



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ
ΟΧΗΜΑΤΩΝ (DRONES)**



Μωρόπουλος Νίκος

A.M:2009010037

Επίβλεψη εργασίας: Παπαευθυμίου Σπύρος

Σεπτέμβριος 2017, Χανιά

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	4
Κεφάλαιο 1: Εντοπισμός αέριων ρύπων.....	5
1.1 Πλεονεκτήματα και δυσκολίες στη χρήση drones.....	5
1.2 Κατηγορίες drones.....	7
1.3 Μέθοδοι και μοντέλα μέτρησης της ποιότητας του αέρα.....	10
1.3.1 Παράδειγμα 1.....	10
1.3.2 Παράδειγμα 2.....	16
1.3.3 Παράδειγμα 3.....	21
1.3.4 Παράδειγμα 4.....	36
1.3.5 Παράδειγμα 5.....	37
1.3.6 Παράδειγμα 6.....	39
1.3.7 Παράδειγμα 7.....	42
1.3.8 Παράδειγμα 8.....	56
Κεφάλαιο 2: Περιπτώσεις χωρών.....	62
2.1 Κίνα.....	62
2.2 Δανία.....	64
2.3 ΗΠΑ.....	68
Κεφάλαιο 3: Φωτογραμμετρία.....	70
3.1 Ορισμός και λειτουργία.....	70
3.2. Πλεονεκτήματα.....	71
3.3 Χρήσεις.....	71
3.4 Κάμερες.....	74

3.5 Βέλτιστη εφαρμογή.....	74
3.6 Μοντέλα.....	75
Κεφάλαιο 4: Άλλες χρήσεις.....	79
Συμπεράσματα.....	88
Βιβλιογραφία-Αναφορές.....	89

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζονται μέθοδοι και συγκεκριμένα μοντέλα μη επανδρωμένων οχημάτων (drones), με τα επιμέρους εξαρτήματά τους και τον τρόπο λειτουργίας τους, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό, τη μέτρηση και την απεικόνιση αέριων ρύπων. Επιπλέον, δίνονται παραδείγματα συγκεκριμένων χωρών που έχουν ήδη ξεκινήσει να δοκιμάζουν τη χρήση drones για την αναγνώριση και αντιμετώπιση ορισμένων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Γίνεται αναφορά και σε άλλα μεγέθη που μπορούν να μετρηθούν με τη χρήση drones (θερμοκρασία, ακτινοβολία, υγρασία). Ακόμη, παρουσιάζονται η μέθοδος της φωτογραμμετρίας μέσω μη επανδρωμένων οχημάτων σε διάφορους τομείς, όπως για παράδειγμα η δημιουργία χαρτών τριών διαστάσεων (3D mapping), συγκεκριμένα μοντέλα drones και συγκεκριμένες πρακτικές για τον σκοπό αυτό.

ABSTRACT

This dissertation presents methods and specific models of unmanned aerial vehicles (drones), which can be used for the detection, measurement and display of gaseous pollutants, as well as their individual components and their operating mode. In addition, examples of specific countries that have already begun to test the use of drones in order to identify and cope with certain environmental problems are given. Reference is also made to other sizes that can be measured using drones (temperature, radiation, humidity). Furthermore, the method of photogrammetry through unmanned aerial vehicles in various fields, such as the creation of 3D mapping, specific drone models and practices for this purpose are presented.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εντοπισμός αέριων ρύπων

Το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης είναι γνωστό πως γίνεται όλο και μεγαλύτερο με το πέρασμα των χρόνων. Οι τομείς των οποίων οι διεργασίες συμβάλλουν στην μεγέθυνση αυτού του προβλήματος είναι πολλοί, όπως για παράδειγμα η βιομηχανία, οι μεταφορές κ.ά. Η ύπαρξη αέριων ρύπων, ειδικά σε μεγάλες ποσότητες, είναι ιδιαίτερος επιβλαβής τόσο για την ανθρώπινη υγεία, όσο και για το επίπεδο διαβίωσης. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ίσως το πιο γνωστό αέριο που συμβάλλει στην ύπαρξη και την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ωστόσο δεν είναι το μοναδικό. Υπάρχουν και αρκετά οξείδια που αποτελούν σημαντικό κομμάτι του προβλήματος, όπως αυτά του αζώτου και του θείου. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος είναι αναγκαία η μεθοδική και αποτελεσματική καταγραφή του και προς αυτή την κατεύθυνση υπάρχουν κάποιες καινοτομίες τα τελευταία χρόνια, καθώς παραδοσιακά η καταγραφή της ποιότητας του αέρα γινόταν αποκλειστικά με επίγειους σταθμούς, ενώ πιο πρόσφατα άρχισαν να χρησιμοποιούνται και οι δορυφόροι. Ωστόσο, η γρήγορη και ολοκληρωμένη συλλογή δεδομένων κοντά στις πηγές ρύπανσης δεν είναι πάντα εφικτή με τις μέχρι πρότινος εφαρμοζόμενες μεθόδους, εξαιτίας της πολυπλοκότητας των τοποθεσιών, της πιθανής μετακίνησης της πηγής εκπομπής ή φυσικών εμποδίων. Μία από τις προαναφερθείσες καινοτομίες είναι η χρησιμοποίηση μη επανδρωμένων οχημάτων (drones), των οποίων η αξιοποίηση για τον συγκεκριμένο σκοπό είναι μία από τις πιο ωφέλιμες λειτουργίες που μπορούν να παρέχουν.

1.1 Πλεονεκτήματα και δυσκολίες στη χρήση drones

Ο εντοπισμός των αέριων ρύπων που προκύπτουν ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων μπορεί να γίνει ευκολότερα και αποτελεσματικότερα μέσω της χρήσης μη επανδρωμένων οχημάτων. Υπάρχουν σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρει αυτή τους η χρήση, όπως:

- Το γεγονός ότι τα drones μπορούν εύκολα να αντικαταστήσουν τις τεχνικές δειγματοληψίας που χρησιμοποιούνταν μέχρι πρόσφατα.
- Η δυνατότητά τους να παρέχουν μια πλατφόρμα τριών διαστάσεων, η οποία προσφέρει σταθερότητα και ακρίβεια για τη συλλογή δειγμάτων.
- Ο επαρκής χρόνος που μπορούν να προσφέρουν για τη συλλογή των δεδομένων, καθώς μπορούν να σταλούν από τον χειριστή στο επιθυμητό μέρος και να παραμείνουν για όσο χρόνο κρίνει αυτός ότι είναι απαραίτητο.
- Η δυνατότητά τους να παρέχουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα και πληροφορίες.
- Η ευελιξία που προσφέρουν στον χειριστή να αναπτύξει τις δικές του μεθόδους δειγματοληψίας ή να προσαρμόσει τις υπάρχουσες στις δικές του ανάγκες.
- Το μικρό τους βάρος και το γεγονός ότι μπορούν εύκολα να πετάξουν από μέρος σε μέρος
- Το γεγονός ότι μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα και γρήγορα όποτε χρειάζεται και να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες προδιαγραφές που καθορίζονται από τις παραγγελίες.
- Η ικανότητα τους να επιστρέψουν στο σημείο από το οποίο ξεκίνησαν να πετάνε σε περίπτωση που παρουσιαστεί κάποια βλάβη κατά την πτήση.
- Το σχετικά χαμηλό κόστος τόσο των ίδιων, όσο και των αισθητήρων που τοποθετούνται σε αυτά. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που θέλουμε να ελέγξουμε την αέρια ρύπανση που προκαλεί ένα πλοίο κατά την εκτέλεση του δρομολογίου του, οικονομικά μας συμφέρει να τοποθετήσουμε έναν αισθητήρα σε ένα drone και να το στείλουμε για καταγραφή, παρά να χρησιμοποιήσουμε έναν αισθητήρα ο οποίος θα είναι τοποθετημένος στη στεριά και άρα αρκετά μακριά από το πλοίο. Έτσι, θα έχουμε επίσης και μια πιο ακριβή σύνδεση των ρύπων με το πλοίο που τους παράγει, χωρίς να ελλοχεύει ο κίνδυνος να αντιστοιχηθούν οι αέριοι ρύποι σε διαφορετικό πλοίο από αυτό από το οποίο προέρχονται.
- Η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους σε συνδυασμό με την ικανότητα καταγραφής εικόνων από μεγάλη απόσταση. Και αυτό διότι οι εικόνες που παρέχονται από δορυφόρους μπορεί να αποκρύπτονται εξαιτίας της παρουσίας

σύννεφων, ενώ τα drones παραμένοντας κάτω από τα σύννεφα είναι σε θέση να μας δώσουν πιο καθαρές και λεπτομερείς φωτογραφίες.

Ωστόσο, όπως είναι φυσικό υπάρχουν και κάποιες δυσκολίες που πρέπει να ξεπεραστούν πριν η χρήση των drones για τέτοιους σκοπούς αρχίσει να γίνεται σε ευρεία κλίμακα. Μία από τις σημαντικότερες είναι οι αντιλήψεις που έχουν αρκετοί άνθρωποι, οι οποίοι πιστεύουν πως τα drones είναι κίνδυνος για την ιδιωτική τους ζωή. Επίσης, θεωρούν πως η διαδεδομένη χρησιμοποίηση μη επανδρωμένων οχημάτων θα διευκολύνει τρομοκράτες να πετύχουν τους σκοπούς τους, χωρίς καμία αντικειμενική δυσκολία. Ειδικότερα στις ΗΠΑ σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα τα πράγματα δυσκολεύουν, από τη στιγμή που η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (Federal Aviation Administration-FAA) δεν έχει ακόμη επιτρέψει τη χρησιμοποίηση μη επανδρωμένων οχημάτων για μεταφορικούς σκοπούς. Ωστόσο, τελευταία γίνονται ενέργειες προς την αντίθετη κατεύθυνση, με ιδιαίτερη όμως προσοχή, καθώς εξετάζονται λεπτομερώς θέματα όπως η ενδεχόμενη χορήγηση αδειών μεταφοράς φορτίων με drones σε μη εμπορικούς χρήστες. Κάτι τέτοιο είναι λογικό πως μπορεί να έχει ολέθριες συνέπειες σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως οι τρομοκρατικές ενέργειες που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

1.2 Κατηγορίες drones

Οι κύριες υπάρχουσες κατηγορίες, ή αλλιώς τύποι, μη επανδρωμένων οχημάτων που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ποιότητας του αέρα είναι δύο. Ο τύπος πολλαπλού ρότορα (**multi-rotor type**) και ο τύπος σταθερού πτερυγίου (**fixed wing type**). Τα drones του πρώτου τύπου τυγχάνουν της περισσότερης προσοχής στον κόσμο των drones και είναι τα πιο διαδεδομένα, χωρίς ωστόσο να είναι και η μόνη επιλογή. Φυσικά ο κάθε τύπος έχει τα δικά του χαρακτηριστικά, τα οποία και θα εξετάσουμε.

Τύπος πολλαπλού ρότορα (multi-rotor type)



Εικόνα 1: Multi-rotor drone [21]

Σε περίπτωση που θέλουμε να έχουμε για ένα σύντομο χρονικό διάστημα μία κάμερα στον αέρα, ένα μη επανδρωμένο όχημα αυτού του τύπου είναι σίγουρα ό,τι καλύτερο. Τα drones αυτής της κατηγορίας είναι η ιδανική περίπτωση για να έχουμε μία κάμερα στον αέρα για την εποπτεία μιας περιοχής, τόσο από την άποψη του κόστους όσο και από εκείνη της ευκολίας με την οποία μπορούμε να το πετύχουμε. Το γεγονός ότι προσφέρουν στον χειριστή πολύ μεγάλο έλεγχο σχετικά με τη θέση στην οποία βρίσκονται τα καθιστά ιδανικά για την εκτέλεση οποιασδήποτε εναέριας φωτογραφικής δραστηριότητας. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των μοντέλων αυτού του τύπου είναι πως μπορούν να πραγματοποιήσουν δειγματοληψίες τόσο όταν βρίσκονται σε κίνηση, όσο και όταν απλά αιωρούνται πάνω από ένα σημείο.

Μειονέκτημα που χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη κατηγορία drones είναι η περιορισμένη αντοχή και ταχύτητα που παρουσιάζουν, στοιχεία που τα κάνουν ακατάλληλα για εναέρια χαρτογράφηση μεγάλης κλίμακας και καταγραφή εκπομπής αέριων ρύπων για μεγάλη χρονική διάρκεια και σε μεγάλες αποστάσεις. Ακόμη, το μέγεθος του φορτίου που μπορούν να μεταφέρουν είναι μικρό και περιορισμένο. Αν και τα επιτεύγματα της τεχνολογίας βελτιώνονται με τον καιρό, τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας είναι αναποτελεσματικά στην καταπολέμηση της βαρύτητας και απαιτούν αρκετή ενέργεια απλά για να παραμείνουν στον αέρα. Με την υπάρχουσα τεχνολογία μπαταριών, η διάρκεια πτήσης τους περιορίζεται στα 20-30 λεπτά όταν μεταφέρουν μια ελαφριά κάμερα. Για μοντέλα που μεταφέρουν μεγαλύτερα φορτία ο χρόνος που μπορούν να βρίσκονται σε πτήση περιορίζεται ακόμα περισσότερο. Λόγω της

ανάγκης για γρήγορες και υψηλής ακρίβειας αλλαγές του γκαζιού προκειμένου να σταθεροποιηθούν, δεν είναι πρακτικό να χρησιμοποιείται ένας κινητήρας αερίου για την τροφοδοσία πολλαπλών στροφείων, έτσι περιοριζόμαστε στη χρήση ηλεκτρικών κινητήρων.

Τύπος σταθερού πτερυγίου (fixed wing type)



Εικόνα 2: fixed-wing drone [21]

Τα drones αυτού του τύπου χρησιμοποιούν πτερύγια όπως εκείνα ενός κανονικού αεροπλάνου για να επιτύχουν την ανύψωσή τους. Εξαιτίας αυτού το μόνο που χρειάζονται είναι ενέργεια για να προχωρήσουν, όχι να σταθούν στον αέρα, κάτι που τα κάνει πιο αποτελεσματικά. Συνεπώς, είναι ικανά να καλύψουν μεγαλύτερες αποστάσεις, να χαρτογραφήσουν μεγαλύτερες περιοχές και να παρακολουθούν για περισσότερο χρονικό διάστημα το επίκεντρο του ενδιαφέροντός τους. Εκτός από τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητά τους, είναι σε θέση να χρησιμοποιούν κινητήρες αερίου ως πηγή ενέργειας και σε συνδυασμό με τη μεγαλύτερη δυνατή ενεργειακή πυκνότητα καυσίμων, τα περισσότερα drones σταθερού πτερυγίου μπορούν να παραμείνουν σε πτήση ακόμα και για 16 ώρες ή περισσότερες. Ωστόσο, το κύριο πλεονέκτημά τους είναι το γεγονός ότι μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερα ωφέλιμα φορτία, παραμένοντας όμως σε ένα X-Y επίπεδο και σε συνεχή κίνηση.

Το βασικό μειονέκτημα που έχουν αυτής της κατηγορίας τα μη επανδρωμένα οχήματα είναι η ανικανότητά τους να αιωρούνται πάνω από ένα σημείο, κάτι που

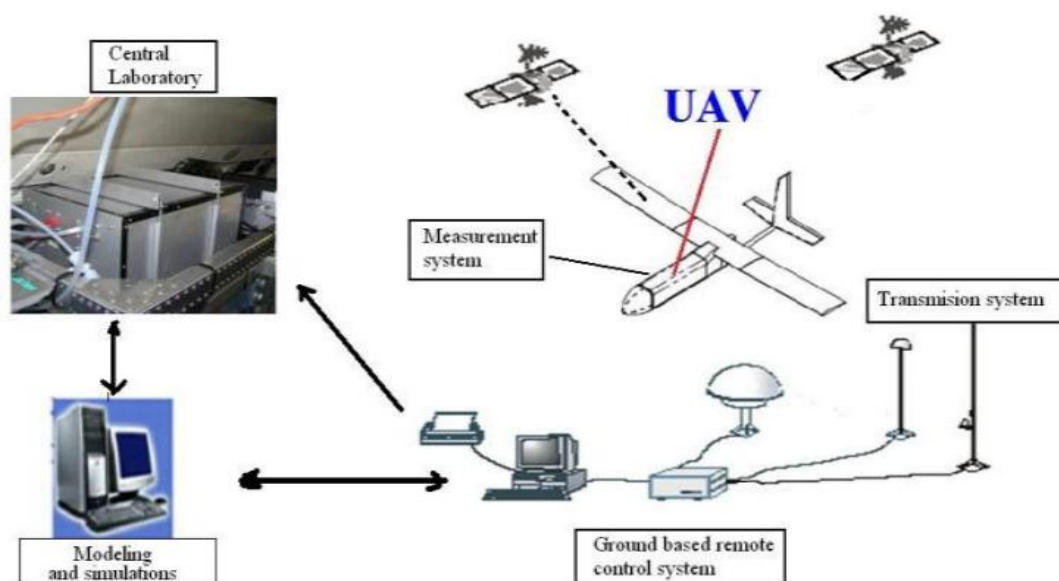
καθιστά αδύνατη τη λήψη οποιασδήποτε γενικής εναέριας φωτογραφίας. Επίσης, η ανικανότητά τους αυτή δυσκολεύει σε μεγάλο βαθμό τόσο την απογείωση, όσο και την προσγείωσή τους, καθώς ανάλογα με το μέγεθός τους μπορεί να χρειαστεί ένας διάδρομος ή ένας εκτοξευτήρας για να σηκωθούν στον αέρα και ένας διάδρομος, ένα αλεξίπτωτο ή ένα δίχτυ ώστε να ανακτηθούν πάλι με ασφάλεια. Μόνο τα μικρότερα σταθερού πτερυγίου drones είναι κατάλληλα για χειροκίνητη εκτόξευση και ομαλή προσγείωση σε έναν ανοιχτό χώρο. Άλλα μειονεκτήματα αυτού του τύπου των drones είναι το υψηλό κόστος τους, καθώς και η δυσκολία στην εκμάθηση της λειτουργίας τους.

1.3 Μέθοδοι και μοντέλα μέτρησης της ποιότητας του αέρα

Η μέτρηση των αέριων ρύπων στην επιφάνεια της γης προσφέρει εν μέρει τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε για τη διεξαγωγή μελετών σχετικών με την αέρια ρύπανση. Είναι απαραίτητο να υπάρχουν πληροφορίες για την κατακόρυφη κατανομή των ρύπων, ώστε να μπορέσουν να δοθούν πιο ολοκληρωμένες απαντήσεις σε ερωτήσεις που αφορούν θέματα όπως οι μεταφορές και οι κίνδυνοι για την ανθρώπινη υγεία. Οι προτεινόμενες μέθοδοι για την αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα εισάγουν και αναπτύσσουν μία νέα έννοια, που ορίζεται ως “προηγμένο σύστημα υλικού/λογισμικού για τριών διαστάσεων προσδιορισμό της ρύπανσης” (advanced hardware/software system for 3D dimensional determination), που παράγεται από διάφορους επιβλαβείς παράγοντες.

1.3.1 Παράδειγμα 1

Φοιτητές από την Ρουμανία, βασιζόμενοι σε αυτή την έννοια, έχουν παρουσιάσει μία πρόταση τους για την κατασκευή ενός συστήματος, η δομή του οποίου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3: Δομή του προτεινόμενου συστήματος [3]

Τα κύρια συστατικά υλικού/λογισμικού που απεικονίζονται είναι τα εξής:

- Υπολογιστικό σύστημα για τον έλεγχο της πτήσης (Flight Control Computer System-FCSS), το οποίο εκτελεί τις λειτουργίες ελέγχου της πτήσης.
- Σύστημα αναφοράς των δεδομένων του αέρα και της θέσης του μη επανδρωμένου οχήματος (Air Data and Attitude Heading Reference System-ADAHRS), το οποίο συλλέγει και συνδυάζει τριαξονικούς γωνιακούς ρυθμούς, τριαξονικές γραμμικές επιταχύνσεις, μετρήσεις τριαξονικού μαγνητικού πεδίου, δεδομένα του αέρα και GPS.
- Σύστημα ελέγχου του ενεργοποιητή του σερβοκινητήρα (Servo Actuator Control System-SACS), το οποίο εξασφαλίζει όχι μόνο τις σωστές και ακριβείς κινήσεις του σερβοκινητήρα, αλλά και τις προμήθειες που προέρχονται είτε από τις μπαταρίες που είναι τοποθετημένες στο drone είτε από φωτοβολταϊκές μονάδες.
- Σύστημα σύνδεσης των δεδομένων που λαμβάνονται με την εγκατάσταση που υπάρχει στο έδαφος (Ground-Data Link System-GDLS), το οποίο βοηθά στην επικοινωνιακή σύνδεση μεταξύ των ηλεκτρονικών συσκευών που βρίσκονται σε πτήση και της εγκατάστασης που βρίσκεται στο έδαφος.

- Σύστημα μέτρησης των ρύπων (Pollutants Measurement System-PMS). Αυτό αποτελείται από αισθητήρες, μετατροπείς, πίνακα ελέγχου και κάρτες μνήμης για τα αποτελέσματα. Ο ανιχνευτής αερίων μπορεί να εντοπίσει πολλά εύφλεκτα αέρια και ατμούς, κάτι που μπορεί να συμβάλλει στην πρόληψη αρκετών δυσάρεστων καταστάσεων. Η μεταφορά αερίων στους αισθητήρες μπορεί να γίνει είτε παθητικά (χωρίς βοηθητικές συσκευές) είτε ενεργητικά (με την χρησιμοποίηση πρόσθετου εξοπλισμού).

