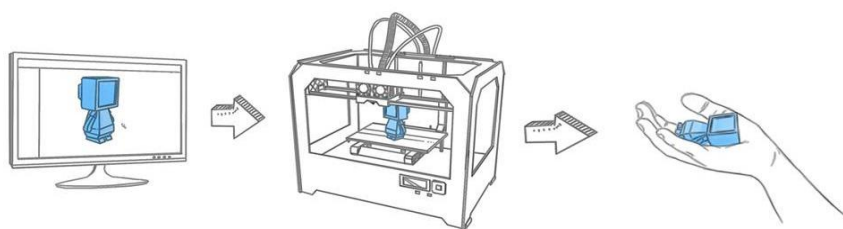
- Η ανάλυση και η σταθερότητα των εκτυπωμένων αντικειμένων, καθώς σε κάποιες μεθόδους δεν αποδίδονται τόσο καλά
- Τα αντικείμενα γίνονται εύθραυστα με την πάροδο των χρόνων σε μεθόδους όπως η στερεολιθογραφία
- Η ευρεία διαθεσιμότητα τους και το χαμηλό κόστος μπορεί να σημάνει την επικινδυνότητα της εφαρμογής της καθώς η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς όπως η κατασκευή όπλων και μαχαιριών.



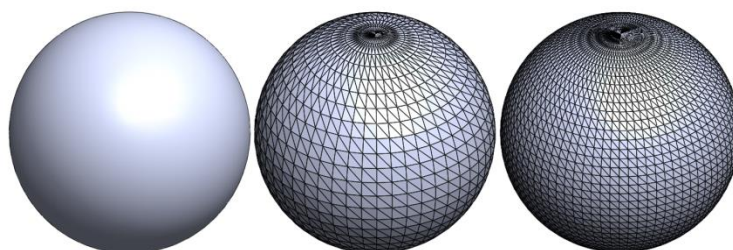
---

### 4.3 Οι τεχνολογίες της τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης (Εικόνα 4.1). ξεκινάει με τον σχεδιασμό του τρισδιάστατου προς εκτύπωση μοντέλου με τη χρήση λογισμικού CAD (Computer Aided Design) ή με επεξεργασία εικόνας η οποία έχει ληφθεί με 3D Scanner, ψηφιακή κάμερα, αξονική/μαγνητική τομογραφία κλπ. Έπειτα μετατρέπεται το αρχείο σε τύπου .stl (Standard Tessellation Language) το οποίο μπορεί να διαβάσει ο εκτυπωτής. Τα αρχεία αυτά περιέχουν πληροφορίες για την επιφάνεια του αντικειμένου και χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Στο αρχείο δίνεται το μοντέλο με προσέγγιση της επιφάνειας του από τρίγωνα στον τρισδιάστατο χώρο (Εικόνα 4.2) [17]. Στη συνέχεια ακολουθεί ο slicer ο οποίος καταμερίζει το μοντέλο σε επίπεδα με επιθυμητό πάχος (π.χ. 100μm). Έτσι παράγει τις πληροφορίες κάθε επιπέδου στον κώδικα G-Code, ο οποίος αποστέλλεται στο πρόγραμμα που επικοινωνεί με τον εκτυπωτή και ξεκινά η εκτύπωση. Όπως αναφέρθηκε η διάρκεια της εκτύπωσης εξαρτάται από το μέγεθος του αντικειμένου και την μέθοδο που εφαρμόζεται. Όταν ολοκληρωθεί η εκτύπωση αφαιρούνται, αν χρειαστεί, από το αντικείμενο περιττό υλικό ή στηρίγματα που χρησιμοποιήθηκαν για να μην διαλυθεί το αντικείμενο κατά την διάρκεια της κατασκευής με φινίρισμα.



**Εικόνα 4.1** Η διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing)

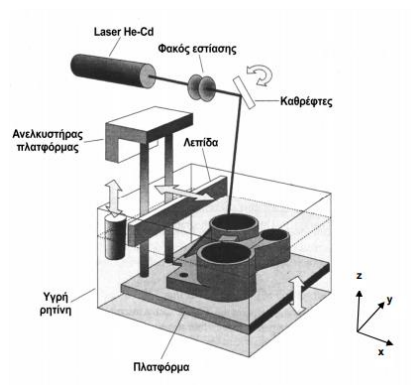


**Εικόνα 4.2** Η περιγραφή του μοντέλου στο αρχείο .stl με προσέγγιση της επιφάνειας του από τρίγωνα στο 3D χώρο

Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες, τις οποίες χρησιμοποιούν οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές, ανάλογα με τις απαιτήσεις των προϊόντων που θέλουμε να εκτυπώσουμε. Οι τρεις πιο δημοφιλείς προς χρήση είναι:

- 1) η τεχνική Stereolithography (SLA),
- 2) η τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM),
- 3) η τεχνική Selective Laser Sintering (SLS).

### 1) Stereolithography (SLA)



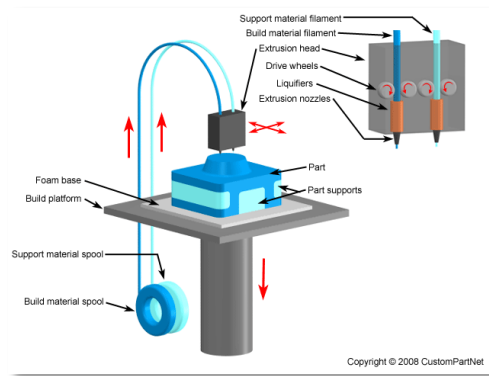
**Εικόνα 4.3** Η διαδικασία της στερεολιθογραφίας

