

## CFP-18-Pegasus

Λευτέρης Σπανός

ROBOTONIO, Ελλάδα, [eleftheriospa@gmail.com](mailto:eleftheriospa@gmail.com)

Σωκράτης Σπανός

ROBOTONIO, Ελλάδα, [sokratismspanos@gmail.com](mailto:sokratismspanos@gmail.com)

Γιάννης Παπαδόπουλος

ROBOTONIO, Ελλάδα, [johnrapad2002@yahoo.gr](mailto:johnrapad2002@yahoo.gr)

Νίκος Μαυρομμάτης

ROBOTONIO, Ελλάδα, [n1170220@gmail.com](mailto:n1170220@gmail.com)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Η ομάδα Pegasus παρουσιάζει την κατασκευή ενός μικρού δορυφόρου σε μέγεθος κουτιού αναψυκτικού και ενός σταθμού βάσης για την υποστήριξή του, στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Διαγωνισμού CanSat. Η βασική ιδέα της κατασκευής είναι η αποστολή του δορυφόρου σε ύψος 1.000 περίπου μέτρων από την επιφάνεια της Γης και η αποδέσμευσή του, ώστε κατά την κάθοδο το σύστημα να είναι σε θέση να εκτελεί τις εξής λειτουργίες:

- Κατά τη διάρκεια της πτώσης ανά ένα δευτερόλεπτο, το CanSat να λαμβάνει μετρήσεις για την βαρομετρική πίεση, την θερμοκρασία, το πλήθος των διαθέσιμων δορυφόρων, το υψόμετρο και τις γεωγραφικές συντεταγμένες στο πλαίσιο της πρωτεύουσας αποστολής. Με τις ληφθείσες μετρήσεις της βαρομετρικής πίεσης υπολογίζουμε το απόλυτο υψόμετρο ενός σημείου, δηλαδή την κατακόρυφη απόστασή του από τη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας. Με αυτό τον τρόπο και σε συνδυασμό με τις γεωγραφικές συντεταγμένες που παρέχει το GPS γνωρίζουμε το ακριβές στίγμα του μικρού δορυφόρου.
- Για τη δευτερεύουσα αποστολή έχουμε επιλέξει την ανίχνευση συγκεκριμένων ατμοσφαιρικών αερίων κατά την κάθοδο του CanSat, όπως το διοξείδιο και το μονοξείδιο του άνθρακα και την αμμωνία. Η επιλογή της συγκεκριμένης δευτερεύουσας αποστολής έγινε για δύο λόγους. Πρώτον με την ενασχόλησή μας με τους αισθητήρες αερίων αποκομίσαμε πολλά οφέλη τόσο στην εκμάθηση της διαχείρισής τους και της λειτουργίας τους όσο και στην αξιολόγηση των μετρήσεών τους. Δεύτερον, η κοινή διαστημική αποστολή των E.S.A, N.A.S.A, A.S.I, Cassini – Huygens για τη μελέτη του Κρόνου αποτέλεσε την έμπνευση. Το πέρασμα του Cassini από τον φυσικό δορυφόρο του Κρόνου, Εγκέλαδο, ανέδειξε δομές εκτόξευσης υλικού προς το διάστημα από το εσωτερικό του δορυφόρου στη νότια πολική περιοχή, κάτι που εξήρε την περιέργειά μας για περαιτέρω μελέτη.
- Οι παραπάνω μετρήσεις θα καταγράφονται σε μονάδα μνήμης ενσωματωμένης στο CanSat (Smart Disk) και θα αποστέλλονται με ραδιοσυχνότητες στον σταθμό βάσης, όπου θα προβάλλονται και θα καταγράφονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.
- Η πτώση του CanSat θα ελέγχεται από αλεξίπτωτο τύπου σταυρού με κατάλληλες διαστάσεις ώστε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του όγκου και του βάρους του δορυφόρου να έχουμε ελεγχόμενη πτώση με ταχύτητα  $U = 10 \frac{m}{s}$ .