Το σύστημα που είναι τοποθετημένο πάνω στο μη επανδρωμένο όχημα μπορεί να λειτουργήσει και να εκτελέσει τις εντολές που του δίνονται με τη βοήθεια ενός χειροκίνητου σταθμού εδάφους, ο οποίος προσφέρει τη δυνατότητα τηλεχειρισμού και είναι όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

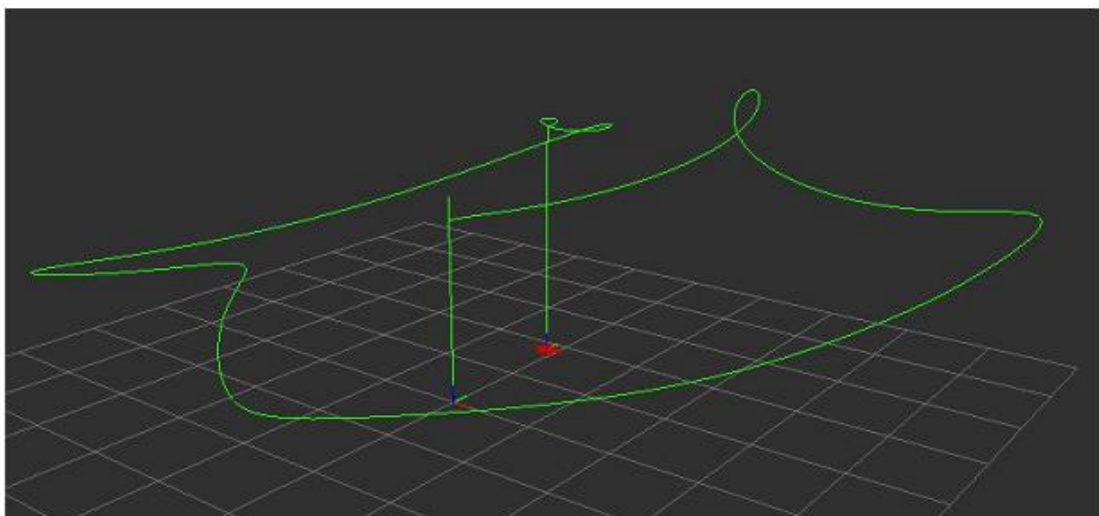


Εικόνα 4: Ο σταθμός εδάφους [3]

Ο συγκεκριμένος σταθμός είναι ικανός να καλύψει ακτίνα δράσης μέχρι και 50 χλμ. Σαν εναλλακτική, το σύστημα έχει μία διαμορφώσιμη δομή με αυτόματο πιλότο, που βασίζεται στην ταυτόχρονη χρήση δύο διαφορετικών GPS. Το σύστημα αυτόματου πιλότου βασίζεται σε κάρτες απόκτησης δεδομένων και σε έναν συγκεκριμένο τύπο επεξεργαστή ψηφιακών σημάτων (Digital Signal Processor). Ο αυτόματος πιλότος επιτρέπει στο μη επανδρωμένο όχημα να εκτελεί μία διευρυμένη σειρά αποστολών με υψηλό δείκτη ασφάλειας. Του προσφέρει, επίσης, τη

δυνατότητα να πετάξει αυτόνομα σε ορισμένες τροχιές και να επιστρέψει στο σημείο από το οποίο απογειώθηκε είτε κατόπιν εντολής είτε σε περίπτωση που η μπαταρία ή το καύσιμο έχει πέσει κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο. Ένα ακόμη πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της ύπαρξης αυτόματου πιλότου είναι η δυνατότητα που παρέχει στο μη επανδρωμένο όχημα να απογειώνεται και να προσγειώνεται αυτόνομα. Και μάλιστα σε αρκετές περιπτώσεις αυτό γίνεται με μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτή που επιτυγχάνεται από έναν μέσο ανθρώπινο χειριστή. Ένα αρκετά χρήσιμο χαρακτηριστικό της αυτόνομης πτήσης είναι το γεγονός ότι το μη επανδρωμένο όχημα μπορεί να έχει προκαθορισμένες τροχιές στις οποίες θα κινηθεί και οι οποίες βρίσκονται κατά μήκος της κύριας κλίσης της ρύπανσης που έχει προηγουμένως προβλεφθεί με τη βοήθεια κάποιου μαθηματικού μοντέλου ή έχει ανιχνευθεί κατά τη διάρκεια της πτήσης. Με αυτόν τον τρόπο το σύστημα μπορεί να πραγματοποιήσει εκκαθάριση του χώρου δεδομένων της ρύπανσης και ταυτόχρονα μπορεί να προσφέρει περιορισμούς και βελτιώσεις των μαθηματικών μοντέλων, προκειμένου να επιτευχθεί ένα αδιαμφισβήτητο επίπεδο ακρίβειας. [3]

Η τροχιά που διαγράφει το μη επανδρωμένο όχημα προσδιορίζεται σύμφωνα με τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τη μοντελοποίηση για την απόκτηση τριών διαστάσεων αποτελεσμάτων σχετικών με τη ρύπανση. Εικονικά όργανα τοποθετούνται για τηλεχειρισμό και μόλις υπάρξουν αποτελέσματα προσομοιώνονται, αξιολογούνται και επικυρώνονται με δοκιμές πεδίου. Παρακάτω απεικονίζεται μία ενδεικτική τροχιά ενός drone [22]



Εικόνα 5: Ενδεικτική τροχιά ενός drone [22]

Πάμε τώρα να εξετάσουμε τη βασική λειτουργία του συστήματος. Αρχικά, μία συνήθης λειτουργία περιλαμβάνει τη δραστηριοποίηση του μη επανδρωμένου οχήματος και του επίγειου σταθμού σε χώρο που σχετίζεται με τον παράγοντα της ρύπανσης. Το εύρος της περιοχής που μπορεί να καλύψει το όχημα εξασφαλίζει όχι μόνο παραπάνω από αρκετή κάλυψή της, αλλά και τη δυνατότητα να είμαστε σε μία ασφαλή απόσταση από τον παράγοντα και το πεδίο της ρύπανσης. Στη συνέχεια, πρέπει να καθοριστεί ένας χάρτης πτήσεων, δηλαδή η πορεία που θα ακολουθήσει το drone, κάτι που, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μπορεί να γίνει είτε μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου είτε μέσω συνδυασμού ενός μαθηματικού μοντέλου και δεδομένων που υπάρχουν από προηγούμενες μετρήσεις. Όταν αυτός ο χάρτης είναι έτοιμος φορτώνεται στον αυτόματο πιλότο του οχήματος και, αφού έχουν τοποθετηθεί και οι κατάλληλοι αισθητήρες ανάλογα με τον παράγοντα ρύπανσης που πρόκειται να ανιχνευθεί, ξεκινάει η πτήση.

Το επόμενο βήμα είναι η σωστή εγκατάσταση του επίγειου σταθμού και η αυτόνομη εκτόξευση του μη επανδρωμένου οχήματος. Η ανθρώπινη παρέμβαση που χρειάζεται σε αυτό το σημείο είναι ελάχιστη, καθώς το drone έχει σχεδιαστεί για να είναι σε θέση να απογειωθεί, να πετάξει και να προσγειωθεί αυτόνομα. Κατά τη διάρκεια της πτήσης του πραγματοποιεί αυτόματη μετάδοση βίντεο και δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες του και αποθηκεύει δεδομένα, τα οποία μετά το τέλος της μπορούν να ανακτηθούν σε περίπτωση που έχει παρουσιαστεί κάποια βλάβη στον επίγειο σταθμό και δεν μπορούν να ληφθούν εγκαίρως. Ο επίγειος σταθμός αποθηκεύει ένα αντίγραφο τόσο του βίντεο που μεταδίδεται, όσο και των πληροφοριών που λαμβάνουν οι αισθητήρες. Ταυτόχρονα ο συσσωρευτής δεδομένων τα "πακετάρει" και τα στέλνει, μέσω ειδικής σύνδεσης, σε ένα σύστημα αποθετηρίου πύλης για περαιτέρω επεξεργασία και αξιολόγηση.

Στη συνέχεια, τα δεδομένα εξάγονται μέσω της πύλης και παρουσιάζονται σε διάφορους χρήστες σύμφωνα με τα δικαιώματά τους και τη συμβατότητα των συσκευών. Για παράδειγμα, η αυτόματη αναδιαμόρφωση του βίντεο γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να προβληθεί σε πραγματικό χρόνο τόσο σε σταθερούς ή φορητούς υπολογιστές, όσο και σε περιορισμένες κινητές πλατφόρμες, όπως iPad και tablet. Το λιγότερο που μπορεί να κάνει η πύλη είναι να δώσει στο χρήστη τη δυνατότητα να τα προβάλλει οποτεδήποτε το θελήσει, αλλά και να αξιοποιήσει αυτά που ανταποκρίνονται στις δικές του επιθυμίες και απαιτήσεις. Το περισσότερο, του δίνει την ευκαιρία να προχωρήσει σε σύγκριση διάφορων δεδομένων, να εκτελέσει

συγκεκριμένες μαθηματικές λειτουργίες σε δεδομένα αισθητήρων ή ακόμη και να στείλει νέους χάρτες πτήσεις στον επίγειο σταθμό προκειμένου το drone να διαγράψει μία καινούρια ή μία πιο σωστή για τους σκοπούς του τροχιά. Οι λειτουργίες που θα εκτελέσει ένας χρήστης με τη βοήθεια μη επανδρωμένου οχήματος καθορίζονται από τα δικαιώματα που έχει.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα ολόκληρης της πύλης είναι η ικανότητά της να προσφέρει ολοκληρωμένη επικοινωνία φωνής/βίντεο του οχήματος με τον χειριστή στον επίγειο σταθμό, κάτι που βοηθά στην αυτονομία ολόκληρου του συστήματος χωρίς να υπάρχει εξάρτηση από παραδοσιακές επικοινωνίες μέσω τρίτων μερών (π.χ. κινητά τηλέφωνα). [3]

Ας εξετάσουμε τώρα πως λειτουργεί ένας σταθμός μοντελοποίησης και προσομοίωσης που χρειάζεται σε ένα σύστημα σαν το παραπάνω. Η μοντελοποίηση της διασποράς της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι ουσιαστικά μία προσομοίωση που γίνεται μέσω υπολογιστή και που προβλέπει τις συγκεντρώσεις των ρύπων από τις πηγές εκπομπών. Η προσομοίωση αυτή λαμβάνει υπ' όψη της τον ρυθμό εκπομπής, καθώς επίσης και το ύψος, τη διάμετρο, τη θερμοκρασία και την ταχύτητα της στοίβας των ρύπων.

Μία από τις καινοτομίες της έρευνας των φοιτητών είναι η τριών διαστάσεων μοντελοποίηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Μέχρι τώρα οι μέθοδοι μοντελοποίησης της ρύπανσης αναφέρονταν στην επιφάνεια του εδάφους, με πιο διαδεδομένες αυτές των Gauss, Lagrange και Euler. Η βασική διαφορά μεταξύ των μοντέλων Lagrange και Euler είναι πως το δεύτερο χρησιμοποιεί ένα σταθερό τρισδιάστατο καρτεσιανό πλέγμα. Η ανάπτυξη προγραμμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή δίνει τη δυνατότητα καταγραφής της συσσωρευτικής συγκέντρωσης ρύπων σε ένα σημείο από όλες τις πιθανές πηγές τους. Οι υπολογισμοί οργανώνονται έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί άνετα να διαχειριστεί τα αρχεία που έχουν να κάνουν με τη χαρτογράφηση, τα γραφικά, την εισαγωγή δεδομένων και την ευέλικτη εξαγωγή τους, δηλαδή να μπορεί να εξάγει μόνο αυτά που χρειάζεται και όχι το σύνολό τους που μπορεί να είναι και χρονοβόρο. [3]

Σχετικά με τη μέτρηση της ποιότητας του αέρα και τα επίπεδα μόλυνσής του έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες στο παρελθόν και είναι χρήσιμο να εξετάσουμε μερικές από αυτές.

1.3.2 Παράδειγμα 2

Το 2012 η Elena Berman και ο Matthew Fladeland χρησιμοποίησαν ένα SIERRA drone εξοπλισμένο με έναν αναλυτή αερίων του θερμοκηπίου (GHG analyzer) προκειμένου να διεξάγουν υψηλής ακρίβειας μετρήσεις της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και μεθανίου (CH_4), αλλά και υδρατμών σε χαμηλά υψόμετρα, στο Svalbard της Νορβηγίας. Τα αποτελέσματα που έδωσε το SIERRA ταυτιζόντουσαν με αυτά που μετρήθηκαν από σταθμό Zeppelin στα 475 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 6: Το SIERRA drone [23]

Το SIERRA, που φαίνεται στην εικόνα, είναι ένα μεσαίου επιπέδου drone σχεδιασμένο από το εργαστήριο ναυτικών ερευνών των ΗΠΑ που αναπτύχθηκε στο ερευνητικό κέντρο Ames της NASA και μπορεί να εκτελέσει αποστολές δειγματοληψίας και απομακρυσμένης ανίχνευσης σε απομονωμένες και συχνά δυσπρόσιτες περιοχές, όπως για παράδειγμα οροσειρές, τον ανοιχτό ωκεανό ή ακόμα και την Αρκτική και την Ανταρκτική. Είναι κατάλληλο για ακριβείς αποστολές συλλογής δεδομένων, διότι είναι αρκετά μεγάλο για να μεταφέρει μέχρι και 100 λίβρες (περίπου 45 κιλά) επιστημονικών οργάνων ακόμα και για 600 μίλια, αλλά και αρκετά μικρό ώστε να μην απαιτεί μεγάλο διάδρομο για την απογείωσή του. [4]

Το πρόγραμμα SIERRA έχει την ικανότητα να υποστηρίζει όλες τις φάσεις των αποστολών που πραγματοποιούνται με τη χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων και πιο συγκεκριμένα:

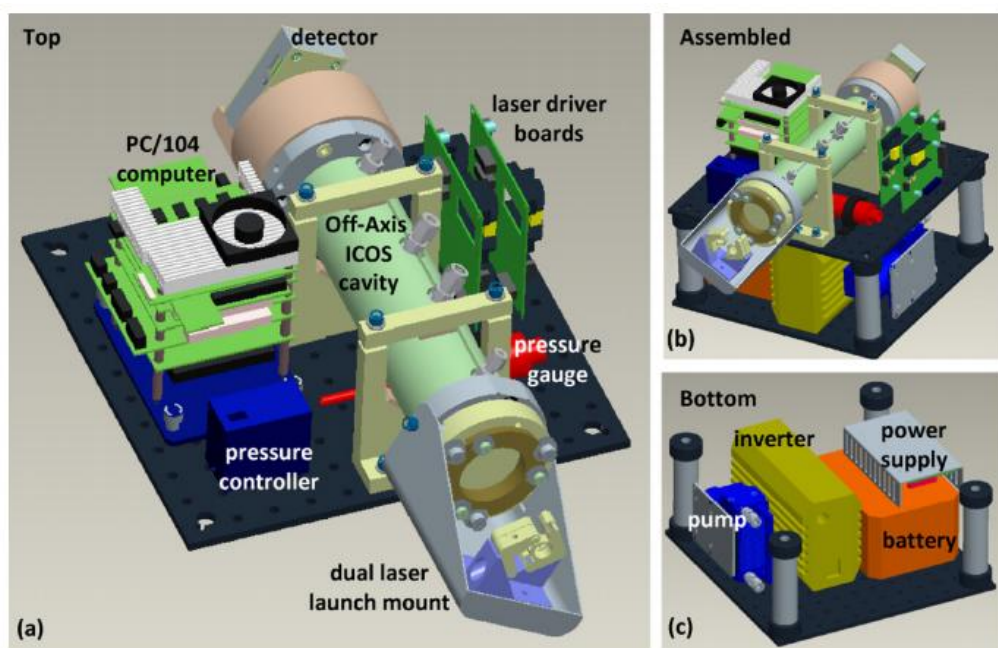
- Τον σχεδιασμό του πειράματος
- Τον προσδιορισμό των απαιτήσεων

- Τον σχεδιασμό και την υποστήριξη της ενσωμάτωσης του ωφέλιμου φορτίου
- Την ανασκόπηση ασφαλείας των πτήσεων

Η συνολική διάρκεια πτήσης του μπορεί να φτάσει τις 10 ώρες, ενώ το μέγιστο ύψος στο οποίο μπορεί να φτάσει είναι τα 12.000 πόδια. Επίσης, μπορεί να αναπτύξει ταχύτητα μέχρι και 60 κόμβους.

Η τελευταία πτήση του SIERRA πραγματοποιήθηκε στις 26 Ιουλίου του 2013. Τότε, κατά τη διάρκεια έρευνας θαλάσσιων πάγων στην Αλάσκα για λογαριασμό αποστολής με το όνομα MIZOPEX, χάθηκε η ισχύς του κινητήρα και έπεσε στο νερό περίπου 40 μίλια βόρεια του Oliktok Point.

Ο αναλυτής αερίων του θερμοκηπίου που τοποθετήθηκε πάνω στο SIERRA drone είχε τη μορφή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7: Σχηματική απεικόνιση (a) του πάνω μέρους του αναλυτή, (c) του κάτω μέρους του αναλυτή, (b) του αναλυτή συναρμολογημένου.[4]

Σχεδιασμός και κατασκευή του συστήματος

Ο παραπάνω αναλυτής αερίων του θερμοκηπίου βασίζεται στην τεχνολογία Off-Axis ICOS που αναπτύχθηκε στο ερευνητικό κέντρο Los Gatos Research, στο Σαν Χοσέ των ΗΠΑ. Η κατασκευή του γίνεται σε δύο οπτικά τετραγωνικά μέρη 30,5 εκατοστών.

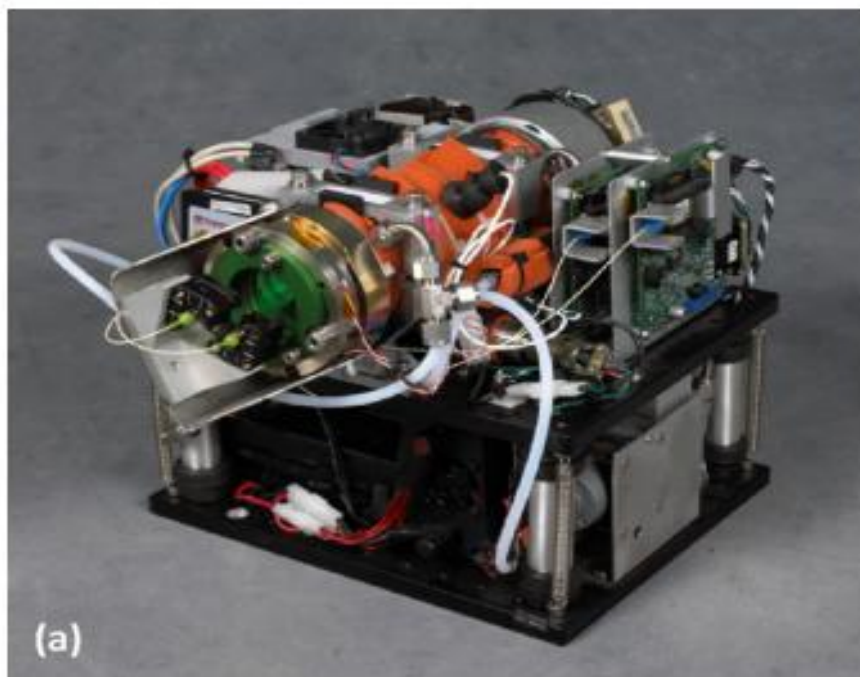
Το κατώτερο μέρος περιέχει τα συστατικά της ενέργειας και του αερισμού, συμπεριλαμβανομένων της μπαταρίας, του μετατροπέα, της πηγής ισχύος και μίας αντλίας διαφράγματος με διπλή κεφαλή. Ο αναλυτής αυτός χρησιμοποιεί μόνο μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου-πολυμερούς διαστάσεων 185mm x 170mm x 70mm. Η μπαταρία αυτή ζυγίζει 3,5 κιλά και παρέχει 560Wh χωρητικότητας 11,1V (ονομαστική). Απαιτούνται περίπου 70W της ισχύος προκειμένου η μπαταρία να μπορεί να τροφοδοτεί τη μονάδα αδιάκοπα για 8 ώρες, λαμβάνοντας υπ' όψη μία τυπική διάρκεια πτήσης ενός SIERRA. Ένας μετατροπέας 12V χρησιμοποιείται για να μετασχηματιστεί η τάση της μπαταρίας σε 110 VAC με απόδοση μεγαλύτερη από 90%. Ακολούθως χρησιμοποιείται μία πηγή ρεύματος προκειμένου να μετατρέψει τα 110 VAC σε όλες τις απαιτούμενες τάσεις (πχ $\pm 12V$, $+5V$). Μία μικρή αντλία διαφράγματος με διπλή κεφαλή, διαστάσεων 129mm x 105mm x 49mm και βάρους 0,9 κιλών χρησιμοποιείται για να κατευθύνει το δείγμα του αερίου μέσω της κοιλότητας της Off-Axis ICOS που αναφέρθηκε προηγουμένως. Ο όγκος αυτής της κοιλότητας είναι περίπου 400cc και ο ρυθμός της αντλίας δίνει χρόνο απόκρισης ροής στα 18,7 kPa σε περίπου 9 δευτερόλεπτα. Σε μία τυπική ταχύτητα πτήσης 28 m/s ενός SIERRA, αυτός ο χρόνος απόκρισης ανταποκρίνεται σε περίπου 250 μέτρα οριζόντιας ανάλυσης. Επίσης, στην κατασκευή περιλαμβάνεται ένας διακόπτης μικρής τάσης, ο οποίος ενεργοποιεί την αντλία μόνο σε περίπτωση που το λογισμικό έχει τεθεί σε λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας. [4]

Στο πάνω μέρος του αναλυτή στεγάζονται η κοιλότητα που περιέχει την τεχνολογία Off-Axis ICOS, ένας μικροϋπολογιστής PC/104, πλακίδια οδηγού laser, τα ίδια τα laser και ένας ελεγκτής πίεσης. Το υποσύστημα Off-Axis ICOS περιλαμβάνει την κοιλότητα διαμέτρου 5 εκατοστών, πολυστρωματικά διηλεκτρικά κάτοπτρα, βάση εκτόξευσης laser και προσαρμοζόμενα ενισχυμένο ανιχνευτή αερίων. Η βάση εκτόξευσης laser είναι εξοπλισμένη με ένα προσαρμοσμένο κιβώτιο εκτόξευσης, το οποίο επιτρέπει τη σύζευξη 2 laser στο κελί, ένα laser 1650 nm για μετρήσεις CH_4 και ένα laser 1603 nm για ταυτόχρονες μετρήσεις CO_2 και H_2O . Οι απορροφήσεις που οφείλονται σε CO_2 και H_2O είναι εύκολα διαχωρίσιμες στο φάσμα κοντά στα 1603 nm, επιτρέποντας ταυτόχρονες και ξεχωριστές μετρήσεις για καθένα από τα δύο είδη. Η κοιλότητα είναι μονωμένη για να αποτρέπει τις θερμικές κλίσεις κατά τη μέτρηση. Ένας θερμοστάτης 10k και ένας μετρητής πίεσης εισάγονται στο δείγμα ώστε να μετρήσουν τη θερμοκρασία και την πίεση του αερίου αντίστοιχα. Ολόκληρη η κατασκευή λειτουργεί με ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα

PC/104. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τους επεξεργαστές, τις κάρτες απόκτησης δεδομένων, κάρτες διασύνδεσης και ένα σκληρό δίσκο στερεής κατάστασης για την αποθήκευση των ληφθέντων πληροφοριών. Ο μικροϋπολογιστής αυτός παρέχει τάσεις για την οδήγηση των laser, διαβάζει τα σχετικά σήματα (πχ θερμοκρασία και πίεση που λαμβάνονται από τον ανιχνευτή) και αποθηκεύει τα δεδομένα που έχουν μετρηθεί στο σκληρό δίσκο, ώστε αυτά να αναλυθούν μετά το τέλος της πτήσης.

Δύο μικροσκοπικά πλακίδια οδηγού laser είναι χρήσιμα προκειμένου να υπάρχει πλήρης έλεγχος του ρεύματος και της θερμοκρασίας του laser. Αυτά τα πλακίδια είναι εξοπλισμένα με έναν διακόπτη γρήγορης απενεργοποίησης laser για την ταχεία αποκοπή των μετρήσεων της κοιλότητας ενός αποτελεσματικού μήκους διαδρομής. Με βάση τις μετρήσεις της κοιλότητας, τα μήκη οπτικής διαδρομής μέσα από αυτήν είναι 3000 μέτρα στα 1603 nm και 4000 μέτρα στα 1650 nm. Οι θερμοκρασίες των laser ελέγχονται ενεργά από τους εσωτερικούς θερμοηλεκτρικούς ψύκτες ώστε να διατηρούν τη σταθερότητα του μήκους κύματός τους. Η πίεση στο κελί ελέγχεται περίπου στα 18,4 kPa μέσω μιας αναλογικής σωληνοειδούς βαλβίδας η οποία ανατροφοδοτείται από το μετρητή πίεσης. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί πως η πίεση ρύθμισης είναι ουσιαστικά χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική πίεση για όλα τα ύψη της πτήσης ενός SIERRA και πως η πίεση μέσα στο κελί ελέγχεται ενεργά καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης. [4]

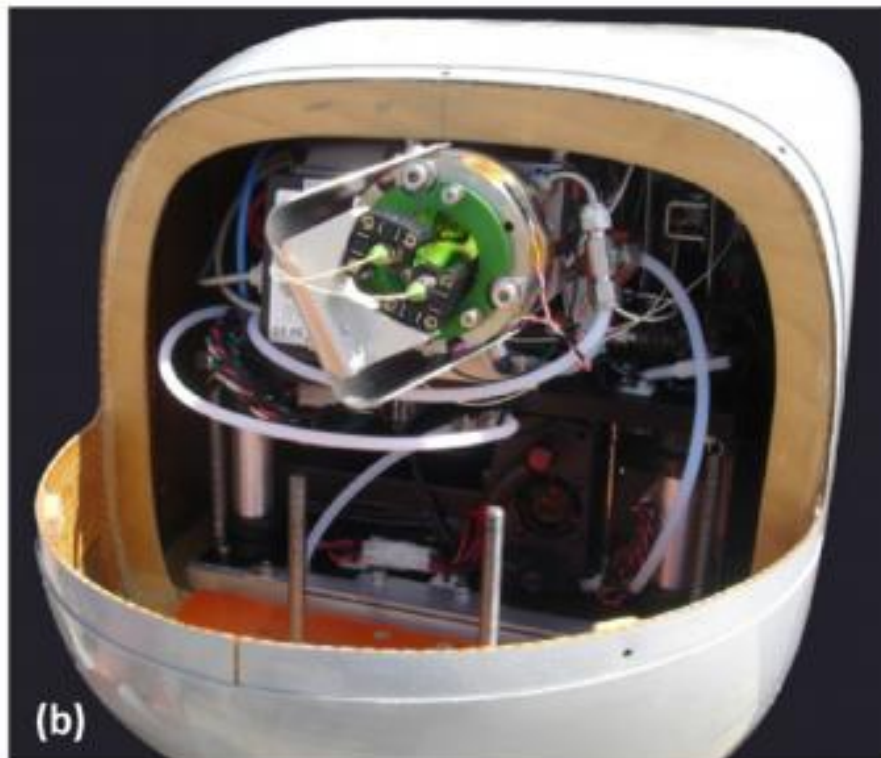
Παρακάτω απεικονίζεται ένας πραγματικός και πλήρως συναρμολογημένος αναλυτής αερίων του θερμοκηπίου.