Η μέθοδος της στερεολιθογραφίας χρησιμοποιεί μία υπεριώδης ακτινοβολία για να στερεοποιήσει το υγρό υλικό(φωτοπολυμερές) και να “χτίσει” το αντικείμενο. Το φωτοπολυμερές υλικό γεμίζει μία δεξαμενή, όπου η βάση τοποθετείται σχεδόν στην επιφάνεια του υγρού, αφήνοντας να καλυφθεί από το υλικό που αντιστοιχεί στο πρώτο επίπεδο. Έπειτα, η δέσμη της υπεριώδους ακτίνας παράγεται από το σύστημα και πέφτει πάνω στο υλικό για να το στερεοποιήσει στα σημεία τα οποία υποδεικνύει ο G-Code. Η βάση κατεβαίνει πιο χαμηλά στο επόμενο επίπεδο και επαναλαμβάνεται η διαδικασία της στερεοποίησης. (Εικόνα 4.3)

Η διαδικασία αυτή χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή ακρίβεια και χαμηλό κόστος παραγωγής αλλά και χαμηλή ταχύτητα. Ενδείκνυται κυρίως για κατασκευή μικρών κομματιών. [18]



## 2) Fused Deposition Modeling (FDM)



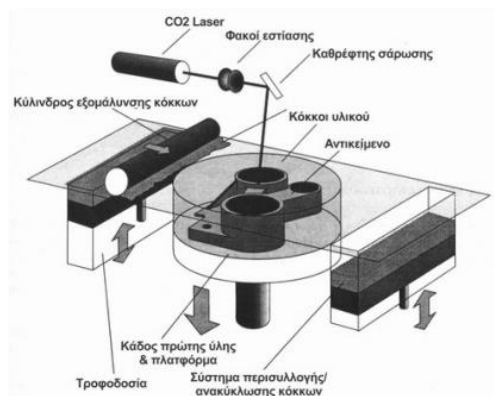
**Εικόνα 4.4 Η διαδικασία της Fused Deposition Modeling (FDM)**

Σ' αυτή τη τεχνική, οι ίνες του θερμού πλαστικού υλικού εξέρχεται από μια κεφαλή η οποία έχει υψηλή θερμοκρασία, ώστε το υλικό να λιώνει και να το εναποθέτει σε λεπτές στρώσεις πάνω σε μια βάση. Η κεφαλή κινείται στο επίπεδο (x,y). Η βάση έχει χαμηλότερη θερμοκρασία για να στερεοποιείται το υλικό γρήγορα. Έπειτα, η βάση κατέρχεται και η κεφαλή εναποθέτει τη δεύτερη στρώση θερμού υλικού πάνω στο πρώτο και συνεχίζεται έτσι η διαδικασία. (Εικόνα 4.4)

Στην FDM διαδικασία μπορεί να χρειάζεται η χρήση υποστηρικτικού υλικού για την στήριξη του αντικείμενου και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται και μία δεύτερη κεφαλή η οποία εναποθέτει το υλικό στήριξης ταυτόχρονα με την πρώτη. Επίσης, αν είναι απαραίτητο χρησιμοποιούνται και σταθερά στηρίγματα τα οποία με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αφαιρούνται εύκολα.

Η μέθοδος FDM είναι η πιο δημοφιλής και χαρακτηρίζεται από ευκολία χρήσης, χρήση διάφορων τύπων υλικών, αλλά και χαμηλή ακρίβεια και μέτρια ποιότητα επιφάνειας.[19]

## 3) Selective Laser Sintering (SLS)



**Εικόνα 4.5 Η διαδικασία Selective Laser Sintering (SLS)**

---

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί μία ακτίνα laser η οποία λιώνει και στερεοποιεί το υλικό το οποίο βρίσκεται σε μορφή σκόνης. Η ποσότητα της σκόνης στρώνεται από έναν κύλινδρο πάνω σε μια επιφάνεια σε συγκεκριμένο πάχος και έπειτα η κεφαλή που ρίχνει την ακτίνα laser, διαγράφει το σχήμα της πρώτης διατομής στερεοποιώντας τη σκόνη. Συνεχίζεται η ίδια διαδικασία, πηγαίνοντας η επιφάνεια κάθε φορά στο πάχος της επόμενης διατομής μέχρι να κατασκευαστεί το αντικείμενο (Εικόνα 4.5). Η σκόνη που περισσεύει χρησιμοποιείται ως στήριγμα για το προς κατασκευή αντικείμενο, γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται υποστηρικτικό υλικό.

Η μέθοδος αυτή είναι η πιο “δύσκολη” και χαρακτηρίζεται για τις καλές μηχανικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται, αλλά και για το υψηλό κόστος παραγωγής και τη χαμηλή σε ποιότητα επιφάνεια και ακρίβεια.[18]

#### **4.4 Σχεδιασμός και Τρισδιάστατη εκτύπωση των εξαρτημάτων**

Για να ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής των αντικειμένων, θα πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός τους με τη βοήθεια του προγράμματος Pro engineer. Αρχικά, πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποιες παραμέτρους για να δημιουργήσουμε θήκες κατάλληλες για τον ελεγκτή και την πυξίδα. Οι θήκες θα πρέπει:

- να είναι επαρκής σε μέγεθος και σε χώρο,
- να είναι άνετες κυρίως σε χώρο για την κίνηση του αέρα
- να διαθέτουν μία ή δύο οπές για την επίτευξη ψύξης κατά τη διάρκεια λειτουργίας των εξαρτημάτων.