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το CanSat αποτελεί την προσομοίωση μιας δορυφορικής αποστολής στην οποία ο δορυφόρος πρέπει να χωράει σε έναν κύλινδρο με τις ακόλουθες διαστάσεις: ύψος 115 mm και διάμετρος 66 mm. Αυτό επιβάλλει συγκεκριμένους περιορισμούς στο σχεδιασμό των ηλεκτρονικών και δομικών στοιχείων. Η ομάδα Pegasus έχει επιλέξει την κατασκευή ενός δορυφόρου που ουσιαστικά θα πέσει μέσα στους κρυοπίδακες της νότιας πολικής περιοχής του Εγκέλαδου με σκοπό τις επιτόπιες (in situ) μετρήσεις της σύστασης και της ποσοστιαίας μεταβολής των στοιχείων που από το εσωτερικό του φυσικού δορυφόρου εκτοξεύονται στο διάστημα.

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ PROJECT

Το CanSat εξωτερικά αποτελείται από αυτοσχέδιο περίβλημα 3d printed και χρησιμοποιήθηκε filament με πρόσμιξη πάνω από 20% ανθρακονήματος. Ο σκοπός του σχεδιασμού κάποιων οπών ήταν για τη σύνδεση καλωδίων για το arduino ή για να βγάλουμε την κάρτα SD με μεγαλύτερη ευκολία και ασφάλεια. Επίσης, στο ανώτερο εξωτερικό περίβλημα υπάρχουν κάποιες οριζόντιες οπές ώστε να περνάει ο αέρας για να μην αλλοιώνονται οι μετρήσεις μας.



Εικόνα 1: το περίβλημα του CanSat από ανθρακονήμα

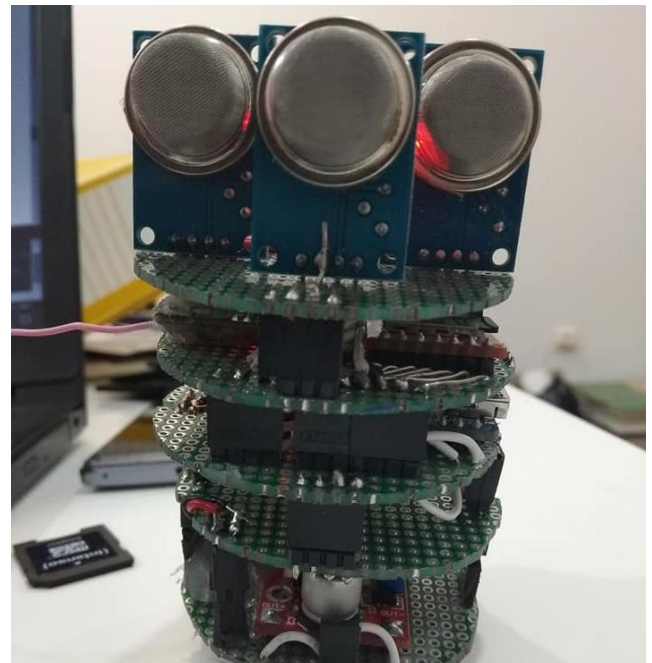
Το καπάκι ενώνεται με το υπόλοιπο CanSat μέσω σπειρωμάτων που έχουμε δημιουργήσει και το οποίο είναι από υλικό PLA. Κρίκος βαρέως τύπου είναι βιδωμένος στο καπάκι όπου βρίσκεται δεμένο το σύστημα ανάκτησης, δηλαδή το αλεξίπτωτο. Επιπλέον υπάρχει μία τρύπα ώστε να περνάει το καλώδιο της κεραίας του GPS.

### 2.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Οι πλακέτες είναι από plexi glass και πάνω σε αυτές στερεώσαμε τους αισθητήρες, το arduino και όλα τα module που χρησιμοποιήθηκαν. Για τη στήριξή τους χρησιμοποιήθηκε ειδική κόλληση για ηλεκτρονικές πλακέτες 1,0 mm πάχους και με περιεκτικότητα 1,8% σε flux.

### 2.2. ΔΟΜΗ

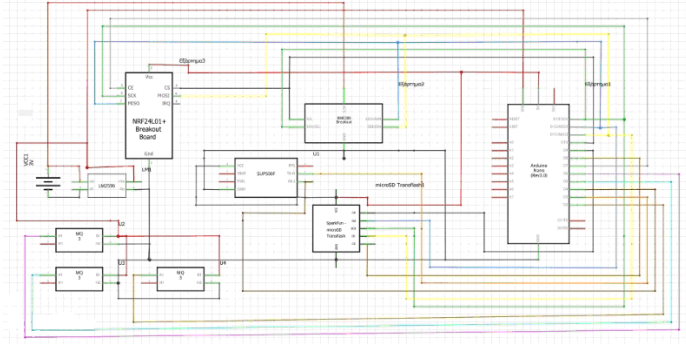
Η δομή που επιλέξαμε για το CanSat είναι η οριζόντια κατανομή, καθώς μας παρέχει μία ευκολία κινήσεων σε περίπτωση αναγκαίας άμεσης πρόσβασης στα εξαρτήματα και σύμφωνα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του κάθε αισθητήρα.