Εικόνα 8: Πραγματικός αναλυτής αερίων του θερμοκηπίου διαστάσεων 30,5cm x 30,5cm 28cm και βάρους 19,5 κιλών. [4]

Το όργανο αυτό δεν περιέχει κινούμενα μέρη, με εξαίρεση την αντλία διαφράγματος, κάτι που του επιτρέπει να ανέχεται υψηλό βαθμό μηχανικών κραδασμών. Παρ' όλα αυτά, το πάνω μέρος του αναλυτή απομονώνεται με δόνηση από το κάτω μέρος του χρησιμοποιώντας ενσωματωμένους δονητικούς απομονωτές με ελατήρια εφελκυσμού. Ο συγκεκριμένος αναλυτής συνδέεται με την άκρη του SIERRA μέσω μίας πλακέτας βάσης που επιτρέπει την απλή ενσωμάτωση σε τέσσερα σημεία αγκίστρωσης. Η είσοδος του αερίου γίνεται μέσω της κάτω πλάκας και οδηγείται στο κάτω μέρος της μύτης του SIERRA προκειμένου το εισερχόμενο ρεύμα αερίου να κατευθύνεται αντίθετα από την κίνησή του. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση συμβάλλει στην αποφυγή εισόδου στο σύστημα διαφόρων σωματιδίων, κάτι το οποίο πιθανώς να οδηγήσει στο να φραχθούν τα συμπεριλαμβανόμενα φίλτρα.

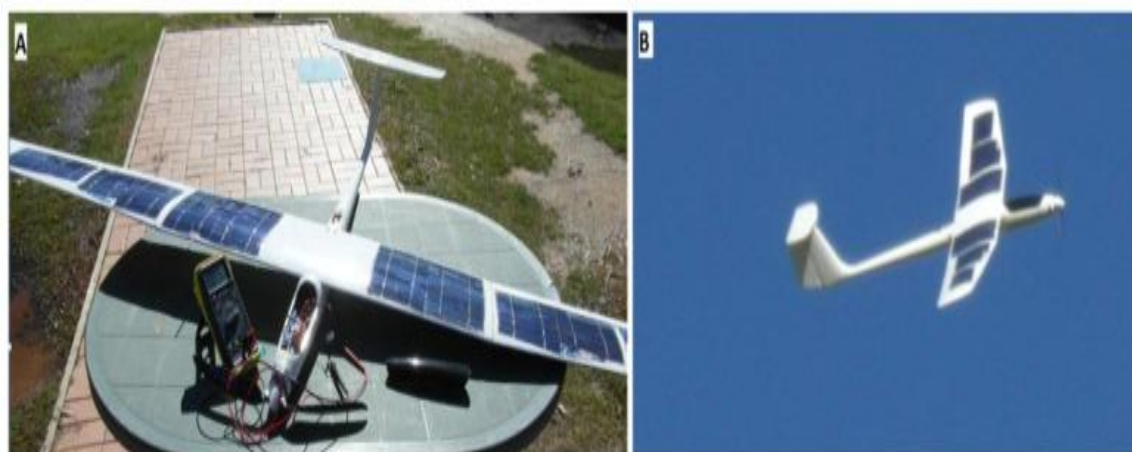
Παρακάτω βλέπουμε πως ο αναλυτής αερίων του θερμοκηπίου έχει ενσωματωθεί στη μύτη του SIERRA. [4]



Εικόνα 9: Ο αναλυτής ενσωματωμένος στο SIERRA [4]

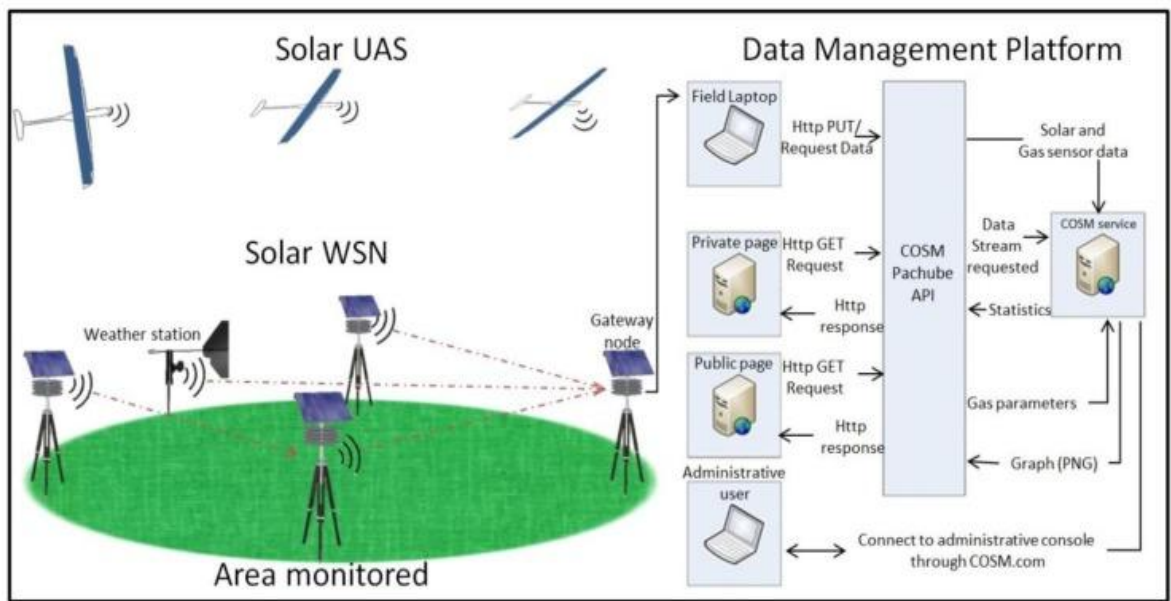
1.3.3 Παράδειγμα 3

Ο Alexander Malaver, του University of Technology στο Κουήνσλαντ της Αυστραλίας, έχει διερευνήσει τη δυνατότητα πτήσης ενός ηλιακού μη επανδρωμένου οχήματος σαν μέρος ενός συστήματος που θα τροφοδοτείται από τον ήλιο και θα χρησιμοποιεί ασύρματο σύστημα αισθητήρων (Wireless Sensor Network System-WSN system). Το όχημα αυτό θα παρακολουθεί συνεχώς την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου, αξιοποιώντας τον ήλιο για την επίλυση του ζητήματος κατανάλωσης ενέργειας. Το 2015, λοιπόν, δημοσιεύθηκε σύγγραμμά του σε συνεργασία με συναδέλφους του, το οποίο εστίασε σε αυτά ακριβώς τα σημεία: την ανάπτυξη και ενσωμάτωση ενός συστήματος WSN και ενός ηλιακού drone. Σκοπός του εγχειρήματος ήταν η βελτίωση της λειτουργικότητας των drones και η διεύρυνση των εφαρμογών τους.



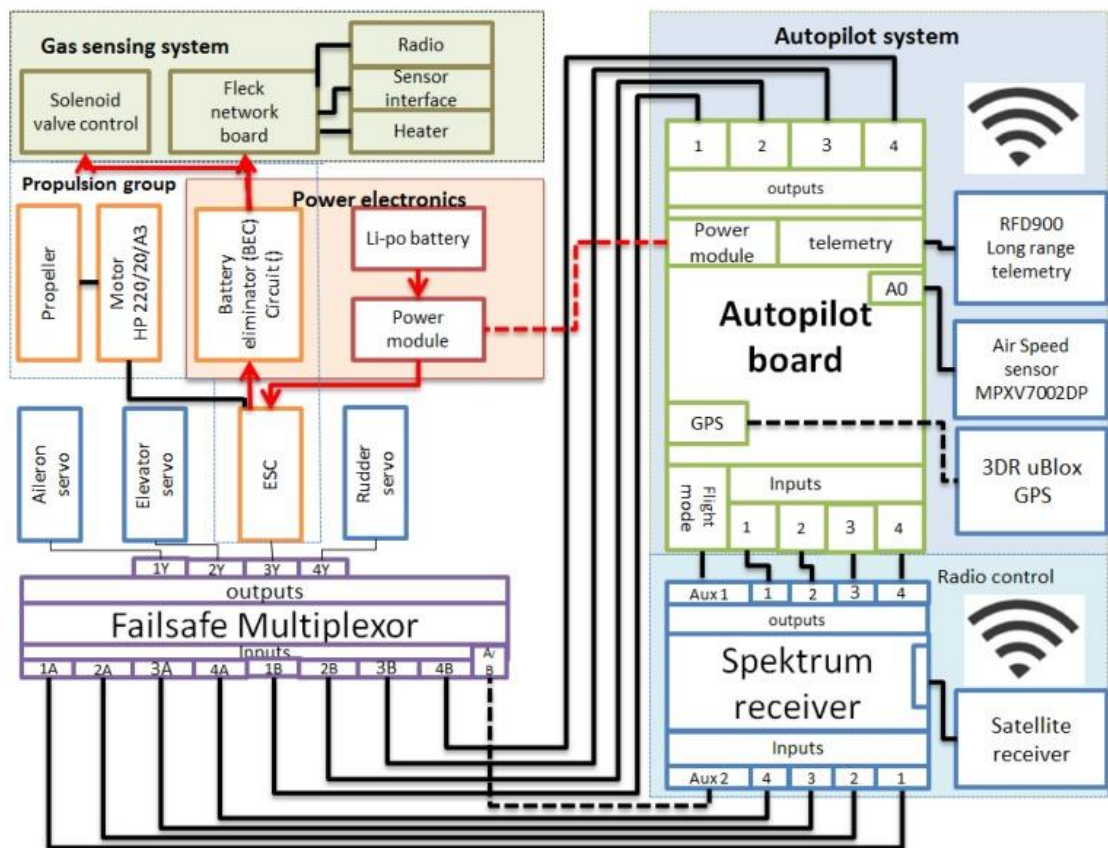
Εικόνα 10: A) Η τελική διαμόρφωση του μη επανδρωμένου οχήματος B) Το όχημα εν ώρα πτήσης. [5]

Αναπτύχθηκε ένα σύστημα ανίχνευσης αερίων που χρησιμοποιεί νανοδομημένο οξείδιο μετάλλου και μη διασκορπιστικούς υπέρυθρους αισθητήρες για τη μέτρηση συγκεντρώσεων CH_4 και CO_2 . Τα αποτελέσματα των δοκιμών εργαστηρίου και πεδίου που εξήχθησαν δείχνουν τη δυνατότητα του drone να λαμβάνει, να αναλύει και να γεωτοποθετεί ένα δείγμα αερίου κατά τη διάρκεια της πτήσης. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της αποστολής μεταδόθηκαν σε πραγματικό χρόνο σε έναν κεντρικό κόμβο για ανάλυση και τριών διαστάσεων χαρτογράφηση (3D mapping) του υπό μελέτη αερίου. Τα αποτελέσματα της αποστολής τονίζουν την ολοκλήρωση της πρώτης αποστολής ενός ηλιακού drone εξοπλισμένου με σύστημα ανίχνευσης CH_4 και CO_2 ενσωματωμένο σε ένα WSN σύστημα. Η λειτουργία της εγκατάστασης φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



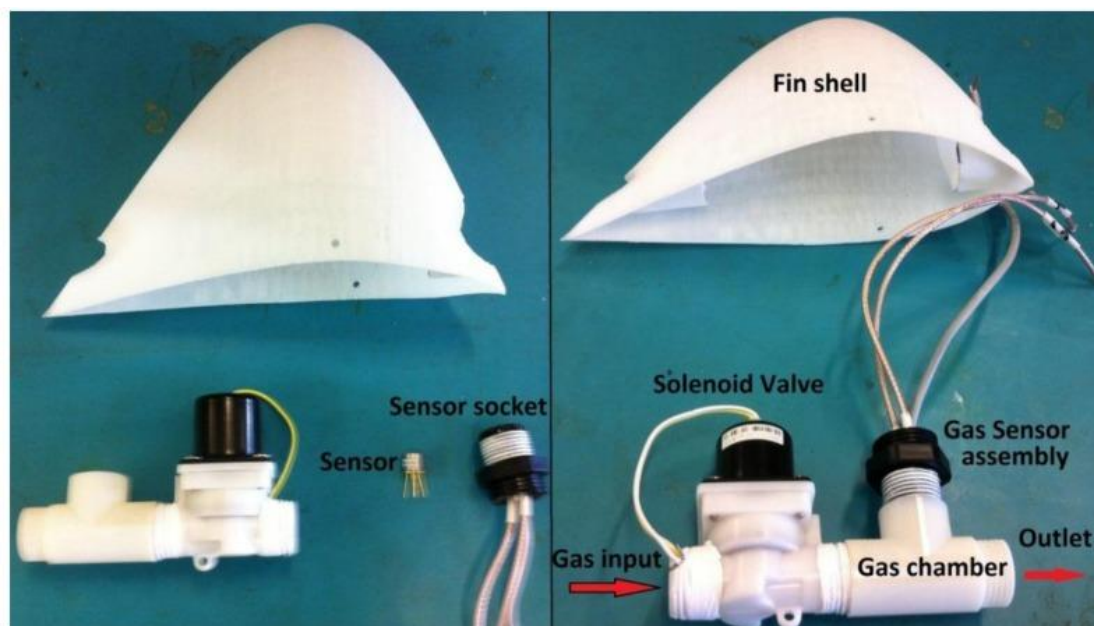
Εικόνα 11: Σχεδιασμός ηλιακού WSN και ηλιακού drone, συνδεδεμένων με πλατφόρμα διαχείρισης δεδομένων για τη συνεχή καταγραφή αέριων ρύπων. [5]

Τα κύρια υποσυστήματα του μη επανδρωμένου οχήματος είναι τα συστήματα ανίχνευσης, πλοήγησης, επικοινωνίας, πρόωσης και παροχής ενέργειας. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα διάγραμμα με όλα αυτά τα συστήματα και το πως αυτά αλληλεπιδρούν.



Εικόνα 12: Διαμόρφωση των υποσυστημάτων που είναι ενσωματωμένα στο drone. [5]

Το σύστημα ανίχνευσης αερίων εγκαταστάθηκε στο drone και ένα σύστημα δειγματοληψίας προσαρμόστηκε στον αισθητήρα εξαιτίας υψηλότερης ταχύτητας ανέμων, με κύρια συστατικά του να είναι ο αισθητήρας, η θερμάστρα αισθητήρα, η διεπαφή αισθητήρα, ένα μικροεπεξεργαστή (Fleck) με δυνατότητα ραδιοπομπού/ραδιοδέκτη και μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ελέγχου. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες προσαρμογές στο σύστημα ανίχνευσης αερίων προκειμένου αυτό να γίνει πιο λειτουργικό για εναέριες δραστηριότητες, οι οποίες απεικονίζονται καθαρά παρακάτω.



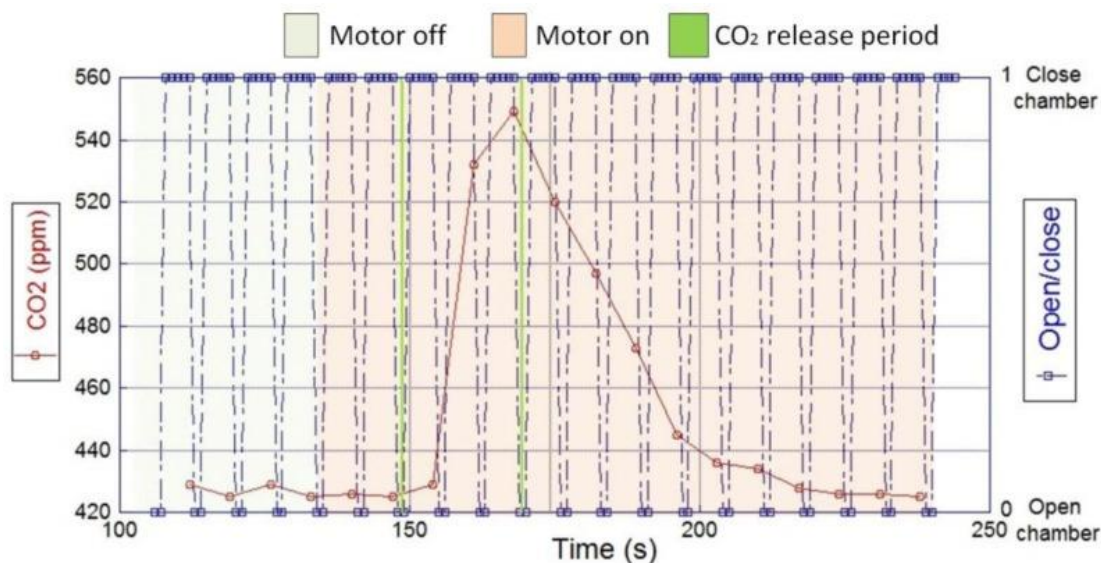
Εικόνα 13: Σύστημα ανίχνευσης αερίων με κέλυφος περυγίου, αισθητήρα αερίων, θάλαμο αερίων, ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. [5]

Η συσκευή πρόσληψης δείγματος προσαρμόστηκε για να αιχμαλωτίζει δείγματα για ανάλυση αερίων κατά τη διάρκεια των ελιγμών στην πτήση. Σχεδιάστηκε ένα κέλυφος για το περύγιο (Fin shell) και εκτυπώθηκε σε 3 διαστάσεις προκειμένου να στεγάσει το σύστημα ανίχνευσης αερίων πάνω από την κεντρική πτέρυγα. Το κέλυφος αυτό κατασκευάστηκε με ελαφριά υλικά ($<50\text{ g}$) για να αποφευχθεί η ύπαρξη επιπλέον βάρους στο αεροσκάφος. Ένας μικρός θάλαμος αερίων (Gas chamber- 63 cm^3) σχεδιάστηκε και εγκαταστάθηκε μέσα στο κέλυφος του περυγίου για να συγκρατήσει ακέραιο τον όγκο του αερίου κατά την ανάλυση. Αυτός ο θάλαμος είναι σε σχήμα T για να επιτρέπει στο δείγμα να ρέει κατά μήκος της οριζόντιας τροχιάς και να εισάγει τον αισθητήρα στην κατακόρυφη κοιλότητα, πράγμα που εξασφαλίζει τη σωστή επαφή με τον όγκο του αερίου. Επίσης, έγινε τοποθέτηση μιας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας (Solenoid valve) στην είσοδο του θαλάμου για τον έλεγχο του χρόνου και της ροής εισαγωγής του λαμβανόμενου δείγματος. Η χρονική στιγμή στην οποία θα κλείσει η βαλβίδα εξαρτάται από το χρόνο απόκρισης του αισθητήρα στην προσδοκώμενη συγκέντρωση αερίου. Για παράδειγμα, το κλείσιμο στα 5 δευτερόλεπτα ήταν επαρκής χρόνος για τον Malaver και τους συνεργάτες του προκειμένου να αναλύσουν τις συγκεντρώσεις CO_2 από 0 έως 400ppm. Επίσης, η βαλβίδα παρέμενε ανοιχτή για 2 δευτερόλεπτα μετά την ολοκλήρωση της κάθε ανάλυσης για να καθαριστεί πλήρως ο θάλαμος.

Κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων η βαλβίδα ήταν ανοικτή ή κλειστή, αλλάζοντας την πολικότητα του μαγνήτη, οποίος απαιτεί παλμό ισχύος 6V/580mA για τουλάχιστον 30 μέτρα. Ο κυκλικός χρόνος του συστήματος δειγματοληψίας θα μπορούσε να ελεγχθεί από τον μικροεπεξεργαστή Fleck, ο οποίος ενεργοποίησε την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ανάλογα τη συγκέντρωση αερίου που ανιχνεύθηκε. Μία δεύτερη επιλογή ελέγχου ήταν ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα με χρονοδιακόπτη (LM 555) με τον χρόνο να είναι προκαθορισμένος πριν την έναρξη της αποστολής. Μόλις ο μικροεπεξεργαστής απέκτησε τα δεδομένα μέσω του αισθητήρα, οι πληροφορίες μεταδόθηκαν άμεσα στον βασικό κόμβο με χρήση της μονάδας ραδιοεπικοινωνίας του Fleck, η κεραία του οποίου ήταν τοποθετημένη στην κορυφή της ατράκτου του αεροσκάφους.

Δοκιμές σε πάγκο και πεδίο του συστήματος ανίχνευσης αερίων του drone

Όπως προαναφέραμε το σύστημα ανίχνευσης CO₂ τοποθετήθηκε μέσα στο κέλυφος του πτερυγίου, το οποίο εγκαταστάθηκε στην κορυφή της μεσαίας πτέρυγας. Διεξήχθη δοκιμή σε πάγκο με τον κινητήρα, την έλικα και τις ηλεκτρονικές λειτουργίες του αεροσκάφους που εκτελούνται κατά τη διάρκεια της ανίχνευσης εκπεμπόμενων αερίων από μία πηγή ρύπων. Το παρακάτω γράφημα δείχνει ότι το σύστημα ανίχνευσης εντόπισε επιτυχώς το αποκορύφωμα των εκπομπών CO₂ μέσα σε 60 δευτερόλεπτα μετά την έναρξη εκπομπής ρύπων.



Γράφημα 1: Αποτελέσματα δοκιμής του συστήματος αισθητήρων CO₂ ύστερα από δοκιμή σε πάγκο. [5]

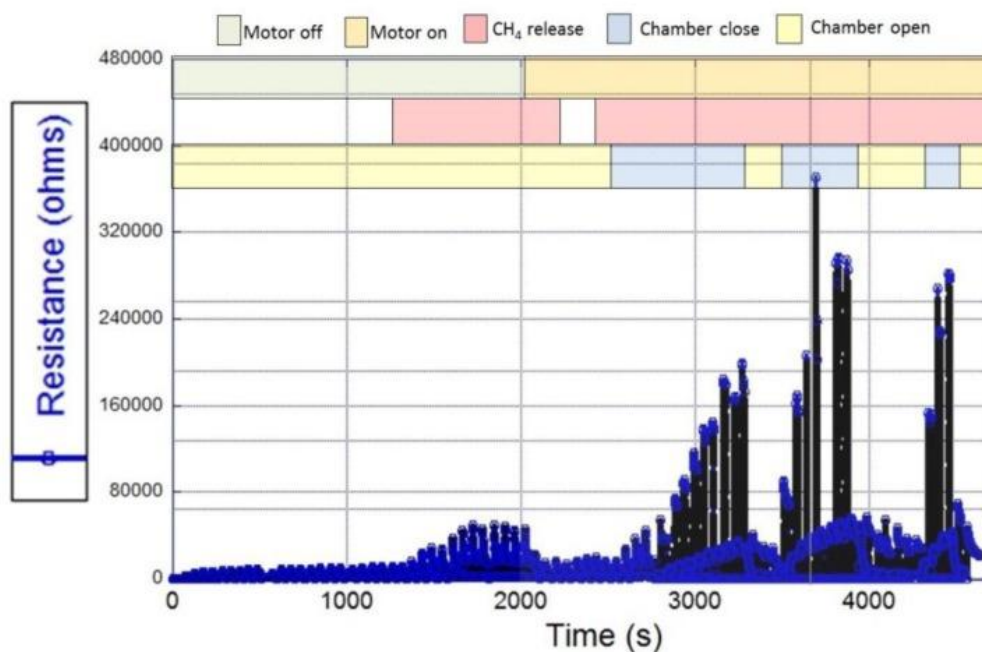
Παρατηρούμε, επίσης, πως η γραμμή που απεικονίζει τα δεδομένα του CO₂ που λαμβάνονται από τον αισθητήρα επανήλθε στο αρχικό της επίπεδο των περίπου 425ppm μετά τη διακοπή των εκπομπών. Το αρχικό αυτό επίπεδο των εκπομπών αντιστοιχεί στη συγκέντρωση CO₂ του περιβάλλοντος όγκου.