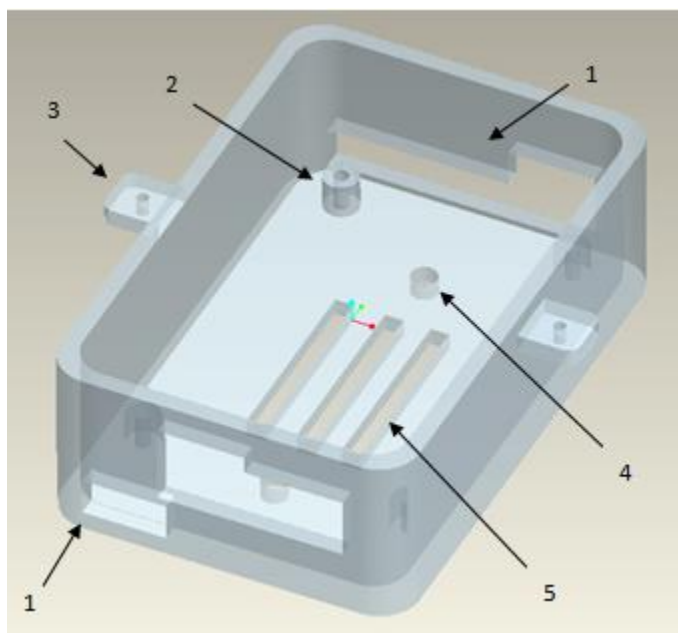
Έχοντας λάβει υπόψη τα παραπάνω στοιχεία, πρόέκυψε ο σχεδιασμός των θηκών για: 1)τον ελεγκτή Beagle Bone Black και 2)την πυξίδα imu:

##### **1) Θήκη του ελεγκτή Beagle Bone Black**

Στην Εικόνα 4.6 φαίνεται η θήκη που σχεδιάστηκε για να αποθηκευτεί ο ελεγκτής και τα μέρη του αναλύονται ως εξής:

1. οι οπές που ανοίχτηκαν στα δύο πλαϊνά μέρη ώστε να συνδέονται τα καλώδια στις διάφορες θύρες επικοινωνίας που διαθέτει ο ελεγκτής
2. οι τέσσερις κυλινδρικές βάσεις με εσωτερική οπή διαμέτρου 2,5mm και ύψος 6mm, οι οποίες τοποθετούνται σε κάθε γωνία του κουτιού ώστε να ακουμπήσει ο ελεγκτής και να στερεωθεί με τέσσερις βίδες

3. οι προεκτάσεις στις δύο μεγαλύτερες πλευρές της θήκης με μία οπή στη μέση ώστε να κλείσει το καπάκι του και να βιδωθεί
4. οι δύο οπές που σχεδιάστηκαν στη βάση της θήκης ώστε να μπορεί να στερεωθεί σε βάση πάνω στο όχημα
5. οι τρεις ορθογώνιες οπές στη βάση της θήκης για τον αερισμό του εσωτερικού και την αποφυγή υψηλών θερμοκρασιών

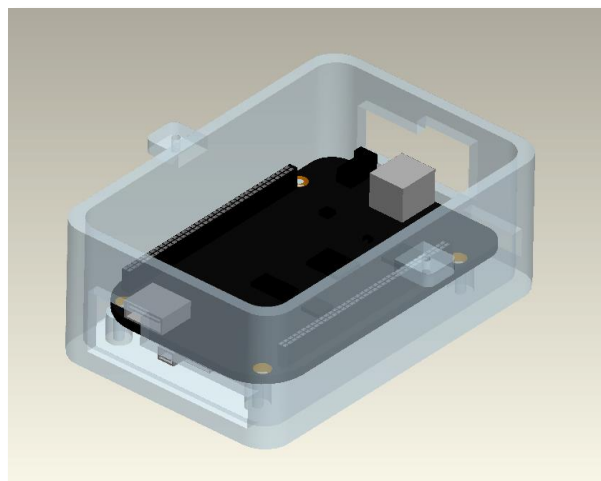


**Εικόνα 4.6 Η θήκη του ελεγκτή beaglebone black**

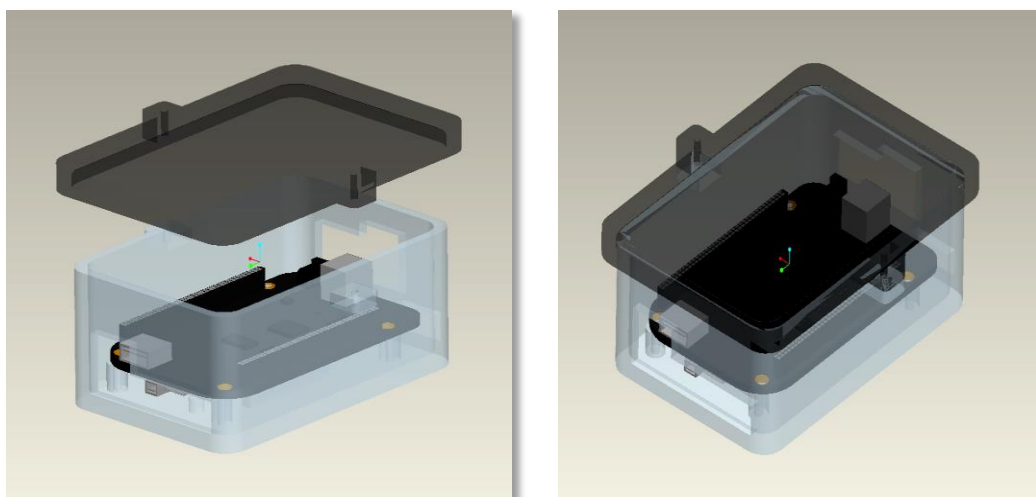
Έπειτα, οι διαστάσεις που σχεδιάστηκαν, υπολογίστηκαν με βάση το γεγονός ότι χρειαζόταν να υπάρχει αρκετός ελεύθερος χώρος για αερισμό και εύκολη πρόσβαση του ανθρώπινου χεριού για πιθανές παρεμβάσεις. Έτσι, οι διαστάσεις είναι ίσες με:

- μήκος 94 mm
- πλάτος 62 mm
- ύψος 30 mm
- πάχος τοιχωμάτων και βάσης 3 mm

Στις επόμενες εικόνες, φαίνονται η τοποθέτηση του ελεγκτή (Εικόνα 4.7) και η συναρμολόγηση του καπακιού, ώστε να κλείσει η θήκη(Εικόνα 4.8). Έτσι ολοκληρώνεται η ασφαλής αποθήκευση του εξαρτήματος.