Εικόνα 2: η οριζόντια κατανομή των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων

## 2.3. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΜΕΡΗ

Παραθέτουμε το συνολικό σχεδιάγραμμα των ηλεκτρονικών μερών.



Εικόνα 3: το ηλεκτρονικό σχέδιο των μερών του δορυφόρου

## 2.4. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Για την υποστήριξη του συστήματος αναπτύχθηκαν διαφορετικά προγράμματα με βασικό κορμό το πρόγραμμα ελέγχου του μικροελεγκτή εντός του δορυφόρου. Ο μικροελεγκτής είναι τύπου Arduino, οπότε για την ανάπτυξη του κώδικα χρησιμοποιήθηκε το Arduino IDE με τη γλώσσα προγραμματισμού processing. Η ίδια διαμόρφωση υπάρχει και στο σταθμό βάσης, οπότε και εκεί χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια εργαλεία.

### 2.4.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ CanSat

Το λογισμικό του CanSat θα διαχειρίζεται τις μετρήσεις των αισθητήρων, την επικοινωνία με το GPS, τα αρχεία στην τοπική μονάδα αποθήκευσης και την επικοινωνία με το σταθμό βάσης μέσω της RF μονάδας. Οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται είναι:

- **SPI:** για την υποστήριξη του πρωτοκόλλου SPI που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του αισθητήρα BME 280 (πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας), του SD module και RF module.
- **SD:** για την υποστήριξη του Smart Disk Module και τη διαχείριση αρχείων σε αυτό.
- **TinyGPS:** για την υποστήριξη του GPS module.

- **SoftwareSerial:** για την υποστήριξη της software σειριακής επικοινωνίας για το GPS.
- **Cactus\_io\_BME280\_SPI:** για την υποστήριξη του αισθητήρα βαρομετρικής πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας.
- **RF24:** για την υποστήριξη της τηλεμετρίας

Κατά την τρέχουσα έκδοση λογισμικού, για τη διαχείριση κάθε εγγραφής στο αρχείο και αποστολής στη βάση έχει κατασκευαστεί μία δομή (dataStruct), στην οποία αποθηκεύονται όλες οι ζητούμενες μετρήσεις. Μία μεταβλητή τύπου dataStruct ανανεώνει τις τιμές της ανά ένα δευτερόλεπτο. Οι τιμές της μεταβλητής αυτής ταυτόχρονα καταγράφονται στο αρχείο της SD και αποστέλλεται με ραδιοσυχνότητες (2,4 GHz) στο σταθμό βάσης. Το μέγεθος της κάθε εγγραφής δεν ξεπέρασε τα 64 bytes, οπότε για 10 λεπτών συνεχόμενη λειτουργία του CanSat, το αρχείο καταγραφής δεν ξεπέρασε τα 80 KB.

### 2.4.2. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟΥ ΒΑΣΗΣ

Το λογισμικό της βάσης δέχεται μέσω ραδιοσυχνοτήτων τις μετρήσεις των αισθητήρων και τις αποθηκεύει σε μία μονάδα αποθήκευσης τύπου Smart Disk και με σειριακή επικοινωνία εμφανίζει τις εγγραφές στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Όταν ενεργοποιείται το πρόγραμμα, περιμένει τη λήψη δεδομένων από το συγκεκριμένο pipe που ενεργοποιείται και όταν λαμβάνει δεδομένα τα μετατρέπει σε μία συγκεκριμένη δομή δεδομένων με την οποία στέλνονται. Οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται είναι:

- **SPI:** για την υποστήριξη του πρωτοκόλλου SPI που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του αισθητήρα BME 280 (πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας), του SD module και RF module.
- **SD:** για την υποστήριξη του Smart Disk Module και τη διαχείριση αρχείων σε αυτό.
- **RF24:** για την υποστήριξη της τηλεμετρίας