Ένα ακόμη τεστ πάγκου πραγματοποιήθηκε για να αξιολογηθεί η απόδοση του συστήματος ανίχνευσης CH₄ που είναι ενσωματωμένο στο drone. Η εκτέλεση του πειράματος ήταν παρόμοια με αυτή που αναφέρθηκε προηγουμένως για τον εντοπισμό CO₂. Μοναδική εξαίρεση ο χειρισμός της βαλβίδας, ο οποίος ενεργοποιήθηκε χειροκίνητα για να προσδιορίσει το χρόνο απόκρισης του αισθητήρα. Η διαδικασία της δεύτερης αυτής δοκιμής ήταν η ακόλουθη:

- 1) Αρχικά, έγινε ηλεκτρονική επαλήθευση της σταθερότητας της βάσης του αισθητήρα και απενεργοποιήθηκε ο κινητήρας του οχήματος.
- 2) Στη συνέχεια, απελευθερώθηκαν οι εκπομπές CH₄ από μία πηγή ρύπανσης μπροστά από το drone για περίπου 12 λεπτά, έως ότου το σύστημα ανίχνευσης άρχισε να καταγράφει αλλαγές στην αντίσταση του αισθητήρα.
- 3) Έπειτα, ο κινητήρας ενεργοποιήθηκε, καθαρίζοντας τυχόν υπολείμματα εκπομπών μέσα στο θάλαμο. Σε αυτό το σημείο παρατηρήθηκε πως η αντίσταση του αισθητήρα έπεσε ξανά στα επίπεδα που είχαν καταγραφεί πριν την έναρξη της δοκιμής.

- 4) Ακολούθως, ξεκίνησαν οι εκπομπές από μία ρυπαντική πηγή και διήρκησαν 34 λεπτά με ρυθμό 1L/min, ενώ ο κινητήρας διατηρήθηκε στο 50% της ισχύος του.
- 5) Μόλις οι εκπομπές στο σύστημα ανίχνευσης αερίων, η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα έκλεισε για να γεμίσει ο θάλαμος με τον όγκο του αερίου και έτσι ο αισθητήρας άρχισε να λαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τη συγκέντρωσή του.
- 6) Αφού η απόκριση του αισθητήρα σταθεροποιήθηκε, άνοιξε η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα για 2 δευτερόλεπτα για να καθαριστεί ο θάλαμος, προκαλώντας έτσι μία απότομη μείωση στην αντίσταση του αισθητήρα.
- 7) Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 2 φορές για να επιβεβαιωθεί η λειτουργικότητα της βαλβίδας και η απόκριση του αισθητήρα στους ρύπους.

Με αυτό το πείραμα εξετάστηκε επιτυχώς η απόδοση του συστήματος ανίχνευσης αερίων κατά τη διάρκεια μιας προσομοιωμένης λειτουργίας, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα.



Γράφημα 2: Αποτελέσματα δοκιμής του συστήματος αισθητήρων CH₄ ύστερα από δοκιμή σε πάγκο. [5]

Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται πως η αντίσταση του αισθητήρα ήταν σταθερά κάτω από την κανονική ροή του ατμοσφαιρικού αέρα ακόμα και όταν ενεργοποιήθηκε ο κινητήρας κατά τη διάρκεια του πειράματος, υποδηλώνοντας με αυτόν τον τρόπο ένα αθόρυβο περιβάλλον του συστήματος. Μετά το κλείσιμο του θαλάμου το σύστημα

ανίχνευσης εντόπισε μεταβολές στην αντίσταση του αισθητήρα, πράγμα που επιβεβαιώνει την επιτυχή συλλογή δείγματος και ένα σταθερό περιβάλλον μέσα στο θάλαμο. Όταν η βαλβίδα άνοιξε τον θάλαμο το δείγμα ξεπλύθηκε προκαλώντας απότομη μείωση στην αντίσταση του αισθητήρα, μέχρι να φτάσει στα αρχικά επίπεδα αναφοράς. Επίσης, παρατηρήθηκε αυξημένη πιθανότητα εντοπισμού αέριων ρύπων μπροστά από το αεροσκάφος εξαιτίας της επίδρασης που είχε ο στροβιλισμός της έλικας. Το γεγονός αυτό επιβεβαίωσε ότι η θέση της εισόδου του αέριου δείγματος δεν επηρεάστηκε αρνητικά από την έλικα, η οποία αντίθετα θα μπορούσε να έχει θετική επίδραση.

Το drone που αναπτύχθηκε σε αυτό το πρότζεκτ βασίστηκε στο Green Falcon UAV, μη επανδρωμένο όχημα που αναπτύχθηκε από το Queensland University of Technology σε συνεργασία με το Αυστραλιανό κέντρο ερευνών αεροδιαστήματος και αυτοματισμού (Australian Research Centre for Aerospace and Automation-ARCAA). Ένα από τα βασικότερα συστήματα αυτού του drone είναι το σύστημα πλοήγησης (Navigation system), τα κύρια συστατικά του οποίου είναι ο αυτόματος πιλότος, ο αισθητήρας ταχύτητας του αέρα, ο αισθητήρας περισκοπίου, ο μετρητής επιτάχυνσης, το μαγνητόμετρο, ο μετρητής βαρομετρικής πίεσης, το GPS και ένα σύστημα ασφαλούς αποτυχίας. Ο αυτόματος πιλότος που χρησιμοποιήθηκε στο συγκεκριμένο μοντέλο ήταν ένας ArduPilot Mega 2.5, το οποίο είναι ένα πλήρες σύστημα αυτόματου πιλότου ανοιχτής πηγής με υψηλή σχέση ωφέλειας-κόστους και χαμηλό βάρος. Το σύστημα αυτόματου πιλότου έχει 3 κύριες λειτουργίες:

- 1) Την αυτόνομη λειτουργία (autonomous mode), για πλήρη εκτέλεση της μη επανδρωμένης αποστολής, με προκαθορισμό από τον επίγειο σταθμό ελέγχου των σημείων από τα οποία θα διέρχεται το drone.
- 2) Τη σταθεροποιημένη λειτουργία (stabilized mode), για να βοηθηθεί ο χειριστής που βρίσκεται στο έδαφος στον έλεγχο και τη σταθεροποίηση της πτήσης του αεροσκάφους. Σε αυτή τη λειτουργία ο χειριστής έχει μερικό έλεγχο του drone και σε περίπτωση που δεν υπάρχει ανθρώπινος χειριστής, ο αυτόματος πιλότος είναι σε θέση να διατηρήσει ένα επίπεδο πτήσης του αεροσκάφους.
- 3) Τη χειροκίνητη λειτουργία (manual mode), η οποία είναι αρκετά χρήσιμη για την πραγματοποίηση του ελέγχου πριν την εκκίνηση της πτήσης, καθώς ο αυτόματος πιλότος λειτουργεί σαν διαμεσολαβητής όλων των εντολών που πρέπει να δοθούν. Η συγκεκριμένη λειτουργία επιτρέπει στον χειριστή να προγραμματίζει ελεύθερα χειροκίνητες απογειώσεις, ελιγμούς και προσγειώσεις του μη επανδρωμένου

οχήματος, όταν ο αυτόματος πιλότος δεν έχει προγραμματιστεί εκ των προτέρων για την εκτέλεση των προαναφερθέντων δραστηριοτήτων.

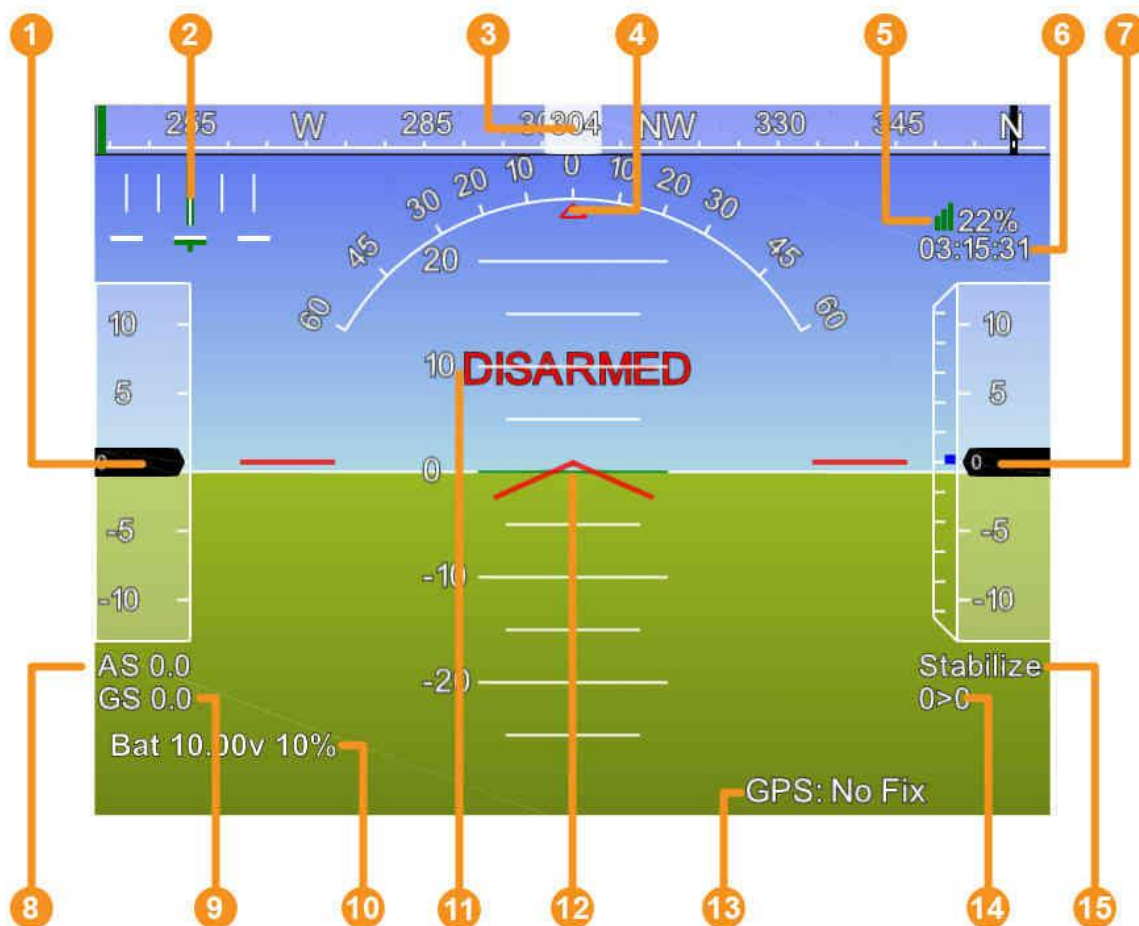
Και στις τρεις αυτές λειτουργίες ο αυτόματος πιλότος είναι ικανός να αποστέλλει στον επίγειο σταθμό ελέγχου αρκετές σημαντικές πληροφορίες που σχετίζονται με την πτήση, όπως η ταχύτητα του αέρα, η θέση του GPS και η κατάσταση της μπαταρίας, χρησιμοποιώντας μονάδες τηλεμετρίας. Συγκεκριμένα, η μονάδα τηλεμετρίας που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την περίπτωση ήταν το RFD900, το οποίο λειτουργεί στα 900MHz, είναι αρκετά ελαφρύ (50g), έχει μικρό μέγεθος, έχει μεγάλη εμβέλεια μετάδοσης πληροφοριών και δεδομένων (>40 χλμ) και απαιτεί περίπου 1W ισχύ μετάδοσης.

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στον επίγειο σταθμό ελέγχου ήταν το Mission Planner, ένα πρόγραμμα δωρεάν διαθέσιμο για Windows. Επιλέχθηκε για να καθορίσει τα σημεία της πορείας του μη επανδρωμένου οχήματος όντας βασισμένο στους χάρτες της Google (Google maps), για να στείλει εντολές στον αυτόματο πιλότο, για να λάβει και να δώσει σε μορφή γραφήματος τα δεδομένα από τον αυτόματο πιλότο σε πραγματικό χρόνο, για να κατεβάσει τα αρχεία καταγραφής και να αναλύσει τα δεδομένα. Η εικόνα παρακάτω μας δίνει να καταλάβουμε τι φαίνεται στην οθόνη του επίγειου σταθμού που είναι εξοπλισμένος με το συγκεκριμένο πρόγραμμα.



Εικόνα 14: Απεικόνιση με Mission Planner. [6]

Βλέπουμε πόσες χρήσιμες πληροφορίες μπορούμε να λάβουμε παρατηρώντας τις συγκεκριμένες εικόνες. Δεξιά απεικονίζονται αρκετά στοιχεία, όπως το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος, το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το drone, η τροχιά που έχει διαγράψει μέχρι στιγμής, η πορεία που αναμένεται να ακολουθήσει κ.ά. Μία ακόμη πιο λεπτομερής άποψη της αριστερής φωτογραφίας δίνεται στην επόμενη σελίδα.



Εικόνα 15: Επεξήγηση των ενδείξεων του Mission Planner. [6]

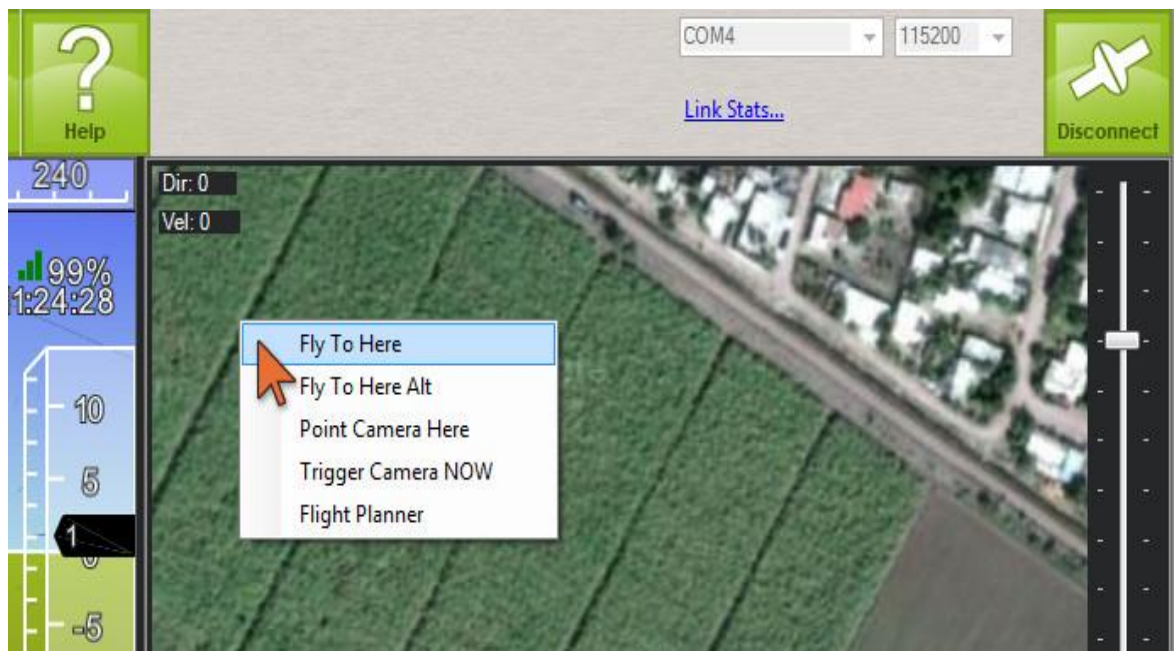
- 1) Ταχύτητα του αέρα (ή ταχύτητα του εδάφους αν δεν υπάρχει αισθητήρας ταχύτητας του αέρα)
- 2) Προειδοποίηση για την παρέκκλιση του drone από την προκαθορισμένη του πορεία
- 3) Κατεύθυνση στην οποία ήδη κινείται το αεροσκάφος
- 4) Γωνία κλίσης
- 5) Σύνδεση ασύρματης τηλεμετρίας
- 6) Η ώρα στο GPS
- 7) Υψόμετρο (η μπλε μπάρα είναι ο ρυθμός ανόδου)
- 8) Ένδειξη της ταχύτητας του αέρα
- 9) Ένδειξη της ταχύτητας του εδάφους
- 10) Κατάσταση της μπαταρίας
- 11) Τεχνητός ορίζοντας
- 12) Η θέση του αεροσκάφους

13) Η κατάσταση του GPS

14) Τρέχων αριθμός σημείου διέλευσης > απόσταση από το σημείο

15) Τρέχουσα λειτουργία της πτήσης

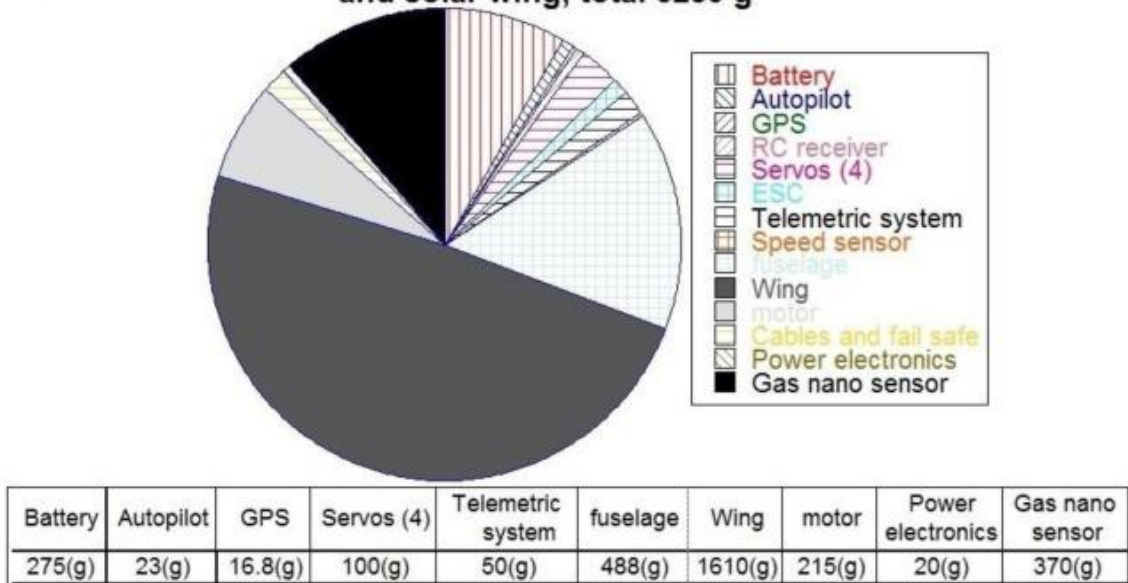
Το Mission Planner επιτρέπει επίσης στον χειριστή να δώσει εντολή στο αεροσκάφος να πάει κατευθείαν σε όποιο σημείο αυτός επιθυμεί. Αυτό γίνεται πολύ απλά, καθώς το μόνο που χρειάζεται είναι ένα δεξί κλικ στον χάρτη και επιλογή της εντολής "Fly to here". Το όχημα θα πετάξει και θα παραμείνει εκεί μέχρι να πάρει νέα εντολή για μετάβαση σε άλλο σημείο. Αυτό απεικονίζεται αμέσως παρακάτω.



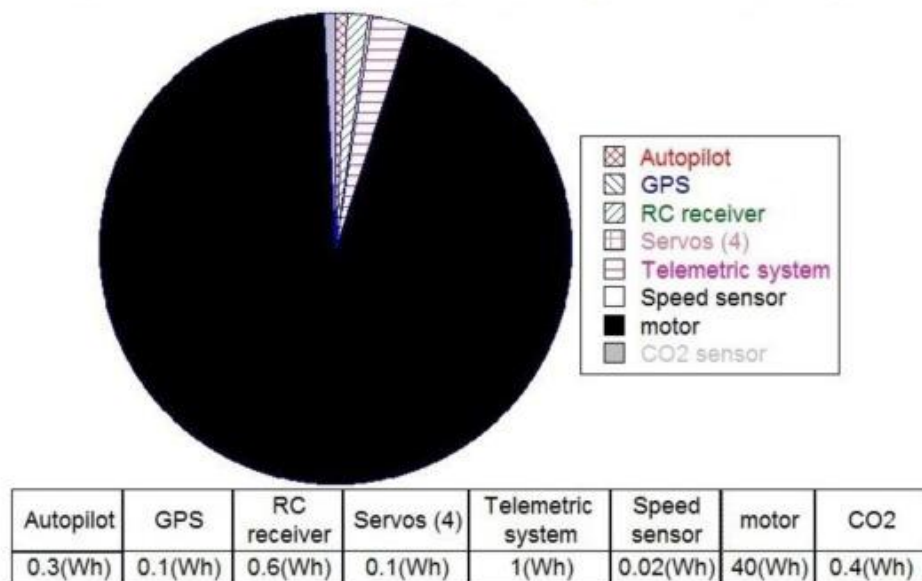
Εικόνα 16: Η εντολή "Fly to Here". [6]

Είναι επίσης χρήσιμο να αντιληφθούμε την κατανομή του βάρους και της ισχύος που υπάρχουν στο μη επανδρωμένο όχημα. Σε αυτό μας βοηθάει πολύ το διάγραμμα που ακολουθεί. [6]

A) UAV weight distribution with the nano-sensor system and solar wing, total 3285 g



B) UAV power distribution (total power required 42.52 W-h)



Γράφημα 3: A) Κατανομή βάρους B) Κατανομή ισχύος. [5]

Παρατηρούμε πως το μεγαλύτερο κομμάτι του συνολικού βάρους 3285 g που έχει το drone είναι τα φτερά, με βάρος 1610 g. Σημαντικά τμήματα του συνολικού βάρους αποτελούν ακόμη η άτρακτος (488 g) και ο νανοαισθητήρας αερίου (370 g). Αντίθετα, προσέχουμε πως είναι αμελητέο το βάρος του GPS (16,8g) και του αυτόματου πιλότου.

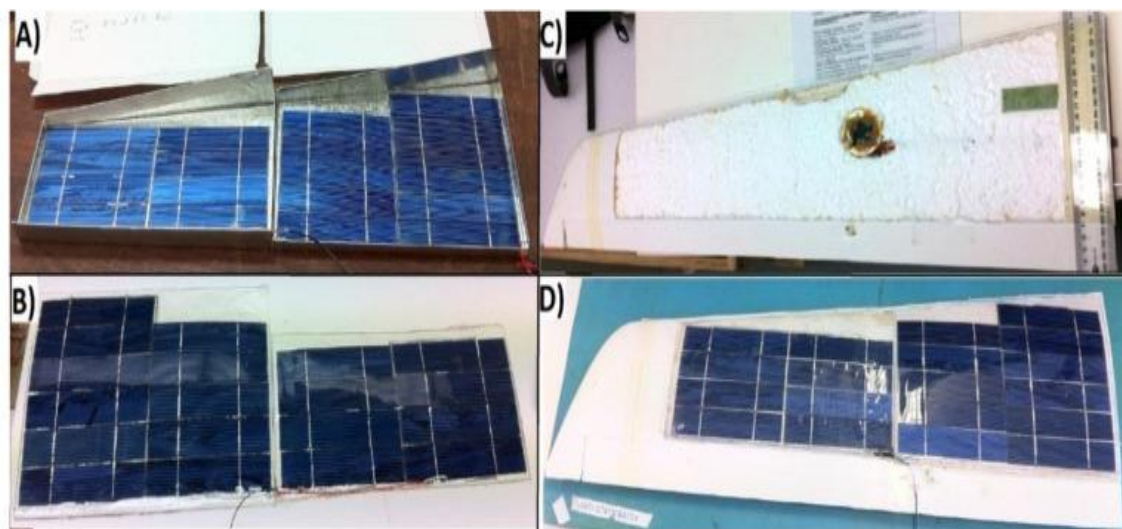
Σχετικά με την κατανομή της ισχύος, παρατηρούμε πως σχεδόν σε αποκλειστικό βαθμό αυτή καταναλώνεται από τον κινητήρα (40Wh από τα συνολικά 42,52Wh), κάτι απολύτως λογικό. Ωστόσο, η συνολική ενεργειακή ζήτηση του μη επανδρωμένου οχήματος αναμένεται να είναι υψηλότερη εξαιτίας της ανεπάρκειας των ηλεκτρονικών συσκευών. Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{demand_total} = \frac{(E_{avionics} + E_{gas_s})}{\eta_{power\ electronics} \times \eta_{avionics}}$$

-avionics: τα ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη, όπως πχ όπως για παράδειγμα τα συστήματα επικοινωνιών, πλοήγησης, καταγραφής δεδομένων, ελέγχου πτήσης, αποφυγής συγκρούσεων κ.ά. Ο συντελεστής απόδοσής τους συμβολίζεται με η_{av} .