**Εικόνα 4.7** Η τοποθέτηση του ελεγκτή μέσα στη θήκη



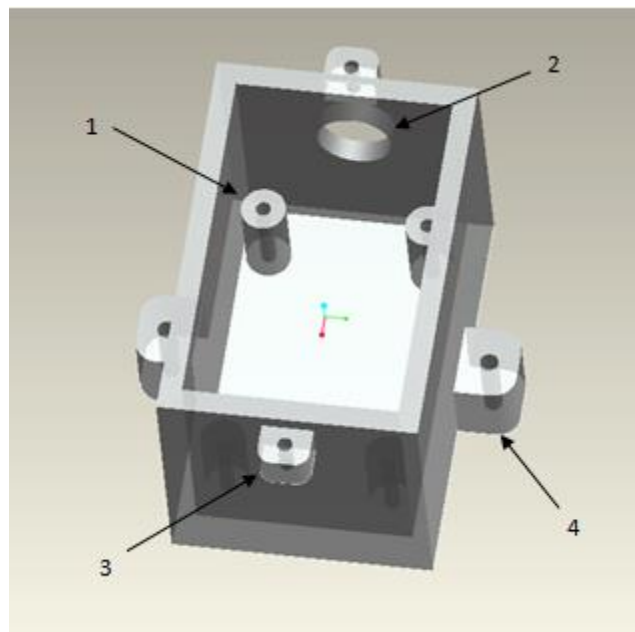
**Εικόνα 4.8** Η συναρμολόγηση του καπακιού και η ολοκληρωμένη εκδοχή του ελεγκτή Beagle Bone αποθηκευμένο μέσα στη θήκη του

## 2) Θήκη της πυξίδας imu

Συνεχίζοντας με το σχεδιασμό της θήκης της πυξίδας, στα πλαίσια του ίδιου μοτίβου με τη πρώτη θήκη, έχουμε το εξής αποτέλεσμα όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 4.9. Τα μέρη και οι διαστάσεις που σχεδιάστηκαν είναι διαφορετικές αυτή τη φορά, εφόσον πρόκειται για ένα μικρότερο σε μέγεθος εξάρτημα και με λιγότερες απαιτήσεις κυρίως στο χώρο που χρειάζεται για αερισμό. Οπότε, έχουμε:

1. τέσσερις κυλινδρικές βάσεις τοποθετημένες σε κάθε γωνία της θήκης, με οπή στη μέση διαμέτρου 2,5 mm και ύψος 12 mm, για να στηριχθεί πάνω τους η πυξίδα

2. μία οπή στη πλάγια πλευρά της θήκης ώστε να γίνεται η διέλευση των καλωδίων σύνδεσης της πυξίδας με το σύστημα
3. δύο προεκτάσεις με οπή στη μέση στις δύο πλάγιες πλευρές της θήκης, ώστε να ακουμπήσει το καπάκι και να κλείσει το κουτί με βίδες και παξιμάδια
4. δυο προεκτάσεις με οπή στη μέση σχεδιασμένες στη κάτω πλευρά του κουτιού, για να μπορέσει να τοποθετηθεί η θήκη σε κάποια πλευρά του οχήματος και να στερεωθεί με βίδα και παξιμάδι



**Εικόνα 4.9** Η θήκη της πυξίδας imu

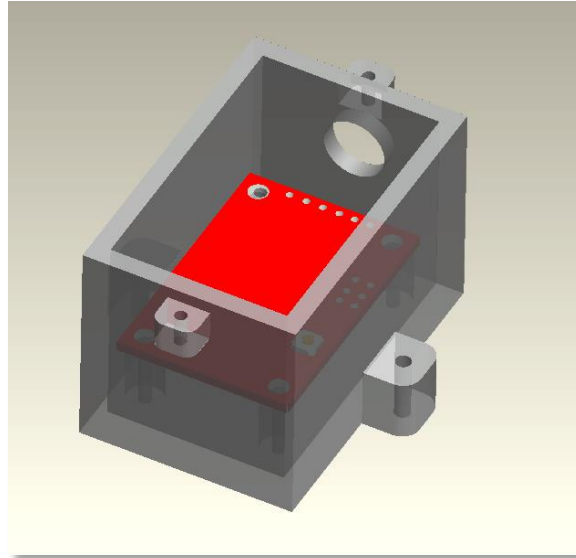
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο κίνδυνος θέρμανσης της πυξίδας δεν είναι μεγάλος όπως αυτός του ελεγκτή καθώς είναι πιο μικρό σε διαστάσεις εξάρτημα και η λειτουργία του δεν δημιουργεί υψηλές θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτό, ο ελεύθερος χώρος που σχεδιάστηκε είναι αρκετός ώστε να μπορεί εύκολα να παρεμβαίνει ανθρώπινο χέρι. Επίσης, δεν σχεδιάστηκαν οπές για να αερίζεται το εσωτερικό του εφόσον η οπή για τη διέλευση των καλωδίων είναι αρκετή.

Οι διαστάσεις της θήκης είναι:

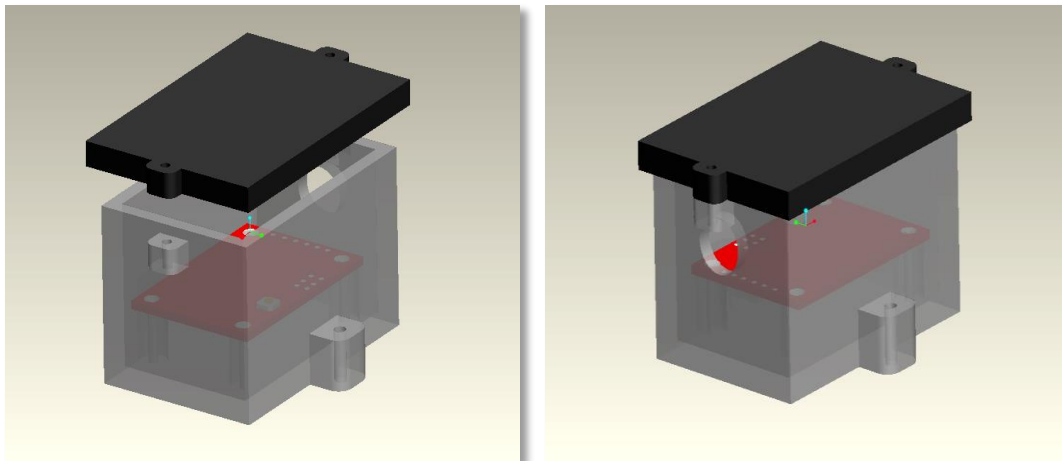
- μήκος 53 mm
- πλάτος 35 mm
- ύψος 34 mm
- πάχος τοιχωμάτων και βάσης 3 mm

---

Τελικά στις εικόνες παρακάτω, φαίνεται η συναρμολόγηση της πυξίδας imu στο εσωτερικό της θήκης(Εικόνα 4.10) και η συναρμολόγηση του καπακιού στη θήκη(Εικόνα 4.11) και η συνολική εκδοχή του σχεδίου της θήκης.



**Εικόνα 4.10** Η συναρμολόγηση της πυξίδας imu μέσα στη θήκη

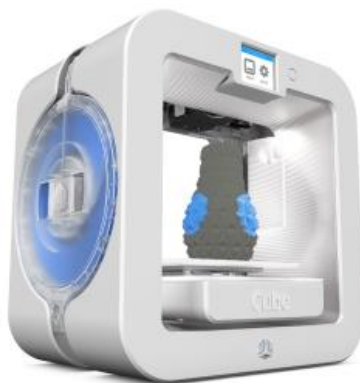


**Εικόνα 4.11** Η συναρμολόγηση του καπακιού και η ολοκληρωμένη εκδοχή πυξίδας imu μέσα στη θήκη

Εφόσον, έχει υλοποιηθεί ο σχεδιασμός των ενδεχόμενων θηκών, συνεχίζουμε την διαδικασία ρυθμίζοντας κάποιες παραμέτρους που επηρεάζουν τις ιδιότητες των εκτυπωμένων αντικειμένων. Ανάμεσα στις διαθέσιμες επιλογές είναι το υλικό, το χρώμα και η ανάλυση της 3D εκτύπωσης.

---

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθούμε στον 3D εκτυπωτή που χρησιμοποιήθηκε και στα χαρακτηριστικά του από τα οποία εξαρτώνται η εκτέλεση και το αποτέλεσμα της εκτύπωσης. Ο 3D εκτυπωτής, ο οποίος βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Τεχνολογίας Παραγωγής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, είναι ο Cube τρίτης γενιάς της εταιρίας 3D systems (Εικόνα 4.12) [20]. Είναι κατάλληλος για χρήση τόσο στο γραφείο όσο και οικιακή. Αυτό γίνεται χάρη στις μικρές διαστάσεις και στο γεγονός ότι είναι φορητός. Ο 3D printer μπορεί να εκτυπώσει σκληρά πλαστικά αντικείμενα από ABS και PLA, σε μέγεθος διαστάσεων 150 x150 x150mm σε μήκος, πλάτος και ύψος αντίστοιχα.



**Εικόνα 4.12 Ο 3D printer Cube**

Ο 3D εκτυπωτής Cube βασίζεται στη τεχνολογία της εναπόθεσης υλικού σε στρώσεις Fused Deposition Modeling (FDM) και δουλεύει με layers (στρώσεις) σε ανάλυση έως 70 Microns.

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το PLA (Poly Lactic Acid) χρώματος NEON Green. Είναι ένα βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό, το οποίο προέρχεται από φυτικές ανανεώσιμες πηγές και κατατάσσεται από τα πρώτα στη λίστα με τα πιο φιλικά προς το περιβάλλον πλαστικά υλικά. Είναι σκληρό και ανθεκτικό υλικό και παρουσιάζει μεγαλύτερη ακαμψία σε σύγκριση με το ABS. Γενικά, είναι το πιο κοινό 3D εκτυπώσιμο υλικό, ιδανικό για όλες τις εφαρμογές που δεν υφίστανται υψηλές θερμοκρασίες.

Στη συνέχεια, ρυθμίστηκε η ανάλυση της εκτύπωσης. Το πάχος ή αλλιώς το ύψος των στρώσεων αυτών προσδιορίζουν την ανάλυση της εκτύπωσης. Στο συγκεκριμένο εκτυπωτή, η ανάλυση που διαθέτει είναι η 70 Microns ή 0,07 mm (κανονική λειτουργία) και 200 Microns ή 0,2 mm (γρήγορη λειτουργία). Είναι γνωστό ότι σε μεγαλύτερες αναλύσεις οι στρώσεις είναι δύσκολα διακριτές οπότε και το αποτέλεσμα είναι ποιοτικότερο σε σχέση με τις αντίστοιχες στρώσεις σε χαμηλότερη ανάλυση. Τελικά, λόγω του χρόνου και της διαθεσιμότητας του υλικού, επιλέγεται η ανάλυση σε 200 Microns, ώστε το αποτέλεσμα να είναι αρκετά ποιοτικό και όμορφο σε καλή τιμή.

Τέλος, ρυθμίζεται η πυκνότητα ή αλλιώς ποσοστό πλήρωσης το οποίο αναφέρεται στο κατά πόσο θα είναι γεμάτες ή άδειες οι κλειστές δομές του



---

αντικείμενου. Εφόσον στη προκειμένη περίπτωση, τα αντικείμενα μετά την εκτύπωση δεν θα χρειαστούν επιπλέον μηχανικές κατεργασίες, δεν απασχολεί η στιβαρότητα και το βάρος τους. Έτσι, η πυκνότητα που επιλέχτηκε είναι μεσαίας τιμής, επί τοις εκατό, ώστε να έχουμε δύο ικανοποιητικά συμπαγή αντικείμενα.