### 3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ

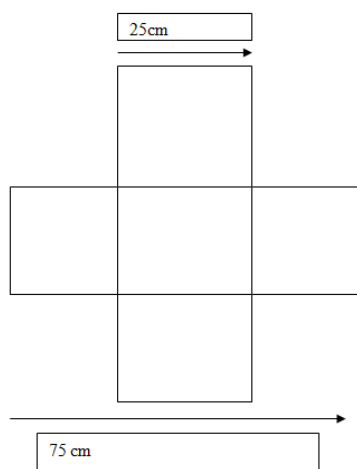


Εικόνα 4: το αλεξίπτωτο

Η ταχύτητα πτώσης του δορυφόρου ελέγχεται από αλεξίπτωτο τύπου σταυρός και οι διαστάσεις του προκύπτουν από τον ακόλουθο

υπολογιστικό τύπο:  $A = \frac{2mg}{C_d \rho U^2} [1]$  όπου

- A: επιφάνεια συστήματος ανάκτησης σε  $\text{cm}^2$
  - m: μάζα του CanSat (=340 g)
  - g: επιτάχυνση της βαρύτητας (=9,81  $\text{m/s}^2$ )
  - $\rho$ : πυκνότητα αέρα σε ύψος ανάπτυξης (=1,225  $\text{kg/m}^3$ )
  - $C_d$ : συντελεστής έλξης (= 0,75)
  - U: επιθυμητή ταχύτητα καθόδου (= 8 – 10  $\text{m/s}$ )
- Τελικά η κάθε πλευρά του αλεξίπτωτου έχει τις ακόλουθες διαστάσεις:



Εικόνα 5: το σχέδιο του αλεξίπτωτου

### 4. ΚΕΡΑΙΑ

Η αυτοσχέδια και χειροποίητη κεραία έχει κατασκευαστεί από την ομάδα Pegasus και είναι τύπου Yagi. Ακολουθεί με χειρισμό από μέλος της ομάδας τον μικρό δορυφόρο κατά την κάθοδο και λαμβάνει σήματα σε συχνότητα 2,4 GHz, αποστέλλοντας τις μετρήσεις στον μικροελεγκτή. Στην συνέχεια στέλνει τις μετρήσεις στον υπολογιστή, οι οποίες αποθηκεύονται σε αρχείο τύπου cvs.

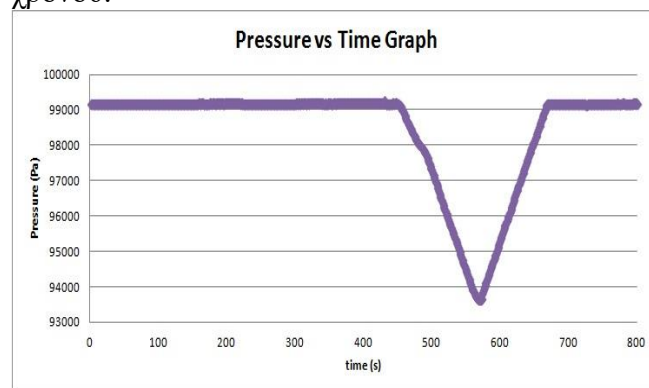
### 5. ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 5.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ ΑΠΟΣΤΟΛΗ

Κατά την κάθοδο του μικρού δορυφόρου από τα 700 μέτρα περίπου οι μετρήσεις που λαμβάνουμε από τους αισθητήρες αφορούν στη θερμοκρασία, στη βαρομετρική πίεση και στο υψόμετρο. Επιπλέον υπολογίζεται το υψόμετρο από την βαρομετρική πίεση μέσω της ακόλουθης υπολογιστικής σχέσης:

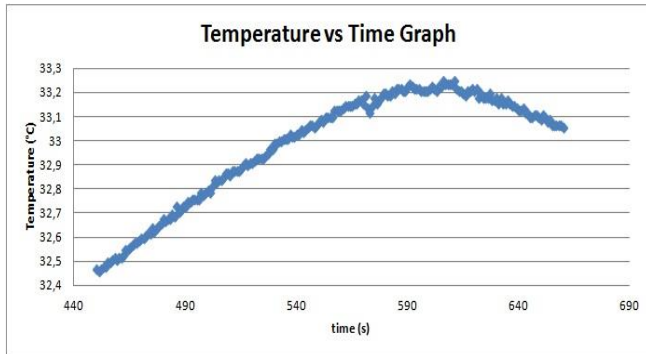
$$\text{Υψόμετρο} = 44330 * [1 - (\frac{P}{P_0})^{1/5,255}] [2] \text{ όπου}$$

P: η μετρούμενη κάθε φορά πίεση σε Pa, και  
 $P_0$ : η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης στη μέση στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας σε hPa  
 Η ανάλυση των μετρήσεων για την βαρομετρική πίεση κατά την πτήση του μικρού δορυφόρου μας παρέχουν το ακόλουθο διάγραμμα πίεσης – χρόνου.