-power electronics: οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για την παροχή ενέργειας στο σύστημα, όπως πχ οι μπαταρίες. Ο συντελεστής απόδοσής τους συμβολίζεται με η_{pe} .

Όπως έχουμε αναφέρει, σε αυτό το πείραμα χρησιμοποιήθηκε ένα ηλιακό drone. Επομένως την απαιτούμενη ενέργεια παρείχαν τόσο η ηλιακή ακτινοβολία όσο και η μπαταρία. Για την κατασκευή των ηλιακών πινάκων που τοποθετήθηκαν στα φτερά του χρησιμοποιήθηκαν μικρές ηλιακές κυψέλες από σιλικόνη (Silicon Solar Cells- SCC) συνδεδεμένες σε σειρά και παράλληλα για να επιτευχθούν η απαιτούμενη τάση και η απαιτούμενη ένταση του ρεύματος.



Εικόνα 17: A) Πίνακας SSC του αριστερού πτερυγίου B) πίνακας SCC του δεξιού πτερυγίου "περασμένος" με διαφανή και εύκαμπτη ρητίνη C) το ξεφλουδισμένο αριστερό πτερύγιο, έτοιμο να φιλοξενήσει τον ηλιακό πίνακα D) η τελική και ολοκληρωμένη εγκατάσταση του πίνακα SSC. [5]

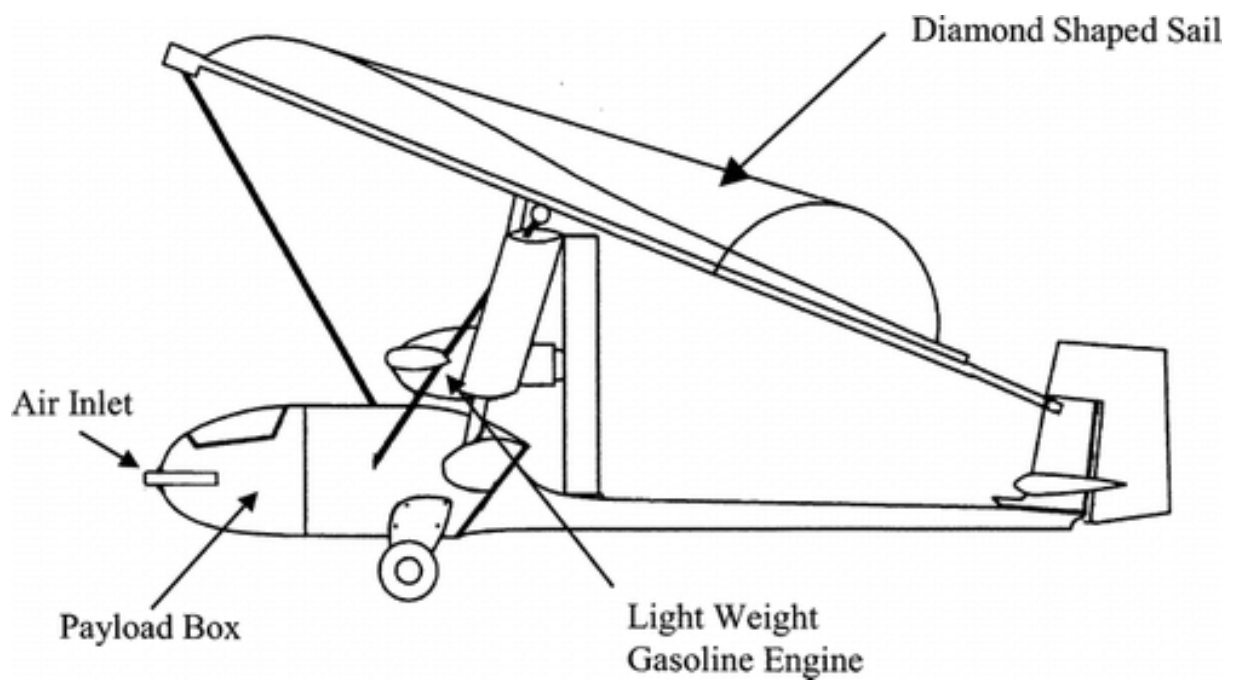
1.3.4 Παράδειγμα 4

Ο Maurizio Rossi του Πανεπιστημίου του Τρέντο της Ιταλίας, μαζί με μία ομάδα συναδέλφων του εργάστηκε πάνω στο θέμα του εντοπισμού διαρροής αερίων με τη χρήση microdrones και της ενεργειακής κατανάλωσης τόσο του drone όσο και του αισθητήρα. Τελικώς, κατάφεραν να αναπτύξουν επιτυχώς ένα νέο σύστημα ανίχνευσης αερίων. Η συσκευή αυτού του συστήματος βασίζεται στη χρήση ενός πλήρως αυτοματοποιημένου αισθητήρα μεταλλικών οξειδίων, ικανού να συλλέγει και να αποθηκεύει δεδομένα για 30 λεπτά. Οι ερευνητές τοποθέτησαν τη συσκευή κάτω από ένα εξακόπτερο και πραγματοποίησαν 2 πειράματα. Στο πρώτο το drone αιωρήθηκε πάνω από ένα ανοιχτό μπουκάλι ισοπροπυλικής αλκοόλης και στο δεύτερο πέταξε πάνω από την καπνοδόχο του πανεπιστημίου. Και τα δύο πειράματα έδειξαν πως η απόδοση της ανίχνευσης δεν επηρεάστηκε από τον αέρα και την ικανότητα του συστήματος να δώσει χωρική περιγραφή της συγκέντρωσης πτητικών οργανικών ενώσεων.

Και οι δύο έρευνες, από τους Malaver και Rossi, επικεντρώθηκαν στην ενσωμάτωση των αισθητήρων στα μη επανδρωμένα οχήματα και κατέδειξαν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης χαμηλού κόστους και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης αισθητήρων. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερους χρόνους δειγματοληψίας για αποστολές που σχετίζονται με τη μέτρηση της ποιότητας του αέρα.

1.3.5 Παράδειγμα 5

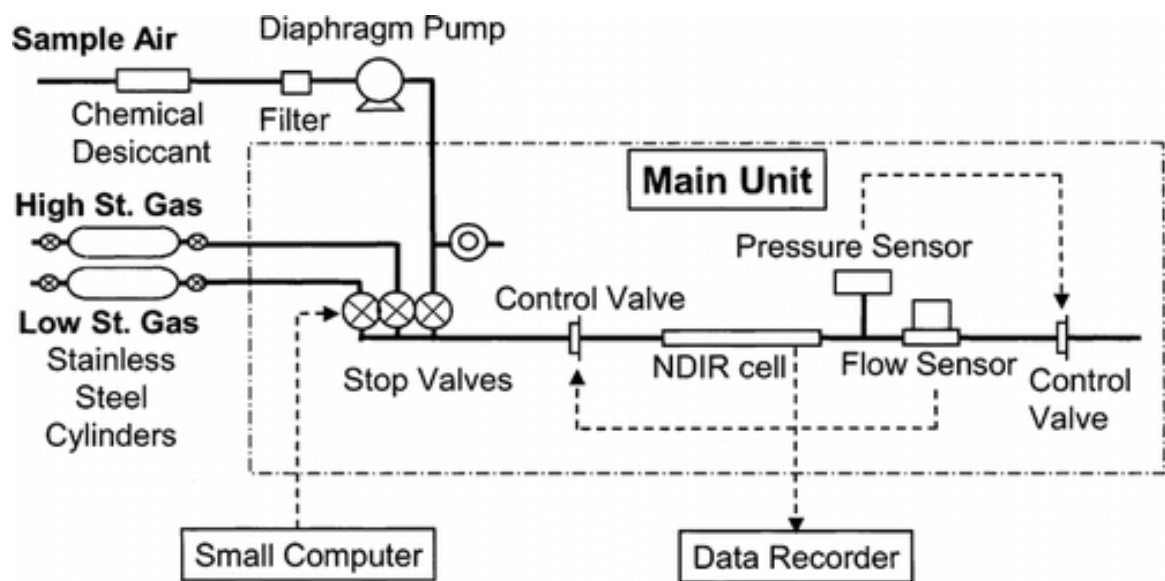
Μία ομάδα αποτελούμενη από μέλη του παγκόσμιου περιβαλλοντικού φόρουμ και από μέλη του εθνικού ινστιτούτου περιβαλλοντικών μελετών της Ιαπωνίας, αμφότερα με έδρα την πόλη Tsukuba, κατέδειξε ότι η χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων είναι μία κατάλληλη και σχετικά χαμηλού κόστους μέθοδος μέτρησης μεταβολών του CO₂ εντός και ελαφρώς ψηλότερα από το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Οι ερευνητές εξέτασαν και τελικά ενσωμάτωσαν ένα ωφέλιμο φορτίο ανίχνευσης CO₂ περίπου 3,5 κιλών, με χρόνο απόκρισης 20 δευτερόλεπτα και ακρίβεια $\pm 0.26 \text{ ppm}$. Με μέγιστη διάρκεια πτήσης τη 1,5 ώρα το drone ήταν σε θέση να ανέλθει στα 2000 μέτρα (στην περιοχή που πραγματοποιήθηκε η κύρια παρατήρηση) και έπειτα να κατέβει περίπου στα 650 μέτρα ακολουθώντας ελικοειδή τροχιά, πριν την τελική του προσγείωση στο σημείο εκκίνησης. Μετά την πραγματοποίηση 15 πτήσεων, οι ερευνητές προχώρησαν στο συμπέρασμα ότι το σύστημα ήταν ικανό να διεξάγει ακριβείς και υψηλής συχνότητας μετρήσεις. Ωστόσο, τα δεδομένα για το CO₂ δεν συλλέχθηκαν σε επίγειους σταθμούς και συνεπώς οι άμεσες συγκρίσεις δεν ήταν δυνατές. Από κάτω δίνεται μία εικόνα του οχήματος που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 18: Σχηματική απεικόνιση του μη επανδρωμένου οχήματος. [7]

Βλέπουμε καθαρά σε ποιο σημείο του αεροσκάφους είναι τοποθετημένα κάποια από τα επιμέρους τμήματά του, όπως ο χώρος του ωφέλιμου φορτίου (payload box), η είσοδος του αέρα (air inlet), ο χαμηλού βάρους βενζινοκινητήρας (light weight gasoline engine) και το πανί σε σχήμα διαμαντιού (diamond shaped sail).

Εδώ έχουμε μία σχηματική απεικόνιση της συσκευής που κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της συγκέντρωσης CO₂.



Εικόνα 19: Σχηματική απεικόνιση της συσκευής εντοπισμού CO₂. [7]

Σε αυτή την εικόνα βλέπουμε που βρίσκονται σημαντικά συστατικά του μηχανισμού μέτρησης, όπως οι βαλβίδες ελέγχου, οι αισθητήρες ροής και πίεσης, ο χώρος καταγραφής των δεδομένων κ.ά. [7]

1.3.6 Παράδειγμα 6

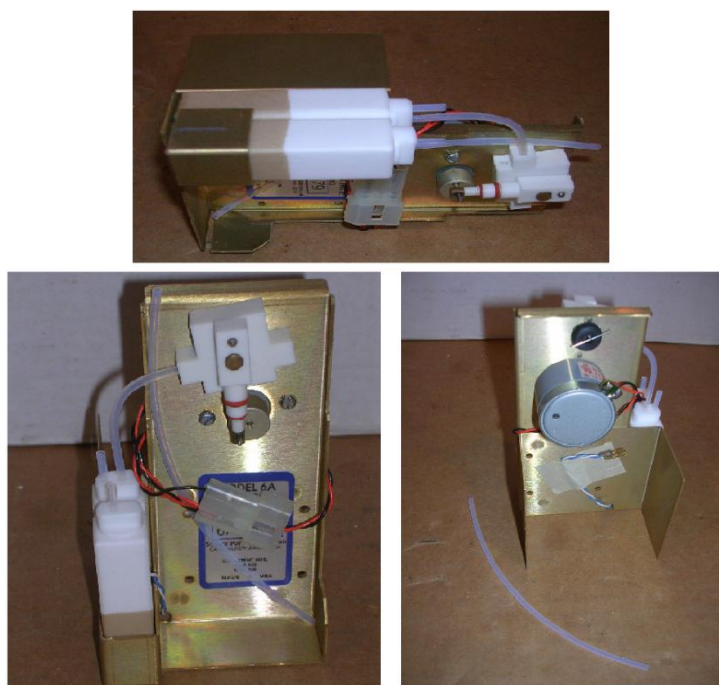
Ο Sam Illingworth είναι ένας ακόμα που ασχολήθηκε με τους αέριους ρύπους και την αξιοποίηση των drones για τη μέτρηση αυτών. Με μία ομάδα συνεργατών του καταπιάστηκαν με τη μέτρηση των συγκεντρώσεων όζοντος. Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να αναφέρουμε πως στην τροπόσφαιρα (δηλαδή στο χαμηλότερο μέρος της ατμόσφαιρας που κατοικείται από τους ανθρώπους) το όζον θεωρείται ατμοσφαιρικός ρύπος, παρόλο που ως γνωστόν στη στρατόσφαιρα (το εξωτερικό μέρος της γήινης ατμόσφαιρας) λειτουργεί σαν ασπίδα για τον πλανήτη μας απορροφώντας την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Οι εργασίες, λοιπόν, της ομάδας αυτής περιείχαν την τοποθέτηση μιας ελαφριάς συσκευής πάνω σε ένα φθηνό drone, τεχνολογίας Skywalker του οποίου οι προδιαγραφές φαίνονται στον πίνακα 1 και που αναπτύχθηκε στην πόλη Wuhan της Κίνας, για τη μέτρηση των διακυμάνσεων στη συγκέντρωση όζοντος σε αστική κλίμακα.

Πίνακας 1

Specifications	Skywalker
Length	1100 mm
Wingspan	1880 mm
Payload Bay	3450 cm ³
Maximum take-off weight	3.0 kg
Typical cruising s	45 km h ⁻¹
Endurance (10 000 mAh battery)	1 h minimum

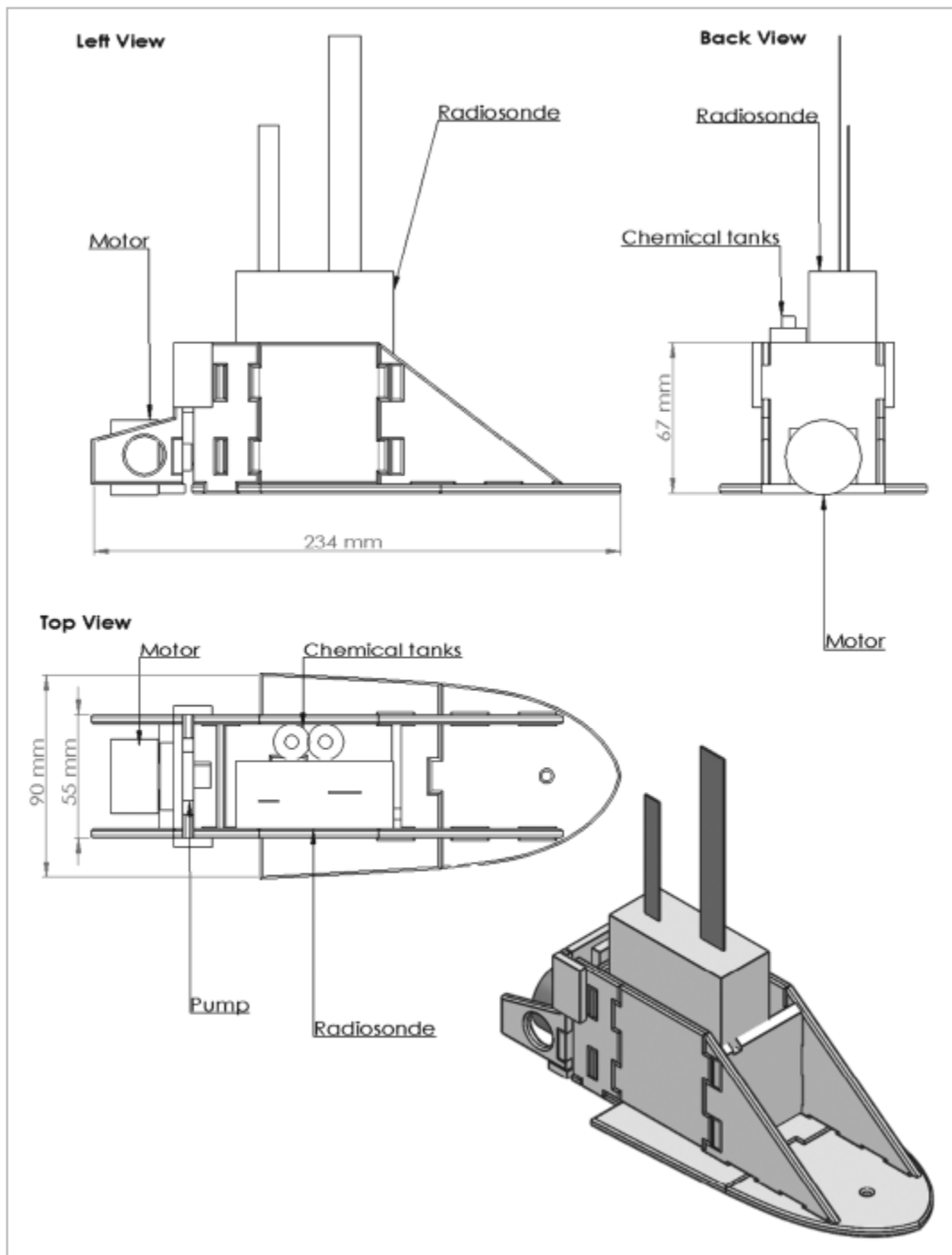
Προδιαγραφές του Skywalker drone. [8]

Η συσκευή αυτή κατασκευάστηκε από την Science Pump Corporation, η οποία έχει την έδρα της στο Camden του New Jersey των ΗΠΑ και παρακάτω μπορούμε να δούμε τη μορφή της.



Εικόνα 20: Συσκευή Ozonesonde. [8]

Παρακάτω στην πρώτη φωτογραφία παρουσιάζεται σχηματικά ο τρόπος με την οποίο γίνεται η τελική ενσωμάτωση της συσκευής στο μη επανδρωμένο όχημα και στη δεύτερη το βλέπουμε στην τελική του μορφή έχοντας τη συσκευή πλήρως ενσωματωμένη.



Εικόνα 21: Σχηματική απεικόνιση της τελικής ενσωμάτωσης της συσκευής ozonesonde. [8]



Εικόνα 22: Ολοκληρωμένο το σύστημα συσκευής ozonesonde-Skywalker drone. [8]

Κατά την πραγματοποίηση πτήσης κοντά στο Μάντσεστερ του Ηνωμένου Βασιλείου, καταγράφηκε μία μέγιστη συγκέντρωση 39ppm, η οποία συσχετίστηκε με μία βραχυπρόθεσμη αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου. Αντίθετα, τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από δύο κοντινούς επίγειους σταθμούς δεν παρουσίασαν κάποια διακύμανση, αλλά μία σταθερή συγκέντρωση όζοντος, περίπου 19ppm και 26ppm αντίστοιχα. [8]

1.3.7 Παράδειγμα 7

Ο Ινδός Dhanith Krishna πριν λίγο καιρό είχε ασχοληθεί και αυτός με το θέμα της ανίχνευσης αέριων ρύπων αξιοποιώντας τις δυνατότητες που προσφέρουν τα μη επανδρωμένα οχήματα. Σαν κεντρική του ιδέα είχε πως οι αισθητήρες αέριων ρύπων σε συνδυασμό με τη χρήση drones είναι μία ασφαλής και αποτελεσματική λύση για τον εντοπισμό διαρροών αερίων. Οι στόχοι που είχε θέσει για τη σχεδίαση του συστήματος που θα κατασκεύαζε ήταν το μικροσκοπικό του μέγεθος και ο υψηλός βαθμός ευκινησίας του, καθώς επίσης και η δυνατότητα να εκτελεί δραστηριότητες, ανεξάρτητα από την περιοχή στην οποία αποστέλλεται και τις δυσκολίες που αυτή παρουσιάζει ως προς τη μορφολογία του εδάφους της. Ένα τετρακόπτερο σαν αυτό της παρακάτω φωτογραφίας ήταν το πλέον κατάλληλο για τους σκοπούς του.

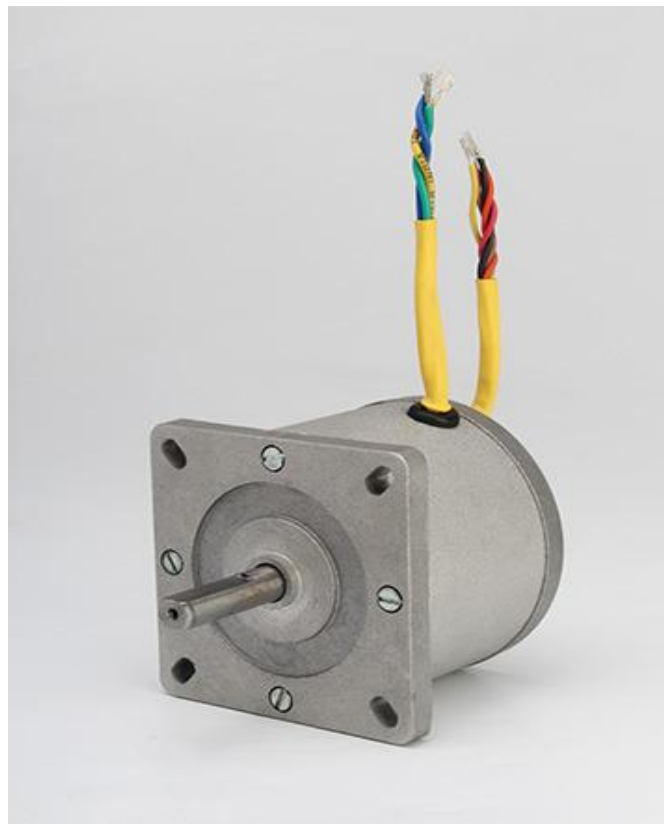


Εικόνα 23: Το τετρακόπτερο που χρησιμοποιήθηκε. [9]

Τα κύρια συστατικά του συγκεκριμένου τετρακόπτερου είναι τα εξής:

1) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψυκτήρες (brushless DC motors) για τη μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε μηχανική ενέργεια. Οι τυπικοί κινητήρες τέτοιου τύπου χρησιμοποιούν έναν ή περισσότερους μαγνήτες στο ρότορα και ηλεκτρομαγνήτες στο περίβλημα του κινητήρα για τον στάτορα. Μέσω ελεγκτή του κινητήρα γίνεται η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο. Ο συγκεκριμένος σχεδιασμός είναι μηχανικά απλούστερος από εκείνον που περιλαμβάνει την τοποθέτηση ψυκτήρων, διότι εξαλείφει την πιθανότητα εμφάνισης κάποιας επιπλοκής κατά τη μεταφορά ενέργειας από το εξωτερικό το κινητήρα προς τον περιστρεφόμενο ρότορα. Με τη χρήση ενός ελεγκτή του κινητήρα μπορεί να ανιχνευθεί η θέση του ρότορα μέσω αισθητήρων φαινομένου Hall (Hall effect sensors) ή παρόμοιων συσκευών και να ελεγχθεί με ακρίβεια ο συγχρονισμός και η φάση του ρεύματος, ώστε να υπάρξει βελτιστοποίηση της ροπής, εξοικονόμηση ενέργειας και ρύθμιση της ταχύτητας. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι ένας αισθητήρας φαινομένου Hall είναι ένας μετατροπέας που μεταβάλλει την τάση εξόδου του σε απόκριση ενός μαγνητικού πεδίου. Ένας τέτοιος κινητήρας έχει αρκετά και σημαντικά πλεονεκτήματα. Τέτοια είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής του, η μικρή έως και μηδενική συντήρησή του και ο μεγάλος βαθμός απόδοσής του. Ωστόσο είναι λογικό πως αυτοί οι κινητήρες έχουν και μειονεκτήματα. Τέτοια είναι το υψηλό

αρχικό τους κόστος και το γεγονός πως για τη λειτουργία τους απαιτούνται πιο σύνθετοι ελεγκτές της ταχύτητάς τους. Μερικές φορές τέτοιοι κινητήρες αναφέρονται ως "σύγχρονοι κινητήρες, παρόλο που δε διαθέτουν εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος που να συγχρονίζεται μαζί τους, όπως συμβαίνει με τους κανονικούς σύγχρονους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος. Ένας τέτοιος κινητήρας, χωρίς ψυκτικές, καθώς και ελεγκτής του φαίνονται παρακάτω στην πρώτη και τη δεύτερη εικόνα αντίστοιχα.