### **1<sup>η</sup> δοκιμή τρισδιάστατης εκτύπωσης**

Για την εκτέλεση της πρώτης δοκιμής, επιλέχθηκε να εκτυπωθεί το κουτί του ελεγκτή. Κάνοντας όλες τις απαραίτητες ρυθμίσεις οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω, υλοποιήθηκε τελικά η εκτύπωση και το αποτέλεσμα της φαίνεται στην Εικόνα 4.13. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι χρησιμοποιήθηκε υγρό υποστηρικτικό.



**Εικόνα 4.13** Η πρώτη εκδοχή του κουτιού

Όπως διαπιστώθηκε, το αποτέλεσμα της πρώτης εκτύπωσης δεν είναι το πλέον ικανοποιητικό, καθώς το αντικείμενο δεν βγήκε συμπαγές και φαίνεται από το γεγονός ότι ανάμεσα στα τοιχώματα υπάρχει μεγάλο κενό. Έπειτα, είναι σημαντικό μειονέκτημα και το πάχος των τοιχωμάτων το οποίο είναι αρκετά λεπτό και μπορεί εύκολα να “σπάσει”.

Για το λόγο αυτό κρίθηκε απαραίτητη η υλοποίηση δεύτερης εκτύπωσης, έχοντας υπόψη τις αλλαγές που πρέπει να γίνουν για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν.

### **2<sup>η</sup> δοκιμή τρισδιάστατης εκτύπωσης**

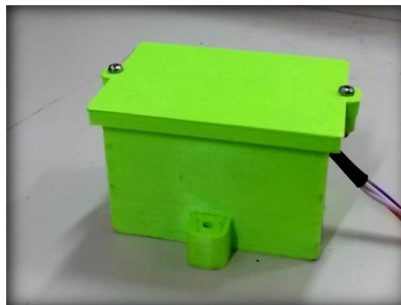
Για την δεύτερη προσπάθεια, πραγματοποιήθηκαν οι απαιτούμενες αλλαγές στο πάχος των τοιχωμάτων αρχικά και στη πυκνότητα της δομής των στρώσεων. Το πάχος αυξήθηκε από 1,5 mm σε 3 mm και η πυκνότητα από τη μέγιστη απόδοση, ρυθμίστηκε σε μεσαία. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε για βοηθητικό υποστηρικτικό το βασικό υλικό της εκτύπωσης. Το αποτέλεσμα της δεύτερης δοκιμής φαίνεται στην Εικόνα 4.14. Αυτή τη φορά εκτυπώσαμε και το καπάκι του κουτιού, το οποίο η εκτύπωση του έγινε ξεχωριστά από το κουτί.



**Εικόνα 4.14** Η δεύτερη εκδοχή του κουτιού μαζί με το καπάκι

Το δεύτερο κουτί είναι εμφανές πιο ικανοποιητικό σε σχέση με το πρώτο. Τα τοιχώματα του κουτιού όπως και του καπακιού είναι αρκετά σκληρά και στιβαρά χωρίς να επιδράσουν στο βάρος. Πλέον ανάμεσα στα τοιχώματα δεν υπάρχει κενό και η ποιότητα της επιφάνειας είναι αρκετά καλή.

Συνεχίζοντας την ίδια διαδικασία με τις ίδιες παραμέτρους που ρυθμίστηκαν, εκτυπώνουμε το κουτί της πυξίδας imu και το καπάκι. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην παρακάτω Εικόνα 4.15. Η εκδοχή αυτή είναι αρκετά ικανοποιητική στα ζητούμενα που επιθυμούσαμε να έχουμε και έτσι η εκτύπωση αυτή είναι και η τελική.

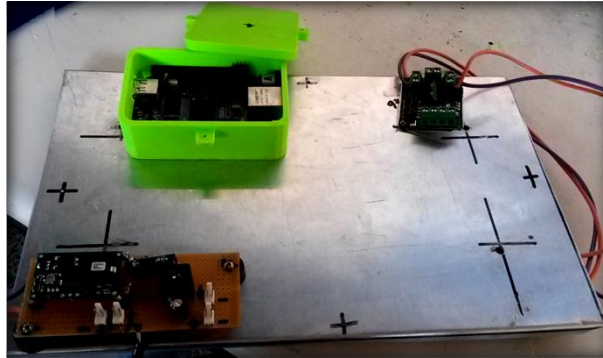


**Εικόνα 4.15** Η εκδοχή του κουτιού της πυξίδας imu μαζί με το καπάκι

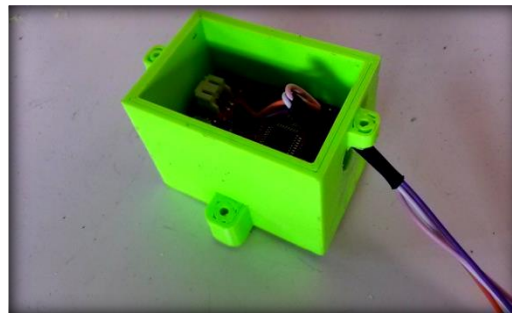
---

## 4.5 Τοποθέτηση των εξαρτημάτων στο ATRV-mini

Σε αυτό το σημείο που έχει ολοκληρωθεί η σχεδίαση και η εκτύπωση των κουτιών μπορούμε να αποθηκεύσουμε τον ελεγκτή και την πυξίδα με ασφάλεια. Στις παρακάτω εικόνες, Εικόνα 4.16 και Εικόνα 4.17, φαίνονται η τελική τοποθέτηση των εξαρτημάτων.