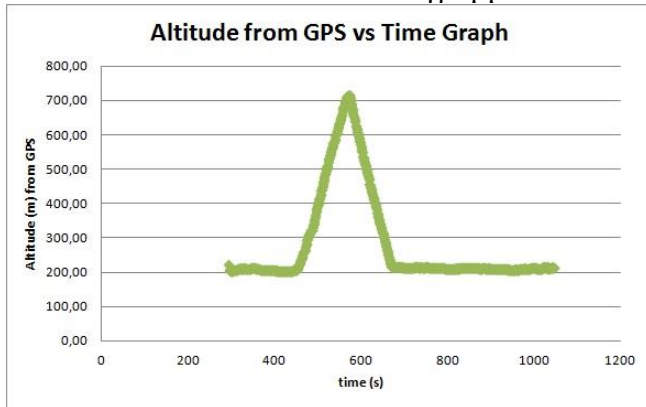
Γράφημα1: Βαρομετρική πίεση (Pa) – χρόνος (s)

Το αντίστοιχο διάγραμμα της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια τόσο της ανοδικής όσο και της καθοδικής πορείας του μικρού δορυφόρου, στο οποίο αποτυπώνονται οι θερμοκρασίες που επικρατούσαν κατά τη διεξαγωγή του εγχειρήματος, είναι το ακόλουθο:



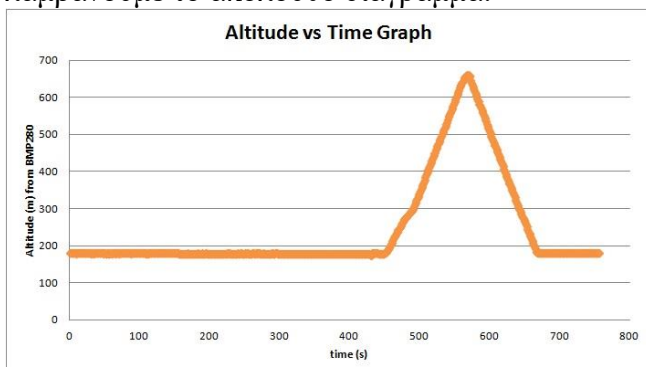
Γράφημα 2: Θερμοκρασία(°C) - χρόνος πτήσης(s)

Ακολουθως λαμβάνουμε απευθείας από το GPS τις μετρήσεις για το υψόμετρο οπότε κι αυτό αποτυπώνεται στο ακόλουθο διάγραμμα:



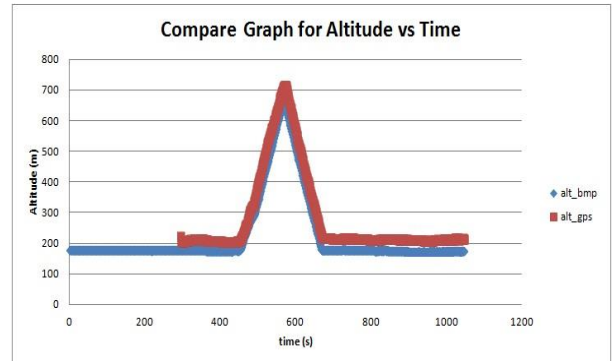
Γράφημα 3: Υψόμετρο από GPS (m) – χρόνος (s)

Έχουμε ήδη αναφέρει ότι το υψόμετρο μπορούμε να το εξάγουμε μέσω της σχέσης [2] και από τον αισθητήρα της βαρομετρικής πίεσης, οπότε και λαμβάνουμε το ακόλουθο διάγραμμα:



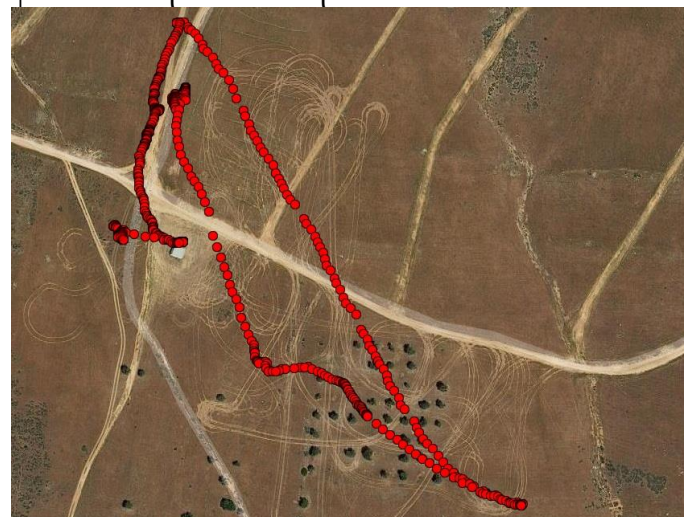
Γράφημα 4: Υψόμετρο (m) – χρόνος (s)

Το επόμενο στάδιο είναι η σύγκριση του απόλυτου υψόμετρου από τους δύο προαναφερθέντες τρόπους λήψης των μετρήσεων, οπότε κι έχουμε το συγκεκριμένο συγκριτικό διάγραμμα:



Γράφημα 5: Συγκριτικό διάγραμμα υψόμετρου

Από το GPS λαμβάνουμε και τα δεδομένα πλοήγησης τόσο για το γεωγραφικό μήκος όσο και για το γεωγραφικό πλάτος αλλά και για το πλήθος των δορυφόρων. Αποτύπωση της θέσης του δορυφόρου κατά τη διεξαγωγή της πτήσης φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



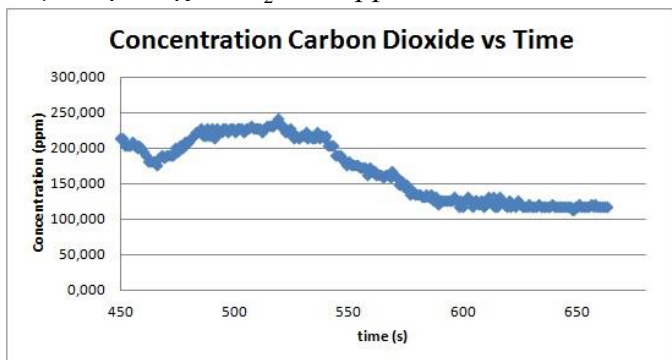
Εικόνα 6: Αποτύπωση του γεωγραφικού μήκους και πλάτους

## 5.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΑ ΑΠΟΣΤΟΛΗ

Ομοίως κατά την κάθοδο του δορυφόρου από το ύψος των 700 μέτρων περίπου λαμβάνουμε τιμές από τους αισθητήρες συγκεκριμένων αερίων που αφορούν σε mV. Εν συνεχεία και σύμφωνα με τη διαδικασία αναγωγής των τιμών αυτών από την αξιοποίηση των διαγραμμάτων για την ευαισθησία του κάθε αισθητήρα υπολογίζονται τα μέρη ανά εκατομμυριοστό (ppm) που αντιστοιχούν σε ποσοστιαία συγκέντρωση του αερίου.

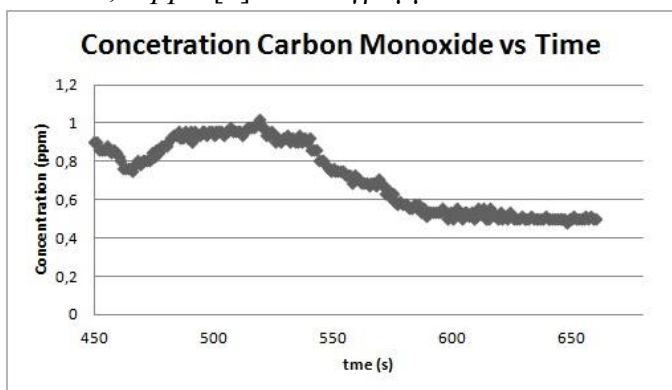
Συγκεκριμένα η διαδικασία αρχικοποίησης τιμών έγινε στο εργαστήριό μας, Robotonio.gr, οπότε οι αισθητήρες είναι έτοιμοι για ανίχνευση σε εξωτερικό περιβάλλον.