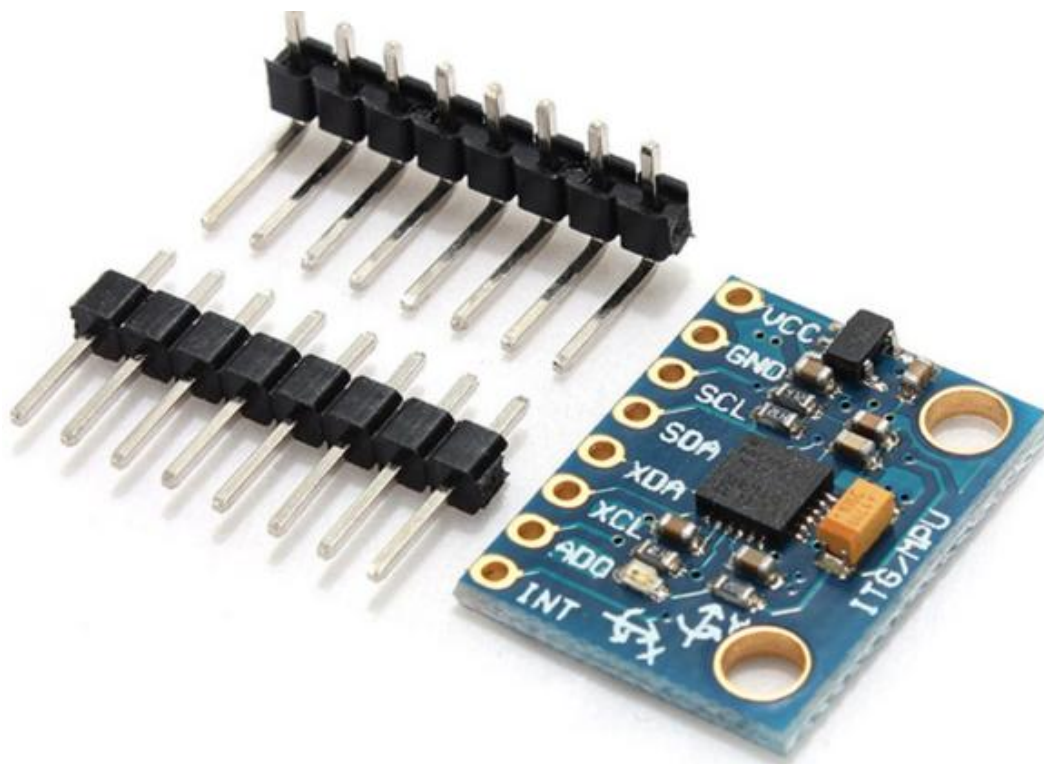


Εικόνα 24: Κινητήρας συνεχούς ρεύματος χωρίς ψυκτικές. [28]



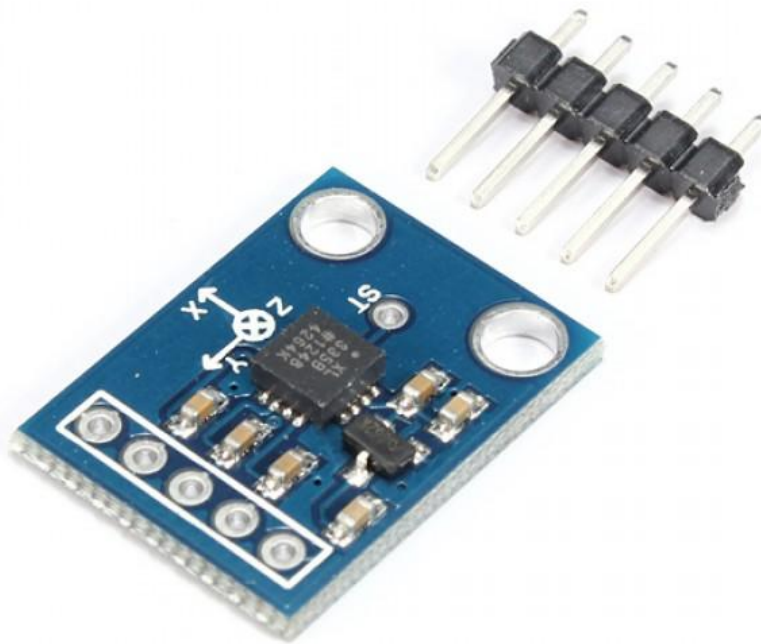
Εικόνα 25: Ελεγκτής του κινητήρα.[28]

2) Ένα ηλεκτρονικό γυροσκόπιο τριών αξόνων (three Axis electronic gyro). Πρόκειται για έναν περιστρεφόμενο τροχό ή δίσκο, στον οποίο οι άξονες περιστροφής είναι ελεύθεροι να λάβουν οποιοδήποτε προσανατολισμό από μόνοι τους. Κατά την εκτέλεση της περιστροφής, ο προσανατολισμός ενός άξονα δεν επηρεάζεται καθόλου από την κλίση ή την περιστροφή της βάσης, σύμφωνα με τη διατήρηση της στροφορμής. Εξαιτίας λοιπόν αυτού του γεγονότος, τα γυροσκόπια καθίστανται χρήσιμα για τη μέτρηση ή τη διατήρηση του προσανατολισμού των αξόνων. ένα ενδεικτικό ηλεκτρονικό γυροσκόπιο απεικονίζεται στην επόμενη σελίδα.



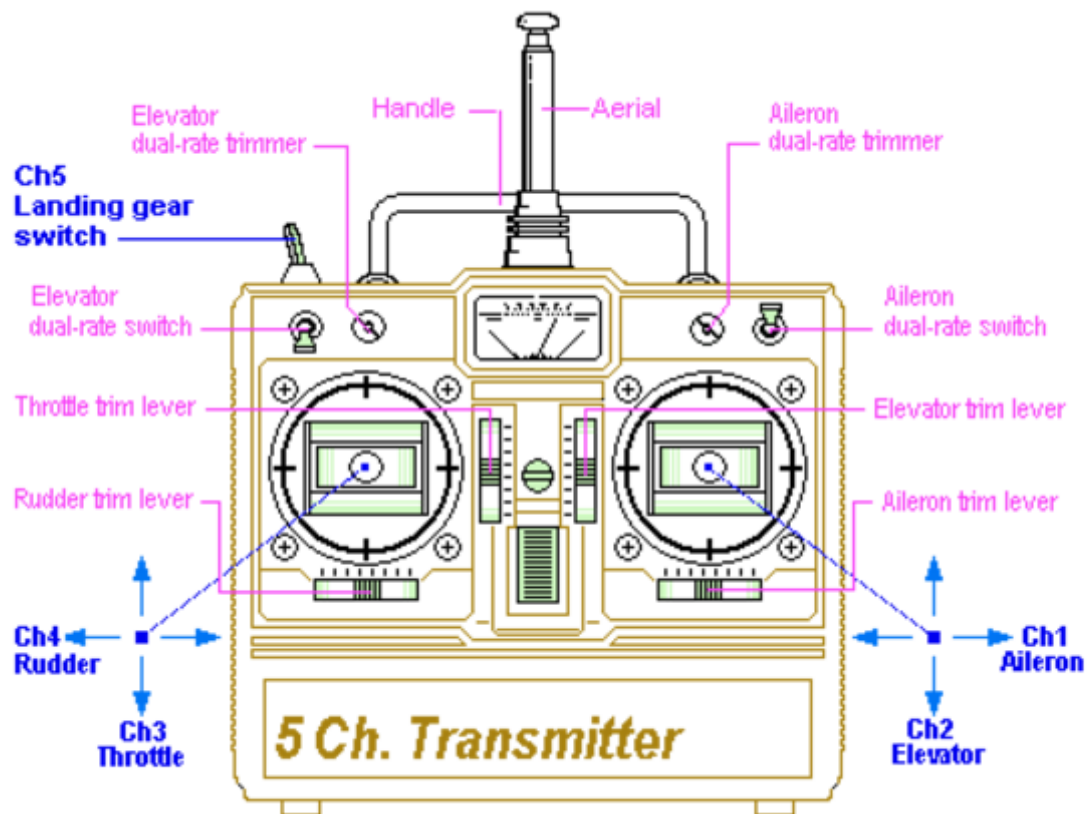
Εικόνα 26: Ηλεκτρονικό γυροσκόπιο τριών αξόνων. [29]

3) Ένα τριών αξόνων ηλεκτρονικό επιταχυνσιόμετρο (three Axis electronic accelerometer), δηλαδή μία συσκευή για τη μέτρηση της σωστής επιτάχυνσης. Όταν μιλάμε για σωστή επιτάχυνση αναφερόμαστε στην επιτάχυνση (ή αλλιώς στο ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας) ενός σώματος εντός του δικού του στιγμιαίου πλαισίου αναφοράς και αυτή δεν είναι ίδια με την επιτάχυνση που καταγράφεται σε ένα σταθερό σύστημα συντεταγμένων. Για παράδειγμα ένα επιταχυνσιόμετρο σε κατάσταση ηρεμίας στην επιφάνεια της γης θα μετρήσει μία επιτάχυνση εξαιτίας της βαρύτητας ευθεία προς τα πάνω, δηλαδή εξ ορισμού $g \approx 9.81 \text{ m/s}^2$. Αντίθετα, ένα επιταχυνσιόμετρο σε ελεύθερη πτώση, πέφτοντας προς τα κάτω με ρυθμό περίπου 9.81 m/s^2 , θα δώσει μηδενική μέτρηση. Ένα ηλεκτρονικό επιταχυνσιόμετρο φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 27: Ηλεκτρονικό επιταχυνσιόμετρο. [30]

4) Ένας πομπός ραδιοελέγχου (Radio Control Transmitter), δηλαδή ένας ηλεκτρονικός μηχανισμός που με τη χρήση ραδιοκυμάτων καθιστά δυνατό τον απομακρυσμένο έλεγχο μιας άλλης συσκευής. Ένας τυπικός πομπός ραδιοελέγχου αποτελείται από 4 έως 6 κανάλια, τουλάχιστον 4 εκ των οποίων είναι αναλογικά. Αυτό σημαίνει ότι η ελεγχόμενη συσκευή θα μετακινείται ανάλογα με τις κινήσεις που κάνει ο χειριστής με τους μοχλούς ελέγχου. Υπάρχει δυνατότητα ύπαρξης πρόσθετων καναλιών, αλλά μόνο με λειτουργία ανοιχτού-κλειστού (on-off mode), όπως ένας διακόπτης. Τέλος, ένας τέτοιος πομπός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενεργοποίηση ανασυρόμενων γραναζιών, αερόσακων, λαμπτήρων κ.ά. Ένας τέτοιος ενδεικτικός πομπός παρουσιάζεται στην επόμενη σελίδα.



Εικόνα 28: Πομπός ραδιοελέγχου. [31]

Στην εικόνα αυτή φαίνεται ένας RC πομπός 5 καναλιών 2 μοχλούς για κίνηση πάνω-κάτω και αριστερά-δεξιά. Τα 4 κανάλια είναι αναλογικά, ενώ το πέμπτο είναι κανάλι τύπου διακόπτη, on-off. Σε αυτή την περίπτωση φαίνεται η διαμόρφωση διπλής λειτουργίας, που είναι και η πιο συνηθισμένη. Με το δεξιό μοχλό ελέγχεται το ύψος στο οποίο θα βρίσκεται το μη επανδρωμένο όχημα και με τον αριστερό καθορίζεται η ταχύτητα που θα αναπτύσσει. Στη διαμόρφωση απλής λειτουργίας ο έλεγχος του ύψους γίνεται με τον αριστερό μοχλό και ο έλεγχος της ταχύτητας με τον δεξιό.

5) Ένας πίνακας ελέγχου πτήσης (Flight Control Board). Η επιλογή της κατάλληλης μονάδας ελέγχου της πτήσης του μη επανδρωμένου οχήματος πρέπει να γίνει με προσοχή και εξετάζοντας προηγουμένως κάποιες χρήσιμες πληροφορίες, όπως η επιλογή του επεξεργαστή. Επί του παρόντος υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ των F1,F3,F4 και F7, οι οποίοι φαίνονται αντίστοιχα παρακάτω.



Εικόνα 29: Επεξεργαστές F1, F3, F4, F7. [25]

Αρχικά να αναφέρουμε ότι και οι 4 είναι μονάδες μικροελεγκτών που μπορούν να τοποθετηθούν μέσα στον πίνακα ελέγχου πτήσης να λειτουργήσουν ως το "μυαλό" αυτού του πίνακα, όπως γίνεται με τα CPU στους υπολογιστές όπου πραγματοποιούνται όλοι οι υπολογισμοί. Οι πρώτοι πίνακες ελέγχου πτήσης ήταν εξοπλισμένοι με επεξεργαστές F1, οι οποίοι πλέον έχουν τη χαμηλότερη ισχύ επεξεργασίας. Παράδειγμα τέτοιου επεξεργαστή είναι ο Naze32 ο οποίος απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 30: Επεξεργαστής Naze32. [26]

Το 2014 κυκλοφόρησαν οι επεξεργαστές F3 και μέχρι τώρα τα μοντέλα που υπάρχουν είναι ο X-Racer, ο Betaflight F3, ο LUX V2 και ο KISS FC.



Betaflight F3

Εικόνα 31: Επεξεργαστής Betaflight. [26]

Λίγο καιρό μετά κυκλοφόρησαν και οι επεξεργαστές F4, οι οποίοι άρχισαν σε σύντομο χρονικό διάστημα να γίνονται αρκετά δημοφιλείς. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι ο Raceflight Revolt, ο BrainFPV RE1 και ο DemonRC Soul.



Revolt F4

Εικόνα 32: Επεξεργαστής Revolt. [26]

Οι F7 επεξεργαστές είναι νεότερης γενιάς μονάδες μικροελεγκτών. Έχουν εισαχθεί αρκετά πρόσφατα στην αγορά και αυτή τη στιγμή υπάρχει περιορισμένος αριθμός τους. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου επεξεργαστής είναι ο AnyFC F7 που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 33: Επεξεργαστής AnyFC. [26]

Πριν συνεχίσουμε με τη σύγκριση των προαναφερθέντων επεξεργαστών πρέπει να αναφερθούμε σε αυτό που ονομάζεται UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) και που υπάρχει σε κάθε τύπο επεξεργαστή. Ουσιαστικά πρόκειται για έναν μικροεπεξεργαστή με προγραμματισμό που ελέγχει τη διεπαφή ενός υπολογιστή με τις συνδεδεμένες σειριακές συσκευές του. Με άλλα λόγια εξυπηρετεί την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του υπολογιστή και των σειριακών συσκευών.

Οι F3 επεξεργαστές έχουν τα κάτωθι πλεονεκτήματα έναντι των F1:

- Στα χαρτιά η ταχύτητα επεξεργασίας των δύο μοντέλων είναι παρόμοια, ωστόσο στην πραγματικότητα ο F3 εκτελεί γρηγορότερο υπολογισμό κυμαινόμενου σημείου λόγω της ειδικής μονάδας διακύμανσης (FPU-Floating Point Unit) που διαθέτει.
- Ο F3 διαθέτει έναν επιπλέον UART (3 έναντι 2) και έχει ειδική θύρα USB, οπότε όταν συνδέεται με υπολογιστή μέσω USB ο UART 1 δεν απασχολείται με τον ίδιο τρόπο που γίνεται στον F1. Αυτό καθιστά τον UART 1 πιο λειτουργικό στον F3 από ότι στον F1. Και αυτός είναι ο λόγος που σε κανονικές περιπτώσεις αποφεύγεται η χρησιμοποίηση του UART 1 στους F1 επεξεργαστές.

- Όλοι οι UART του F3 έχουν ενσωματωμένη δυνατότητα έμφυτης αναστροφής, κάτι που σημαίνει πως χρησιμοποιώντας έναν F3 μπορούμε να τρέξουμε προγράμματα όπως το SBUS χωρίς δυσκολίες.
- Οι νεότεροι F3 έχουν λειτουργικότερο σχεδιασμό και καλύτερα χαρακτηριστικά από τους πιο παλιούς F1.

Πάμε τώρα να δούμε μερικές διαφορές των F3 και F4:

- Ο F4 έχει υψηλότερη ταχύτητα επεξεργασίας, 168MHz έναντι 72MHz του F3.
- Ο F4 έχει από 3 έως 5 UART, κάτι που εξαρτάται από το σχεδιασμό και την κατασκευή του πίνακα, ενώ αντίθετα ο F3 έχει συνήθως μόνο 3 UART.
- F4 δεν έχει ενσωματωμένο μετατροπέα μέσα στον επεξεργαστή όπως ο F3

Οι F7 έχουν κάποια πλεονεκτήματα έναντι των F3 και F4:

- Γρηγορότερο επεξεργαστή στα 216 MHz
- Μεγαλύτερη διαθεσιμότητα UART
- Πιο σύγχρονους αγωγούς και περισσότερες δυνατότητες, κάτι που επιτρέπει τη μελλοντική τους ανάπτυξη.

Κάποιες διαφορές των επεξεργαστών παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 2

Processor (example chip)	Processor Speed	no. of UART on FC	Flash Memory*
F1 (STM32F103CBT6)	72MHz	2	128KB
F3 (STM32F303CCT6)	72MHz	3	256KB
F4 (STM32F405RGT6)	168MHz	3	1MB
F7 (STM32F745VG)	216MHz	8	1MB

* Διαφορές μεταξύ των επεξεργαστών. [26]

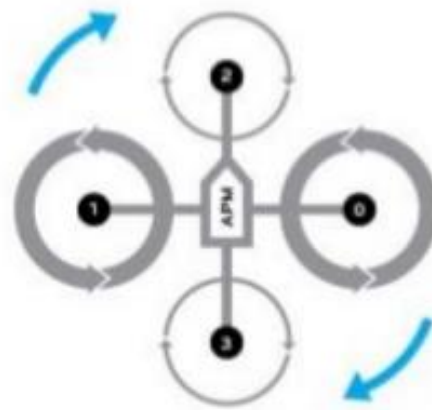
6) Μία ασύρματη ασπίδα μετάδοσης (wireless transmission shield), δηλαδή μία συσκευή που εγκαθίσταται στο μη επανδρωμένο όχημα προκειμένου να εξασφαλίσει πως δεν θα υπάρχουν παρεμβολές στην επικοινωνία μεταξύ του συστήματος και του χειριστή και οι οποίες μπορεί να οφείλονται είτε σε φυσικές αιτίες (πχ η υπερϊώδης ακτινοβολία του ήλιου) είτε σε σήματα που λαμβάνονται από άλλα συστήματα μη επανδρωμένων οχημάτων. Μία ιδέα για το πως είναι μία τέτοια ασπίδα μας δίνεται από την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 34: Ασύρματη ασπίδα μετάδοσης. [32]

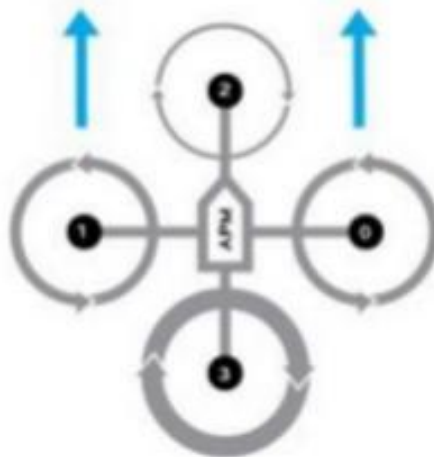
7) Ένας συναγερμός διαρροής αερίου (leakage alarm). Αυτός μας ειδοποιεί σε περίπτωση που υπάρξει μία μη αναμενόμενη απελευθέρωση κάποιου αερίου που μπορεί να δημιουργήσει επικίνδυνες καταστάσεις, όπως σημαντικά προβλήματα υγείας ή ακόμα και εκρήξεις.

Στη συνέχεια παρατίθενται κάποιες φωτογραφίες που απεικονίζουν τον τρόπο λειτουργίας του τετρακόπτερου.



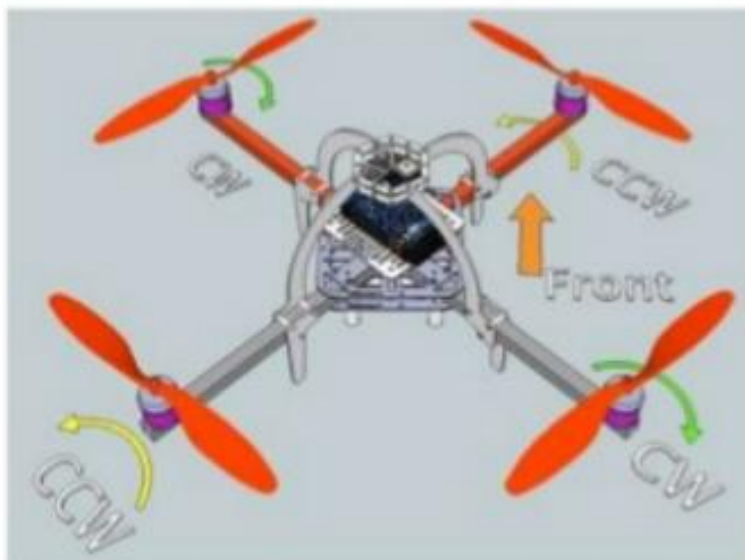
Εικόνα 35: Κίνηση έλικας και κινητήρων. [9]

Εδώ βλέπουμε πως τα απέναντι ζευγάρια κινητήρων επιταχύνουν προς αντίθετες κατευθύνσεις. Η έλικα περιστρέφεται δεξιά ή αριστερά αυξάνοντας την ταχύτητα του ενός ζευγαριού και μειώνοντας την ταχύτητα του άλλου.



Εικόνα 36: Οριζόντια κίνηση του οχήματος. [9]

Η παραπάνω εικόνα μας δείχνει πως επιτυγχάνεται η οριζόντια κίνηση του τετρακόπτερου. Αυτή πραγματοποιείται με την επιτάχυνση του ενός ζεύγους κινητήρων (αυξανόμενη ώθηση) και την επιβράδυνση του άλλου ζεύγους.



Εικόνα 37: Υψόμετρο του τετρακόπτερου. [9]

Αυτή η φωτογραφία δείχνει πως μπορεί να γίνει έλεγχος ή αλλαγή του υψομέτρου στο οποίο βρίσκεται το τετρακόπτερο. Γίνεται πολύ απλά, αυξάνοντας ή μειώνοντας την ταχύτητα όλων των κινητήρων ταυτόχρονα, ανάλογα με το αν θέλουμε να πάμε το τετρακόπτερο σε μεγαλύτερο ή μικρότερο ύψος αντίστοιχα.

Ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε από τον Krishna ήταν ένας MQ-4, ο οποίος ανιχνεύει με ευκολία μεθάνιο, βουτάνιο και προπάνιο. Φυσικά μπορεί να πραγματοποιηθεί αλλαγή του αισθητήρα και να επιλεγθεί κάποιος καταλληλότερος, ανάλογα με το τι θέλουμε να ανιχνεύσουμε.

Ένα σύστημα σαν αυτό που αναπτύχθηκε έχει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

- Ο εύκολος τηλεχειρισμός του κατά τη διάρκεια αποστολής για εντοπισμό τοξικών αερίων.
- Η καταλληλότητά του για δραστηριοποίηση σε περιοχές που δεν είναι εύκολα προσβάσιμες για ανθρώπους.

- Η προσαρμοστικότητα του, ανάλογα με τον τύπο των αερίων που θέλουμε να εντοπίσουμε.
- Το χαμηλό κόστος λειτουργίας του. [9,10]

1.3.8 Παράδειγμα 8

Το 2014 ο Robert A. Baxter και ο David H. Bush του T&B Systems (Technical & Business Systems) στην California, ενός διεθνή οργανισμού περιβαλλοντικής έρευνας, ασχολήθηκαν και αυτοί με τη σειρά τους με τη χρήση μικρών μη επανδρωμένων οχημάτων για τη μέτρηση της ποιότητας του αέρα. Οι στόχοι που έθεσαν με την ανάπτυξη της πλατφόρμας ήταν οι ακόλουθοι:

- Η αντικατάσταση των ελεύθερων πτήσεων ως τεχνική δειγματοληψίας.
- Η ύπαρξη μιας σταθερής και υψηλής ακρίβειας πλατφόρμας τριών διαστάσεων για τη συλλογή δείγματος.
- Η παροχή επαρκούς χρόνου πτήσης για την ολοκλήρωση διαφόρων αποστολών συλλογής δεδομένων.
- Η παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και απεικόνισή τους.
- Η ανάπτυξη αυτόνομων μεθόδων για τη συλλογή δείγματος.