**Εικόνα 4.16** Η αποθήκευση του ελεγκτή μέσα στο κουτί του και η τοποθέτηση του πάνω στην αλουμίνια βάση που κατασκευάστηκε για να τοποθετηθούν τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα



**Εικόνα 4.17** Η αποθήκευση της πυξίδας μέσα στο εκτυπωμένο κουτί

Προκειμένου να επιτύχουμε μία βέλτιστη λειτουργία του ρομποτικού οχήματος, έγινε έρευνα για την καλύτερη τοποθέτηση των αποθηκευμένων εξαρτημάτων πάνω στο όχημα. Αρχικά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο ελεγκτής αποθηκεύτηκε μέσα στο κουτί και έπειτα συναρμολογήθηκε πάνω στη βάση που σχεδιάστηκε ειδικά για τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Έπειτα η βάση αυτή, κρίθηκε απαραίτητο και λειτουργικό, να τοποθετηθεί στο εσωτερικό του οχήματος (Εικόνα 4.18).



**Εικόνα 4.18** Η τελική τοποθέτηση της βάσης με τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα στο εσωτερικό του ρομποτικού οχήματος

Έπειτα, η πυξίδα τοποθετήθηκε εξωτερικά του οχήματος πάνω στο καπάκι, για την καλύτερη εμβέλεια και πλοήγηση του οχήματος (Εικόνα 4.19).



**Εικόνα 4.19** Η τελική τοποθέτηση της πυξίδας πάνω στο καπάκι του ρομποτικού οχήματος

## 4.6 Συμπεράσματα

Σκοπός αυτής της διαδικασίας ήταν να παραχθούν ειδικές, αποθηκευτικές θήκες για την ασφαλή τοποθέτηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, του ηλεκτή και της πυξίδας και μετέπειτα την τοποθέτηση τους στο ρομποτικό όχημα ATRV-mini. Η διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε, η τρισδιάστατη εκτύπωση διεκπεραιώθηκε με επιτυχία αντιμετωπίζοντας όλα τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην πορεία των πειραμάτων.

Από την διαδικασία, συμπεραίνουμε ότι για να επιτύχουμε εκτυπωμένα αντικείμενα σκληρά, θα πρέπει αρχικά η σχεδίαση του πάχους όλων των τοιχωμάτων

---

να είναι το πολύ 4mm και οι διαστάσεις του αντικειμένου να μην ξεπερνάνε τις επιτρεπόμενες, αυτές δηλαδή που μπορεί να κατασκευάσει ο εκτυπωτής. Θα πρέπει να είναι ξεκάθαρο τι προϊόν θέλουμε να πετύχουμε από την αρχή, σε σχέση με την ανθεκτικότητα που επιθυμούμε και να ρυθμιστεί σωστά η χρήση του υποστηρικτικού που θα χρησιμοποιηθεί. Στους πειραματικούς ελέγχους παρατηρήθηκε ότι κάνοντας χρήση υποστηρικτικού βασικού υλικού ή υγρού, το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό. Δηλαδή, παρατηρήθηκε ότι επιλέγοντας τη μεσαία ανάλυση και με χρήση υγρού υποστηρικτικού, το αντικείμενο εκτυπώνεται λεπτό αλλά με καλή ποιότητα επιφάνειας. Αντίθετα, επιλέγοντας πάλι τη μεσαία ανάλυση αλλά κάνοντας χρήση βασικού υλικού για υποστηρικτικό, αυτή τη φορά το αντικείμενο εκτυπώνεται σκληρό και με μέτρια ποιότητα επιφάνειας.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- Συμπεράσματα

Σκοπός της προτεινόμενης εργασίας είναι η ανασχεδίαση των λειτουργικών τμημάτων του ρομποτικού οχήματος ATRV-mini ώστε να επιτευχθεί μία πλήρης αυτόνομη συμπεριφορά. Κύριος στόχος είναι η ασφαλής λειτουργία και πλοήγηση του οχήματος σε ανοιχτούς χώρους με σύνθεση των πληροφοριών που θα αντλεί από τους αισθητήρες (κάμερα, αισθητήρες υπερήχων, GPS, πυξίδα).

Στο πρώτο μέρος της εργασίας, γίνεται έρευνα ανανέωσης των λειτουργικών μερών που απαρτίζουν το όχημα, όπως είναι το οπτικό σύστημα, το σύστημα ασύρματης λειτουργίας κ.ά. και έπειτα γίνεται παραμετρική σχεδίαση αυτών με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Pro engineer 2.0.. Συναρμολογώντας στο τρισδιάστατο χώρο όλα τα επιμέρους τμήματα, επιτυγχάνεται η ανασχεδιασμένη χωροθέτηση υπό κριτήρια και προϋποθέσεις δίνοντας έτσι τη βέλτιστη απόδοση του ρομποτικού οχήματος. Ως αποτέλεσμα, εκλαμβάνεται η νέα, εξελιγμένη μορφή του ATRV-mini, ικανό να κινηθεί αυτόνομα έχοντας ως πλεονεκτήματα την αυξημένη απόδοση, την υπολογιστική ισχύ, το μειωμένο βάρος και τη διάρκεια ζωής των συσκευών. Σχετικά με την διάρκεια ζωής, συμπεράθηκε ότι είναι αβέβαιο αν το όχημα θα λειτουργεί για αρκετές ώρες, ανάλογα με το έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες που θα ισχύουν.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας, έγινε μια μελέτη σχετικά με την τρισδιάστατη εκτύπωση (3D printing), για την δημιουργία και την κατασκευή ειδικών, αποθηκευτικών θηκών για τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα της πυξίδας IMU και του ελεγκτή Beagle Bone Black. Κατά τη διάρκεια της έρευνας κρίθηκε απαραίτητη η αποθήκευση των συγκεκριμένων συσκευών σε κουτιά για την ασφάλεια τους από πιθανούς κραδασμούς κατά τη διάρκεια της κίνησης του οχήματος και εξωτερικούς παράγοντες που θα μείωνε την διάρκεια ζωής τους όπως σκόνη, βροχή κλπ. Η δημιουργία των θηκών διεκπεραιώθηκε με τη διαδικασία της 3D εκτύπωσης, στο χώρο του εργαστηρίου των εργαλειομηχανών του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εκτύπωση πραγματοποιήθηκε σε μεσαία ανάλυση για την αποφυγή του χρόνου, του κόστους και της σπατάλης του υλικού και ως συμπέρασμα, εκλάβαμε ότι η στιβαρότητα και η ανθεκτικότητα του εκτυπωμένου αντικειμένου εξαρτώνται από την ανάλυση της εκτύπωσης, το πάχος και τις διαστάσεις του, όπως επίσης και από την χρήση υποστηρικτικού υλικού με βάση το βασικό υλικό ή το υγρό.