Για το διοξείδιο του άνθρακα λαμβάνουμε το ακόλουθο διάγραμμα της ανιχνεύσιμης συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια της πτήσης του δορυφόρου και υπολογίζουμε μία μέση τιμή συγκέντρωσης,  $\bar{C}_{CO_2} = 160 \text{ ppm}$  [3]



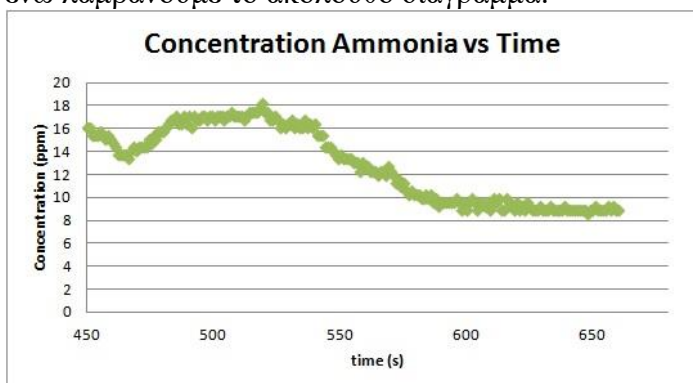
Γράφημα 6: Συγκέντρωση CO<sub>2</sub>(ppm) – χρόνος(s)

Για τη συγκέντρωση του μονοξειδίου του άνθρακα έχουμε μέση τιμή συγκέντρωσης  $\bar{C}_{CO} = 0,67 \text{ ppm}$  [4] και διάγραμμα:



Γράφημα 7: Συγκέντρωση CO(ppm) – χρόνος(s)

Τέλος για τη συγκέντρωση της αμμωνίας έχουμε μέση τιμή συγκέντρωσης  $\bar{C}_{NH_3} = 12,02 \text{ ppm}$  [5] ενώ λαμβάνουμε το ακόλουθο διάγραμμα:



Γράφημα 8: Συγκέντρωση NH<sub>3</sub>(ppm) – χρόνος(s)

Οι υπολογιζόμενες συγκεντρώσεις των αερίων σε μέρη ανά εκατομμύριο και η μέση τιμή τους, [3], [4], [5] βρίσκονται στα προβλεπόμενα όρια τιμών για τη γήινη ατμόσφαιρα.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η επιτυχής μεταφορά δεδομένων μεταξύ των δύο LoRa module (ενός στον σταθμό βάσης και ενός στο εσωτερικό του CanSat) είναι ο καίριος λόγος ώστε να χαρακτηρίσουμε την αποστολή μας επιτυχή. Συγκεκριμένα είχαμε αξιόπιστη και σωστή καταγραφή μετρήσεων στην κάρτα μνήμης SD χωρίς καμία απώλεια δειγμάτων δεδομένων τόσο από τον αισθητήρα πίεσης και θερμοκρασίας όσο και από το GPS module που παρείχε μετρήσεις γεωγραφικών συντεταγμένων και αριθμού δορυφόρων, ζητούμενα της πρωτεύουσας αποστολής. Οι αισθητήρες αερίων που χρησιμοποιήθηκαν στη δευτερεύουσα αποστολή, αρχικά λειτούργησαν με κάποιες αστάθειες, κάτι που αποτυπώνεται στις μικρές αποκλίσεις των τιμών που παρέχουν. Αυτό δικαιολογείται στο βαθμό που παρουσιάστηκε καθώς οι αισθητήρες αερίων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της πίεσης. Το πείραμα σχεδιάστηκε ώστε να έχουμε πτώση και κανονικά «βουτιά» στους κρυοπίδακες του Εγκέλαδου. Καθώς θα έχουμε πτωτική πορεία μέσα στις συγκεκριμένες ενεργές δομές της νότιας πολικής περιοχής του φυσικού δορυφόρου του Κρόνου και σύμφωνα με τα επικρατέστερα σενάρια θα είχαμε αύξηση της συγκέντρωσης με το χρόνο για τα επιλεγόμενα αέρια, κάτι που θα ενίσχυε τη θεωρία ανάπτυξης μικροβιακής ζωής στον υποκείμενο ωκεανό του Εγκέλαδου.