Ακόμη, αναφέρθηκαν στις δυσκολίες της οποίας υπήρχαν ως προς τη χρησιμοποίηση των drones. Οι κυριότερες ήταν οι εξής:

- Οι αντιλήψεις που υπήρχαν από τον κόσμο, καθώς για αρκετό καιρό η λέξη "drone" δημιουργούσε μία αρνητική πρώτη εντύπωση σε κάποιον που δεν ήξερε ακριβώς περί τίνος πρόκειται και πολλοί πίστευαν πως παραβιάζεται η ιδιωτικότητα τους και θα βρίσκονται διαρκώς υπό παρακολούθηση. Για να ξεπεραστούν αυτές οι αντιλήψεις έπρεπε να αποδειχθεί πως τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν τα drones είναι πολύ σημαντικά.
- Οι περιορισμοί που θέτονταν από την Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας των ΗΠΑ, καθώς βασική της ανησυχία ήταν οι παρεμβολές που θα υπήρχαν στην αεροπλοΐα. Ακόμη, υπήρχε ανησυχία ως προς την ασφάλεια και την προστασία της ιδιοκτησίας. Τέλος, οι εμπορικές χρήσεις των drones περιορίζονταν σε μεγάλο βαθμό και απαιτούταν ειδική έγκριση για κάποια τέτοια περίπτωση.

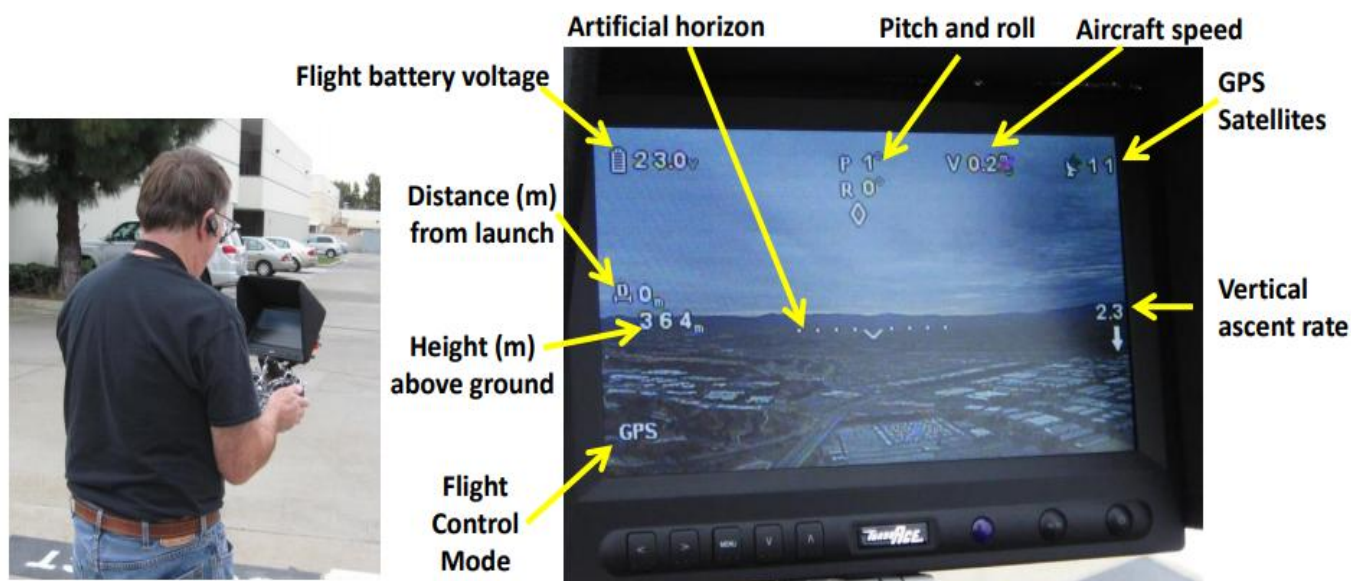
- Τεχνικές δυσκολίες. Αρχικά, η ευαισθησία των εξαρτημάτων των δεκτών είναι ικανή να δημιουργήσει προβλήματα κατά τη διάρκεια της πτήσης και για την αποφυγή τους απαιτείται κατάλληλη θωράκιση. Επίσης, οι επιδράσεις πιθανών κραδασμών μπορεί να έχουν αρνητική επιρροή σε ορισμένα όργανα.

Για την ανάπτυξη του συστήματός τους χρησιμοποίησαν τα παρακάτω:

- Μία εμπορική πλατφόρμα ως θεμέλιο.
- Εξοπλισμό από ίνες άνθρακα, αλουμινίου και ανοξείδωτου χάλυβα.
- Ηλεκτρικές μικροσυσκευές για την ελαχιστοποίηση εκπομπών και κραδασμών.
- Εξαρτήματα απόσβεσης κραδασμών για βιντεοσκόπηση και σταθερότητα των στοιχείων δειγματοληψίας.

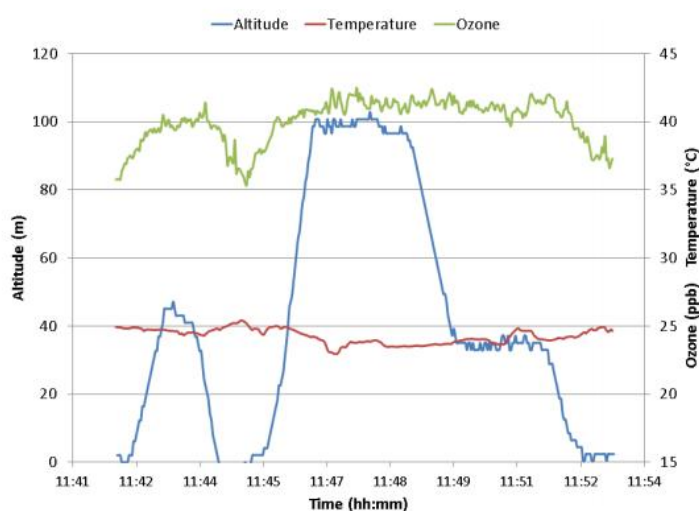
Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα της δειγματοληπτικής πλατφόρμας που τελικά κατάφεραν να αναπτύξουν είναι τα παρακάτω:

- Σχεδιασμός χαμηλού βάρους για εύκολη μεταφορά της.
- Γρήγορη ρύθμιση εγκατάστασης.
- Αυτόματη ανάκτησή της σε περίπτωση απώλειας ελέγχου μίας πτήσης.
- Δυνατότητα ωφέλιμου φορτίου βάρους 1-1,5 kg.
- Χρόνος πτήσης μέχρι 30 λεπτά ανάλογα με το ωφέλιμο φορτίο.
- Σε πραγματικό χρόνο τηλεμετρία βασικών πληροφοριών και μετάδοση υψηλής ευκρίνειας βίντεο με ταυτόχρονη καταγραφή δεδομένων, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.
- Σχετικά μεγάλο μέγεθος για την τοποθέτηση εξοπλισμού.

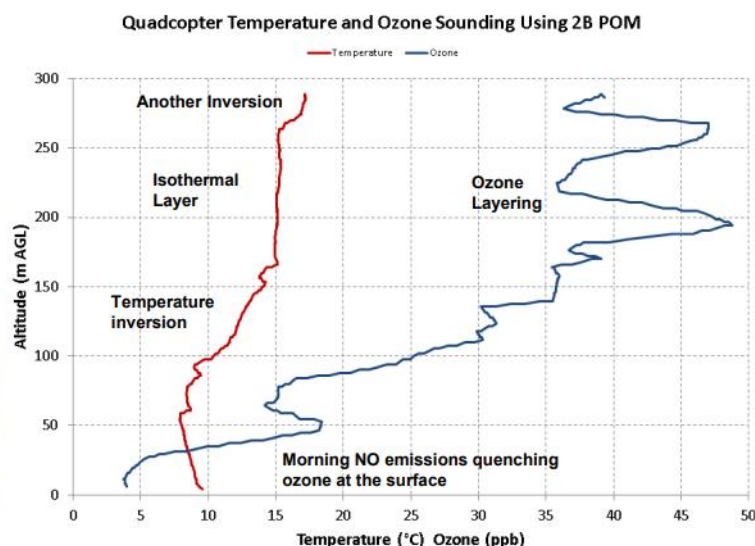


Εικόνα 38: Απεικόνιση ορισμένων μετρήσεων της πλατφόρμας. [11]

Η πλατφόρμα αυτή έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από τους Baxter και Bush για τη συλλογή δειγμάτων όζοντος. Πραγματοποιήθηκαν 2 πειράματα, ένα με τη χρήση του συστήματος KI (KI ozone sampling system), το οποίο έλαβε χώρα παρουσία ισχυρών ανέμων (>10m/s) και ένα με χρήση του συστήματος 2B Personal Ozone Monitor, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται αντίστοιχα στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 39: Αποτελέσματα πρώτου πειράματος. [11]



Εικόνα 40: Αποτελέσματα δεύτερου πειράματος. [11]

Μία ακόμη δειγματοληπτική μονάδα που προσφέρει σημαντική βοήθεια στον εντοπισμό αέριων ρύπων είναι η συσκευή Scentroid DR300. Πρόκειται για συσκευή που σχεδιάστηκε προκειμένου να προσφέρει άμεσες λύσεις στον τομέα της μέτρησης της ποιότητας του αέρα που αναπνέουμε. Η μονάδα αυτή ουσιαστικά είναι ένα μικρό εργαστήριο που μπορεί να ενσωματωθεί και να προσαρμοστεί σε ένα μικρό drone.

Πλεονεκτήματα

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δειγματοληψία και την ανάλυση του ατμοσφαιρικού αέρα ακόμα και σε ύψος 150 μέτρων πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Η χαρτογράφηση της ποιότητας του αέρα, η επαλήθευση μοντέλου και η ανάλυση δυνητικά επικίνδυνων περιοχών καθίστανται δυνατές με τη χρήση της. Η Scentroid DR300 έχει το πολύ σημαντικό πλεονέκτημα της μέτρησης της παρουσίας χημικών ρύπων, βιομηχανικής επεξεργασίας καπνών και άλλων επιβλαβών αερίων σε πραγματικό χρόνο και ενώ το drone μετακινείται από σημείο σε σημείο. [11]

Λειτουργία

Η συσκευή αυτή διαθέτει δύο ενσωματωμένους χημικούς αισθητήρες που προχωρούν σε ανάλυση του αέρα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, στέλνοντας τις πληροφορίες που συγκεντρώνουν στον χειριστή που βρίσκεται στο έδαφος. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται σε μνήμη για να πραγματοποιηθούν αργότερα αντιστοιχίσεις με σημεία σε κάποιο χάρτη. Στον πίνακα από κάτω δίνονται μοντέλα αισθητήρων μεταξύ των οποίων μπορούμε να επιλέξουμε μαζί με κάποια χαρακτηριστικά τους, όπως το είδος του αερίου που ανιχνεύουν, το εύρος ανίχνευσής

τους, το κατώτατο όριο ανιχνεύσιμης ποσότητας και η ανάλυση που πραγματοποιούν. Όταν ο χειριστής εντοπίσει τις κρίσιμες περιοχές ή μετρήσεις σε συγκεκριμένες τοποθεσίες, μπορεί να ελέγξει εξ αποστάσεως το γέμισμα μιας πλαστικής σακούλας με αέρα ώστε μετά να προχωρήσει σε εργαστηριακή ανάλυση. Με βάση τη διαδρομή που ακολούθησε το drone κατά την εκτέλεση της αποστολής είναι δυνατόν να δημιουργηθούν δυναμικοί τρισδιάστατοι χάρτες της χρονικής εξέλιξης της διασποράς των ατμοσφαιρικών ρύπων. [11]

Sensor ID	Chemical	Range	Lowest Detection Threshold	Resolution (ppm)
CD1	Carbon Dioxide – High Concentration	5,000 to 900,000 ppm	5000 ppm	100 ppm
CD2	Carbon Dioxide – Low Concentration	0-5000 ppm	0 ppm	15 ppm
CO1	Carbon Monoxide (low Concentration)	500 ppm	15 ppm	5 ppm
CO2	Carbon Monoxide (high concentration)	10000 ppm	250 ppm	20 ppm
C11	Chlorine	20 ppm	200 ppb	20 ppb
E1	Ethylene Oxide	0-100 ppm	1 ppm	0.1 ppm
H1	Hydrogen	0-5000 ppm	1 ppm	0.8 ppm
HCL1	Hydrogen Chloride	100 ppm	0.1 ppm	0.1 ppm
HCY1	Hydrogen Cyanide	100 ppm	0.1 ppm	0.1 ppm
AM1	Ammonia	100 ppm	0 ppm	1 ppm
ON1	Ozone and Nitrogen Dioxide	O3- 20; NO2- 20 ppm	0 ppb	15 ppb
PH1	Phosphine (low Concentration)	10 ppm	0 ppm	30 ppb
PH2	Phosphine (high Concentration)	2000 ppm	5 ppm	2 ppm
HS1	Hydrogen Sulfide (low Concentration – ppb)	1 ppm	3 ppb	1 ppb
HS2	Hydrogen Sulfide (high Concentration – ppm)	2000 ppm	1 ppm	1 ppm
NO1	Nitrogen Oxide	100 ppm	0 ppm	0.1 ppm
CH1	Carbon Monoxide & Hydrogen Sulfide	CO 0-1000, H2S 0-100 ppm	0 ppm	CO 1, H2S 0.25 ppm
E2	Ethanol	0-500 ppm	0 ppm	1 ppm
MT1	Methane (LEL)	0-100 % LEL	0 ppm	1% LEL
NC1	Nitric Oxide (low Concentration)	20 ppm	0 ppm	80 ppb
NC2	Nitric Oxide (High Concentration)	5000 ppm	0 ppm	1 ppm
ND1	Nitrogen Dioxide (Low Concentration)	20 ppm	0 ppm	0.02 ppm
ND2	Nitrogen Dioxide (high Concentration)	200 ppm	0 ppm	0.1 ppm
O1	Oxygen	0-20%	0 ppm	0.10%
O2	Oxygen	0-100%	0 ppm	1%
PD1	Total VOCs (ppb) – PID	50 ppm (isobutylene)	0 ppm	1 (ppb isobutylene)
PD2	Total VOCs (ppm) – PID	300 ppm (isobutylene)	1 ppm	0.1 (ppm isobutylene)
SD1	Sulfur Dioxide (high Concentration)	2000 ppm	0 ppm	2 ppm
SD2	Sulfur Dioxide (low Concentration)	20 ppm	0 ppb	20 ppb
FM1	Formaldehyde	10 ppm	0.01 ppm	0.01 ppm
PM 1-10	Particulate PM 1, 2.5, 10	0-10,000 Particles/Sec	PM 1	N/A

Πίνακας 3: Μοντέλα αισθητήρων με τα χαρακτηριστικά τους. [11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Περιπτώσεις χωρών

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά σε χώρες που έχουν ήδη δοκιμάσει ή αναμένεται να δοκιμάσουν τη χρήση drones για την καταπολέμηση της αέριας ρύπανσης, καθώς επίσης και σε συγκεκριμένα πρότζεκτ που έχουν μπει σε εφαρμογή.

2.1 Κίνα

Μία από τις χώρες που δεν θα μπορούσε να μην έχει ασχοληθεί με την καταγραφή και καταπολέμηση των αέριων ρύπων είναι η Κίνα. Το πρόβλημα που αντιμετωπίζει τα τελευταία χρόνια με την ατμοσφαιρική της ρύπανση γίνεται όλο και μεγαλύτερο, κάτι που οφείλεται στη ραγδαία βιομηχανική ανάπτυξη που παρουσιάζει. Η κινεζική κυβέρνηση, λοιπόν, σε συνεργασία με την κρατική εταιρία Aviation Industry Corp (AVIC) προχώρησαν σε δοκιμή μη επανδρωμένου οχήματος που καταπολεμά το νέφος, η οποία ήταν επιτυχής. Το όχημα αυτό εξοπλίστηκε με μία συσκευή που ονομάζεται Parafoil και καταπολεμά το νέφος ψεκάζοντας χημικές ουσίες που εγκλωβίζουν τους αέριους ρύπους. Η δοκιμή βρισκόταν καθ' όλη τη διάρκειά της υπό την επίβλεψη της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της Κίνας και πραγματοποιήθηκε σε αεροδρόμιο της επαρχίας Hubei της κεντρικής χώρας, εικόνα της οποίας δίνεται ακολούθως.



Εικόνα 41: Η επαρχία Hubei. [12]

Το αεροσκάφος που δοκιμάστηκε ανήκει σε μία κατηγορία μη επανδρωμένων οχημάτων που δεν είναι αρκετά διαδεδομένη, αυτή των drones με μαλακό πτερύγιο (soft wing drones). Διέθετε ένα αλεξίπτωτο, όπως φαίνεται παρακάτω, και μετέφερε χημικές ουσίες για την απομάκρυνση του νέφους. Ακόμη, είχε δυνατότητα μεταφοράς φορτίου βάρους σχεδόν 3 φορές παραπάνω από εκείνη των drones σταθερού πτερυγίου (περίπου 700kg) και ψεκασμού με τις ουσίες σε ακτίνα περίπου 5 χιλιομέτρων. Ένα ακόμη πλεονέκτημα του συγκεκριμένου μοντέλου και γενικότερα της κατηγορίας μαλακού πτερυγίου είναι το γεγονός πως λειτουργούν με το 1/10 του κόστους των σταθερού πτερυγίου drones.



Εικόνα 42: Το Parafoil drone. [12]

Το πείραμα αυτό ήταν μέρος ενός συνόλου ενεργειών στο πλαίσιο του "πολέμου κατά της ρύπανσης" στην πλειοψηφία των πόλεων της Κίνας, χαρακτηρισμός που χρησιμοποιήθηκε από τον ίδιο τον πρωθυπουργό της χώρας. Η συσκευή Parafoil που τοποθετήθηκε στο αλεξίπτωτο λειτουργεί ψεκάζοντας το νέφος με χημικές ουσίες, οι οποίες αντιδρούν με τα σωματίδια που περιέχονται σε αυτό και έτσι παγώνουν οι ρύποι, οι οποίοι έπειτα πέφτουν στο έδαφος. Τρία βασικά πλεονεκτήματα του μη επανδρωμένου οχήματος που χρησιμοποιήθηκε είναι η αρκετά μεγάλη ακρίβεια που επιτυγχάνεται στις λειτουργίες που εκτελούνται μέσω της συσκευής Parafoil, ο εύκολος χειρισμός του και το γεγονός πως δεν υπάρχουν πολύπλοκες απαιτήσεις για την προσγείωσή του. [12]

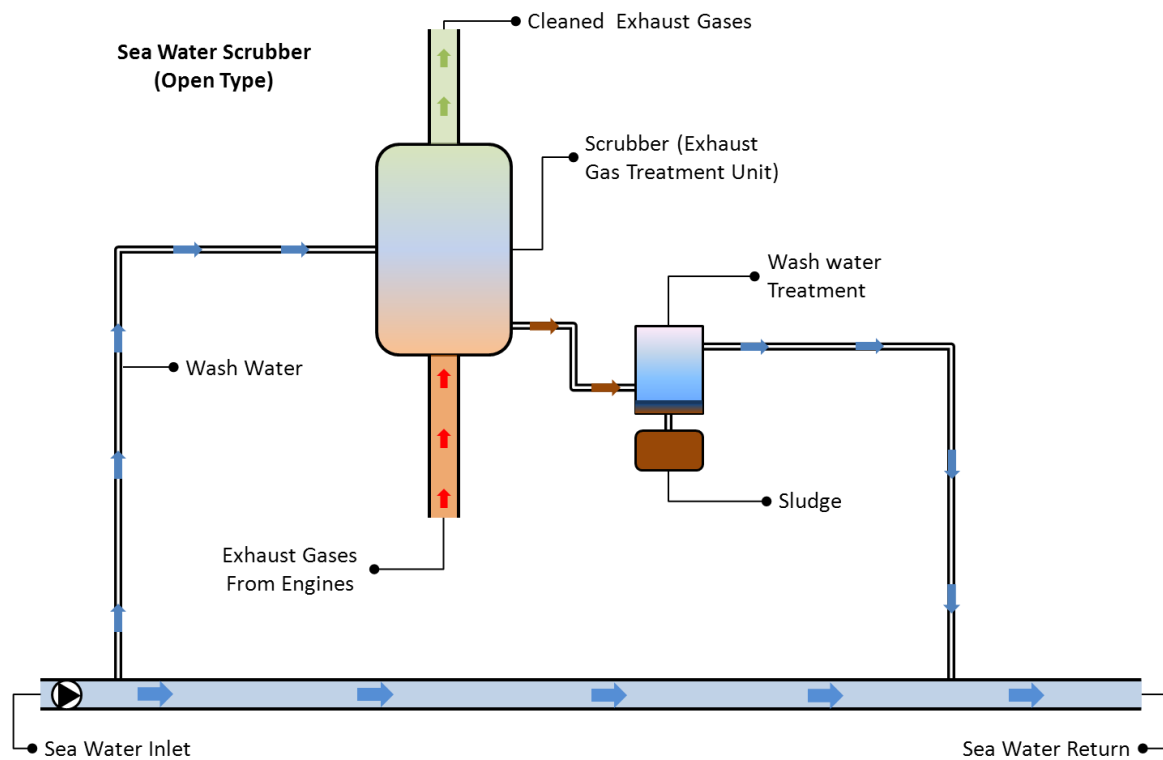
2.2 Δανία

Πριν λίγο καιρό η ναυτική αρχή της Δανίας σε συνεργασία με τον Οργανισμό Προστασίας του Περιβάλλοντος είχαν δημοσιεύσει ένα σχέδιο δράσης με σκοπό την ενίσχυση της επιβολής των κανονισμών σχετικά με τις εκπομπές θείου από τα πλοία, τόσο στη Δανία όσο και στις χώρες που εντάσσονται στις περιοχές ελέγχου εκπομπών του θείου (Sulphur Emissions Control Area-SECA). Παρακάτω βλέπουμε έναν χάρτη που δείχνει τόσο ποιες περιοχές είναι ήδη ενταγμένες στις ζώνες SECA (ή γενικότερα σκέτο ECA), όσο και ποιες είναι πιθανό να ενταχθούν στο σχετικά άμεσο μέλλον.