Ολοκληρώνοντας την μελέτη της εργασίας, καταλήγουμε στο γεγονός ότι το ρομποτικό όχημα ATRV-mini ανανεώθηκε πλήρως και καθίστανται ικανό να υποστηρίξει λειτουργίες οι οποίες ήταν στις προδιαγραφές του, σχεδιασμένο από την εταιρία. Η έρευνα ολοκληρώθηκε σε θεωρητικό επίπεδο, γι' αυτό κρίνεται αναγκαίο να ελεγχθούν όλες οι προτεινόμενες αλλαγές σε πρακτικό επίπεδο στο μέλλον ώστε να διαπιστωθούν οι πιθανές αποκλίσεις της προτεινόμενης λύσης. Μεγάλο ενδιαφέρον για μελέτη στο μέλλον, είναι η επίτευξη τροφοδοσίας του οχήματος από φωτοβολταϊκά πάνελ τα οποία θα στηρίζονται σε περιστρεφόμενη βάση, η οποία θα κατευθύνεται σύμφωνα με τη πορεία κίνησης του ηλίου.



---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- Βιβλιογραφία

- [1] *Mobile Robotics: An Information Space Approach*, Steven M. LaValle, University of Illinois
- [2] *Overview of the Mobile Detection Assessment and Response System*, R.S. Inderieden, H.R. Everett, T.A. Heath-Pastore, R.P. Smurlo, San Diego
- [3] (Ηλεκτρονική πηγή) *Autonomous robot*, From Wikipedia, the free encyclopedia, διαθέσιμο: [https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous\\_robot](https://en.wikipedia.org/wiki/Autonomous_robot)
- [4] *Pioneer 3 Operations Manual*, Mobile Robots Inc
- [5] (Ηλεκτρονική πηγή) *Adept MobileRobots*, Website, διαθέσιμο: [http://www.mobilerobots.com/Mobile\\_Robots.aspx](http://www.mobilerobots.com/Mobile_Robots.aspx)
- [6] *Fuzzy Logic Based Autonomous Skid Steering Vehicle Navigation*, L. Doitsidis, K. P. Valavanis, N. C. Tsourveloudis Technical University of Crete
- [7] *Σύνθεση Πληροφοριών Αισθητήρων για την Ασφαλή Πλοήγηση Εντροχου Ρομποτικού Οχήματος*, Μεταπτυχιακή εργασία Αθανάσιου Τσαλατσάνη, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [8] *Οπτικό Σύστημα του ATRV-mini, λειτουργικότητα και εφαρμογές*, διπλωματική εργασία Αθανάσιου Τσαλατσάνη, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [9] *ATRV-mini All-terrain Mobile Robot User's Guide*, IS Robotics
- [10] *Experimental Comparison of Skid Steering Vs. Explicit Steering for a Wheeled Mobile Robot*, Benjamin Shamah
- [11] *Σχεδίαση, Μελέτη και Κατασκευή του ρομποτικού οχήματος ΑΛΕ*, Μεταπτυχιακή εργασία Σάββα Πιπερίδη, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [12] *Design and Power Management of a Solar-Powered "Cool Robot" for Polar Instrument Networks*, Laura E.Ray, James H.Lever, Alexander D. Streeter and Alexander D. Price
- [13] *Energy-efficient Path Planning for Solar-powered Mobile Robots*, Patrick A.Plonski, Pratap Tokekar, Volkan Isler
- [14] *Direction-dependent optimal path planning for autonomous vehicles*, Alex Shum, Kirsten Morris, Amir Khajepour
- [15] (Ηλεκτρονική πηγή) *Optimizing the Solar Thermal Panel position*, CERNUNNOS Website, διαθέσιμο: <http://cernunnos-homes.co.uk/technology/solar/optimising-the-solar-panel-orientation/>
- [16] (Ηλεκτρονική πηγή) *Τρισδιάστατος Εκτυπωτής (3D Printer)*, Athanasios Anastasiou, Charalambos Tsirmpas, Alexandros Rompas, Kostas Giokas, Dimitris Koutsouris, National Technical University of Athens, Biomedical Engineering Laboratory, Athens, Greece, διαθέσιμο: [http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=3d\\_printer%3A3d\\_printer](http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=3d_printer%3A3d_printer)



---

[17] (Ηλεκτρονική πηγή) *SOLIDWORKS Modeling for 3D Printing*, διαθέσιμο: [http://blog.gxsc.com/graphics\\_systems\\_solidnot/2015/09/solidworks-modeling-for-3d-printing.html](http://blog.gxsc.com/graphics_systems_solidnot/2015/09/solidworks-modeling-for-3d-printing.html)

[18] Τρισδιάστατοι εκτυπωτές και εφαρμογές τους στην Βιοϊατρική τεχνολογία, Διπλωματική εργασία Αναστασοπούλου Αθανασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

[19] (Ηλεκτρονική πηγή) *What 3D printing is*, διαθέσιμο: <http://3dprinting.com/what-is-3d-printing/#processesandtechnologies>

[20] (Ηλεκτρονική πηγή) ANIMA Company Website, διαθέσιμο: <http://www.anima.gr/products/category/3d-printing/desktop-3d-printers/cube3>