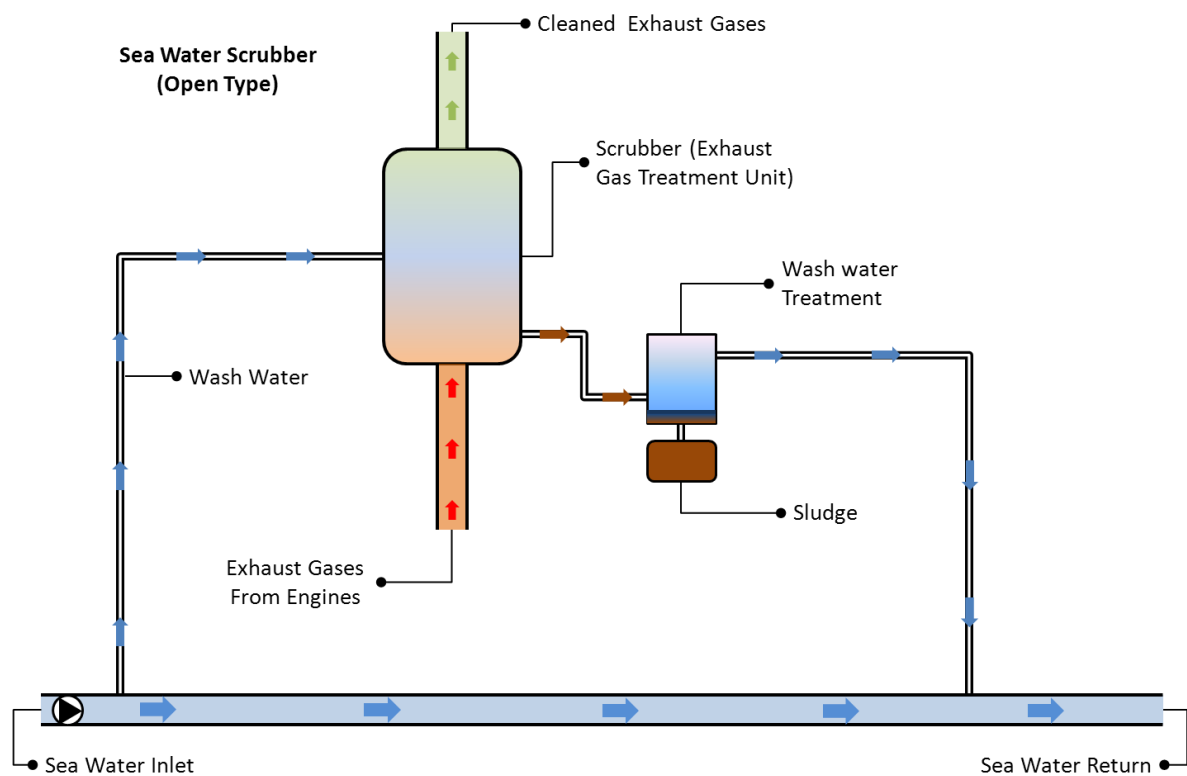
Εικόνα 43: Χάρτης περιοχών SECA. [13]

Από την 1η Ιανουαρίου 2015 έχουν τεθεί σε ισχύ αυστηρότεροι κανονισμοί για την εκπομπή θείου από τα πλοία κατά την εκτέλεση των δρομολογίων τους στις περιοχές SECA. Πλέον τα πλοία πρέπει να χρησιμοποιούν καύσιμα χαμηλής περιεκτικότητας σε θείο (0,1%) ή να ικανοποιούν τους περιορισμούς με άλλους τρόπους, όπως για παράδειγμα με τον καθαρισμό των καυσαερίων τους μέσω ενός μηχανισμού που ονομάζεται "καθαριστής". Πρόκειται για μηχανισμό ο οποίος, χρησιμοποιώντας το νερό, προχωράει σε πλύση των καυσαερίων, προκειμένου να απομακρυνθούν τα οξείδια του θείου, που είναι τοξικά αέρια και άμεσα επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία. Η λειτουργία του είναι απλή και απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνας 44: Ανοικτού τύπου καθαριστής. [14]

Εδώ φαίνεται ένας ανοικτού τύπου καθαριστής, ο οποίος χρησιμοποιεί το θαλασσινό νερό για τις λειτουργίες του. Υπάρχουν και οι κλειστού τύπου καθαριστές, οι οποίοι καθαρίζουν το θαλασσινό νερό και στη συνέχεια εκτελούν παρόμοιες και με μικρές διαφοροποιήσεις λειτουργίες, όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 45: Κλειστού τύπου καθαριστής. [14]

Η αποτελεσματική και ομοιογενής επιβολή των κανονισμών στις χώρες της SECA αποτελεί βασική προϋπόθεση για να έχουν τον απαιτούμενο αντίκτυπο στην πράξη και να εξασφαλίσουν ίσους όρους ανταγωνισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την άσκηση έντονων πιέσεων τις αρχές να εξασφαλίσουν την όσο το δυνατόν ισχυρότερη εφαρμογή και την ύπαρξη αυστηρότατων κυρώσεων σε περιπτώσεις παραβάσεων.

Για τον έλεγχο, λοιπόν, της εφαρμογής των κανονισμών στους οποίους έγινε αναφορά παραπάνω είναι απαραίτητη η αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών που υπάρχουν, όπως για παράδειγμα τα μη επανδρωμένα οχήματα. Αρκετές χώρες στις ζώνες SECA πειραματίζονται με τη χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων για την από αέρος παρακολούθηση της ναυτιλίας, ούτως ώστε οι έλεγχοι να μην περιορίζονται μόνο στα λιμάνια. Αναμένεται πως ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος μαζί με τις αρμόδιες ολλανδικές αρχές θα συμμετάσχουν στο πρόγραμμα "Horizon 2020", στο οποίο μία εταιρία από τη Δανία επιδιώκει να αναπτύξει περαιτέρω την τεχνολογία της για την επιτήρηση των εκπομπών οξειδίων του θείου και του αζώτου μέσω της χρήσης χαμηλού κόστους αισθητήρων που μπορούν να τοποθετηθούν σε drones. Παράλληλα, ο Οργανισμός Προστασίας του Περιβάλλοντος και η ναυτική αρχή της Δανίας προσπαθούν να εξασφαλίσουν ότι οι μελλοντικές τροποποιήσεις

τόσο των εγχώριων κανονισμών, όσο και αυτών της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την εκτέλεση δραστηριοτήτων από drones, θα λειτουργήσουν υποστηρικτικά για την παρακολούθηση της ναυτιλίας μέσω αυτών. [13,14]

2.3 ΗΠΑ

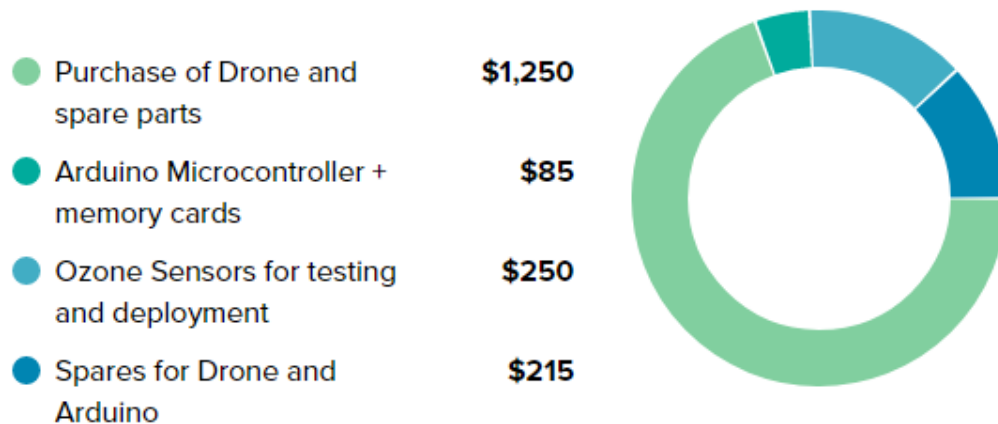
Οι ΗΠΑ είναι μία ακόμα χώρα που σκοπεύει να εξετάσει το ενδεχόμενο καταγραφής και καταπολέμησης της αέριας ρύπανσης μέσω μη επανδρωμένων οχημάτων. Πιο συγκεκριμένα, σε εξέλιξη βρίσκεται ένα πρότζεκτ για την καταγραφή των ατμοσφαιρικών προφίλ ρύπανσης της πολιτείας του Michigan και την ευθύνη του έχει το Πανεπιστήμιο του ανατολικού Michigan (Eastern Michigan University). Το γεγονός ότι η μεγαλύτερη πόλη της συγκεκριμένης πολιτείας, το Detroit, κατατάσσεται μεταξύ των 10 πιο μολυσμένων από μικροσωματίδια πόλεων των ΗΠΑ, οδήγησε μέλη του πανεπιστημίου να εξετάσουν τη δυνατότητα ανάπτυξης αισθητήρων τοξικών αερίων. Σκοπός τους είναι στη συνέχεια να ενσωματώσουν τους αισθητήρες αυτούς σε ένα εμπορικό drone ώστε να καταφέρουν να έχουν μία εικόνα των κατακόρυφων ατμοσφαιρικών προφίλ ρύπανσης της πολιτείας.

Η ικανότητα μέτρησης της συγκέντρωσης όζοντος, στο οποίο επικεντρώνονται τα μέλη του πανεπιστημίου, είναι και θα παραμένει περιορισμένη όσο συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται στατικοί επίγειοι αισθητήρες. Ωστόσο, είναι γνωστό τα τοξικά αέρια έχουν σημαντικότερα κατακόρυφα προφίλ, δηλαδή φτάνουν σε αρκετά μεγάλο ύψος που ξεφεύγει σε αρκετές περιπτώσεις από τα όρια καταγραφής που μπορεί να έχει ένας τέτοιος αισθητήρας. Εδώ έρχονται να προσφέρουν χρήσιμη βοήθεια κάποιες νέες τεχνολογίες, όπως οι χαμηλού κόστους εμπορικοί μικροαισθητήρες. Αυτοί, όντας διασυνδεδεμένοι με έναν μικροελεγκτή Arduino, προσφέρουν τη δυνατότητα μέτρησης σημαντικών ρύπων όπως το όζον με υψομετρικά όρια ανάλυσης και ανίχνευσης μεγαλύτερα από αυτά του παρελθόντος. Επίσης, η διαθεσιμότητα drones που υπάρχει πλέον είναι σαφώς μεγαλύτερη, κάτι που επιτρέπει την επιλογή του πιο κατάλληλου ανάλογα με τους αισθητήρες που θέλουμε να τοποθετήσουμε σε αυτό. Τέλος, είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι το κόστος απόκτησης ενός drone είναι στις μέρες μας πιο προσιτό για τους χρήστες.

Στο επίκεντρο, λοιπόν, της συγκεκριμένης έρευνας, βρίσκεται η ανάπτυξη ενός πίνακα αισθητήρων με χαμηλή κατανάλωση ισχύος και όσο το δυνατόν χαμηλότερο

βάρος, με παράλληλη διατήρηση χαμηλών ορίων όζοντος. Η πρώτη φάση του έργου εστιάζεται στην αγορά κατάλληλων αισθητήρων και στη διασύνδεσή τους με μικροελεγκτή Arduino. Τα όρια ανίχνευσης του όζοντος θα επαληθεύονται με τη διασταύρωση των αποτελεσμάτων του νέου αυτού συστήματος και μιας υφιστάμενης επίγειας συσκευής μέτρησης όζοντος που ήδη χρησιμοποιείται από το πανεπιστήμιο. Αφού, λοιπόν, η ιδέα αποδειχθεί σωστή και επιτυχής, θα ενσωματωθεί ο πίνακας αισθητήρων σε ένα προ-επιλεγμένο εμπορικό drone, το οποίο θα μπορεί να ανταποκριθεί τόσο στις απαιτήσεις ισχύος όσο και στο βάρος του ωφέλιμου φορτίου που είναι απαραίτητο για την επίτευξη των στόχων του έργου. Μόλις το σύστημα είναι έτοιμο θα μετρηθούν τα κατακόρυφα προφίλ όζοντος προκειμένου να γίνει πλήρως κατανοητή η τρισδιάστατη κατανομή του στην περιοχή.

Για τη χρηματοδότηση του έργου οι ερευνητές απευθύνθηκαν και στο απλό κοινό, σε περίπτωση που ο οποιοσδήποτε ενδιαφερόταν να συνδράμει με όποιο ποσό επιθυμούσε. Για το λόγο αυτό προχώρησαν στη δημοσίευση του κόστους που υπήρχε για τα επιμέρους τμήματα του συστήματος, η οποία παρατίθεται παρακάτω: [15]



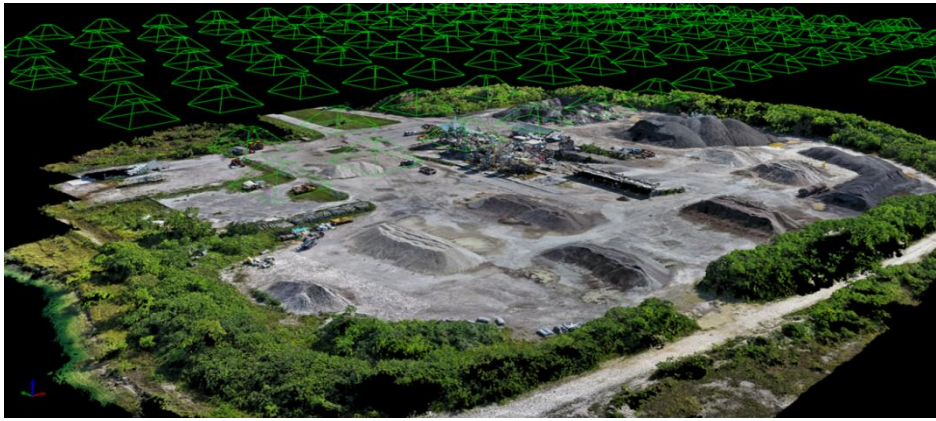
Εικόνα 46: Καταμερισμός του κόστους. [15]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Φωτογραμμετρία

3.1 Ορισμός και λειτουργία

Ένας τομέας στον οποίο μπορούν να μας βοηθήσουν τα drones είναι αυτός της χαρτογράφησης μιας περιοχής. Μία μέθοδος για την εξυπηρέτηση ενός τέτοιου σκοπού είναι αυτής της φωτογραμμετρίας. Αρχικά, να πούμε ότι φωτογραμμετρία είναι η επιστήμη της λήψης μετρήσεων μέσω φωτογραφιών. Το αποτέλεσμα της φωτογραμμετρίας είναι συνήθως ένας χάρτης, ένα σχέδιο ή ένα τρισδιάστατο μοντέλο είτε ενός πραγματικού αντικειμένου είτε μιας περιοχής στην επιφάνεια της Γης. Για τη δημιουργία χαρτών τριών διαστάσεων (3D maps) μέσω εναέριας φωτογραμμετρίας, μία κάμερα τοποθετείται πάνω σε ένα drone και συνήθως είναι στραμμένη κάθετα προς το έδαφος. Για περιπτώσεις όπου θέλουμε τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων αντικειμένων η κάμερα τοποθετείται οριζόντια πάνω στο drone. Το μη επανδρωμένο όχημα παίρνει πολλές επικαλυπτόμενες φωτογραφίες καθώς πετάει κατά μήκος μιας αυτόνομης προγραμματισμένης διαδρομής, με ποσοστό επικάλυψης από 80 έως 90%. Για τη λήψη μιας επικαλυπτόμενης φωτογραφίας χρειάζεται να υπάρχει μία εικόνα επικάλυψης, δηλαδή μία εικόνα που αντιστοιχεί στην εικόνα του χάρτη που βρίσκεται από κάτω της. Η επικάλυψη των φωτογραφιών στα ποσοστά που αναφέρθηκαν νωρίτερα θα ήταν αδύνατο να ολοκληρωθεί με ακρίβεια μέσω πιλοτικής πλοήγησης και είναι απαραίτητη η κατοχή ενός μη επανδρωμένου οχήματος, το οποίο να διαθέτει τεχνολογία πλοήγησης μέσω σημείου (Navigation Waypoint Technology). [16]



Εικόνα 47: Τρισδιάστατο μοντέλο, αποτέλεσμα φωτογραμμετρίας. [24]

3.2 Πλεονεκτήματα

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της φωτογραμμετρίας είναι τα εξής:

- Γρήγορη κάλυψη μιας περιοχής
- Χαμηλό κόστος για την εφαρμογή της
- Εύκολη εναέρια απόκτηση πληροφοριών ή πρόσβαση σε αυτές
- Πολύ λεπτομερείς απεικονίσεις

3.3 Χρήσεις

Μερικές από τις καλύτερες χρήσεις της φωτογραμμετρίας σχετίζονται με όσα αναφέρονται παρακάτω:

- Διαχείριση και σχεδιασμός δασών
- Μοντελοποίηση πλημμυρών
- Μοντελοποίηση της ρύπανσης
- Χαρτογράφηση
- Πολεοδομικός σχεδιασμός
- Διαχείριση ακτών
- Σχεδιασμός μεταφορών
- Εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου
- Αρχαιολογία

Όλοι οι προαναφερθέντες τομείς επωφελούνται σημαντικά από το γεγονός ότι μπορούν να έχουν τρισδιάστατες ακριβείς εικόνες των έργων τους. Ακόμη, επωφελούνται από την αυξημένη αποτελεσματικότητα και το μειωμένο κόστος που

υπάρχει σε σχέση με την πιθανή χρήση παραδοσιακών αεροσκαφών για τους ίδιους σκοπούς.

Ωστόσο, η φωτογραμμετρία αρχίζει σιγά σιγά να τίθεται στο περιθώριο, καθώς μία νέα τεχνολογία έχει κάνει την εμφάνισή της. Πρόκειται για την τεχνολογία Lidar (Light Detection And Ranging), αισθητήρες της οποίας πάνω σε drones χρησιμοποιούνται πλέον ευρύτερα. Πάμε τώρα να εξετάσουμε σε ποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε την κάθε μία.

Η τεχνολογία Lidar χρησιμοποιείται όταν:

- Θέλουμε να κάνουμε χαρτογράφηση κάτω από τη σκιά που δημιουργεί ένα δέντρο, από μεταφορείς εγκαταστάσεων ορυχείων ή από άλλα εμπόδια. Αυτό συμβαίνει διότι η φωτογραμμετρία παρουσιάζει προβλήματα στη δημιουργία μοντέλων ανύψωσης σε περιοχές όπου διάφορα εμπόδια μπλοκάρουν τη θέα στο έδαφος. Σε περίπτωση ύπαρξης ενός εμποδίου, π.χ. ένα δέντρο, η παραδοσιακή φωτογραμμετρία τείνει να "σφάλει" κατά τη δημιουργία ενός ψηφιακού χάρτη ανύψωσης. Κατά τη μέτρηση που πραγματοποιείται για ένα σημείο στο έδαφος χρειάζονται δύο εικόνες που να μπορούν να "δουν" αυτό το σημείο. Εάν ένα δέντρο εμποδίζει τη θέαση του σημείου, αυτό μπορεί να αποτυπωθεί στη μία εικόνα αλλά όχι και στην άλλη. Το γεγονός αυτό μπερδεύει τους αλγορίθμους αυτοματισμού που ταιριάζουν τις εικόνες και αυτό οδηγεί σε προβληματικά μοντέλα ανύψωσης. Εύλογα σε αυτό το σημείο θα αναρωτηθεί κάποιος τι συμβαίνει με τη σύγχρονη φωτογραμμετρία. Αυτή επιδεινώνει το πρόβλημα. Από τη στιγμή που αναπτύχθηκαν τεχνικές όπως η "Structure from Motion-SfM" (δομή από την κίνηση), η φωτογραμμετρία μπορεί να δημιουργήσει αρκετά πυκνά σημειακά σύννεφα, τα οποία έχουν συντελεστή αποστασιοποίησης 2 ή μεγαλύτερο από την ανάλυση της εικόνας. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Dense Image Matching-DIM (πυκνό ταίριασμα εικόνων) και δημιουργεί αυτό που αποκαλείται "μοντέλο πρώτης επιφάνειας" (first surface model) αντί για πραγματικούς και σωστούς χάρτες ανύψωσης.
- Θέλουμε να μοντελοποιήσουμε στενά αντικείμενα όπως γραμμές μεταφοράς ή σωλήνες και πεδία από πετρώματα. Αυτό συμβαίνει διότι η τεχνική SfM και το φαινόμενο DIM έχουν χαμηλότερη "συμμόρφωση" από την τεχνολογία

Lidar. Σαν συμμόρφωση ορίζεται το πόσο καλά μπορεί να μοντελοποιηθεί ένα πραγματικό αντικείμενο που απεικονίζεται μέσω ενός σημειακού συννέφους.

Η φωτογραμμετρία χρησιμοποιείται όταν:

- Θέλουμε να απεικονίσουμε έργα και περιοχές που δεν φράσσονται από δέντρα, κτίρια ή οποιουδήποτε είδους εξοπλισμό. Εφαρμόζοντας τη φωτογραμμετρία προκύπτει χαμηλότερο κόστος ενός drone, μικρότερο βάρος και μεγαλύτερη ταχύτητα. Αν η επιδιωκόμενη μοντελοποίηση δεν απαιτεί τεχνολογία Lidar, τότε το να δέσουμε απλά μία κάμερα σε ένα drone θα μας εξοικονομήσει αρκετά χρήματα, κάτι που θα εκτιμήσουμε περισσότερο σε περίπτωση που κάτι πάει στραβά κατά τη διάρκεια της πτήσης και το drone μας προσκρούσει σε κάτι και καταστραφεί.
- Θέλουμε να μοντελοποιήσουμε ένα μικρό αντικείμενο, όπου σε αυτή την περίπτωση τα δεδομένα της φωτογραμμετρίας θα ταιριάζουν στις ανάγκες μας. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι δεν συμφέρει από οικονομικής άποψης να κινητοποιηθεί ένα επανδρωμένο αεροσκάφος για ένα έργο χαρτογράφησης ενός μικρού χώρου ή μοντελοποίησης ενός μικρού αντικειμένου. Αντίθετα, ένα drone είναι αρκετά μικρό ώστε ο χειριστής του να το ρίξει στην περιοχή ή στο σημείο που θέλει και να το χειριστεί γρήγορα και χωρίς βοήθεια.

Ωστόσο, υπάρχει περίπτωση που θα είμαστε υποχρεωμένοι να χρησιμοποιήσουμε και τις δύο μεθόδους. Αυτό θα συμβεί όταν θέλουμε να μοντελοποιήσουμε κάτι που απαιτεί τη χρήση τεχνολογίας Lidar για καλύτερα αποτελέσματα, αλλά θα γινόταν πιο εύκολα με εφαρμογή της φωτογραμμετρίας. Σε αρκετές περιπτώσεις ίσως να είναι πραγματικά δύσκολο να συγκεντρωθούν δεδομένα υψηλής ανάλυσης με χρήση εναέριας συσκευής Lidar. Αυτό σημαίνει πως τα δεδομένα πρέπει να συμπληρωθούν με εικόνες. Το ιδανικό σενάριο σε αυτή την περίπτωση είναι η εφαρμογή φωτογραμμετρίας για τη λήψη εικόνων του περιβάλλοντος και η αξιοποίηση μιας συσκευής Lidar για το τρισδιάστατο αντικείμενο. Οι φωτογραφικές μηχανές είναι αρκετά φθηνές και έχουν τόσες δυνατότητες, που δεν υπάρχει κάποιος καλός λόγος ώστε να μείνουν εκτός του συστήματος αισθητήρων-drone. [17]

3.4 Κάμερες

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία drones που είναι έτοιμα για χαρτογράφηση τριών διαστάσεων (3D mapping). Στην πραγματικότητα, οποιοδήποτε drone διαθέτει κάμερα εξοπλισμένη με χρονόμετρο είναι κατάλληλο για τέτοιου είδους ενέργειες. Το χρονόμετρο αυτό χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του κλείστρου της κάμερας και μπορεί να έχει έναν ελάχιστο ρυθμό λήψης φωτογραφιών μίας κάθε δύο δευτερόλεπτα. Μερικά ενδεικτικά μοντέλα καμερών για φωτογραμμετρία και χαρτογράφηση είναι τα παρακάτω:

- Canon cameras: S110, SX260
- Sony cameras: QX1, DSC-RX100 A7R, A7, A7S, NEX-6, NEX-5R, NEX-5T, A5100
- Panasonic cameras: GH3

Οι φακοί των GoPro καμερών δεν είναι τέλειοι για τη δημιουργία χαρτών. Για την λήψη αξιοπρεπών αποτελεσμάτων είναι απαραίτητη η εκτέλεση πτήσης σε ύψος μεγαλύτερο των 400 ποδιών.

3.5 Βέλτιστη εφαρμογή

Υπάρχουν ορισμένες παράμετροι που συμβάλλουν στη σωστή και αποτελεσματική εφαρμογή της φωτογραμμετρίας. Αρχικά, εάν οι φωτογραφίες που έχουν ληφθεί δεν είναι καλές, τότε θα πρέπει να τεθεί το ανώτατο δυνατό όριο στην ποιότητα του τρισδιάστατου μοντέλου, ανεξάρτητα από το πόσο καλό είναι το λογισμικό, καθώς πρέπει να είναι όσο πιο καθαρές γίνεται. Εάν πρόκειται να γίνει μεγέθυνση των αεροφωτογραφιών τα μικρά χαρακτηριστικά θα φαίνονται θολά. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να εντοπιστεί και να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα ώστε οι φωτογραφίες να αποκτήσουν την επιθυμητή ποιότητα.

Στη συνέχεια πρέπει να απομακρυνθεί ότι εμποδίζει την επίτευξη της μέγιστης ευκρίνειας στην απεικόνιση του σημείου ή της περιοχής που εξετάζεται και εδώ είναι που τα περισσότερα megapixels έχουν αρκετή σημασία.

Επίσης, ο φωτισμός είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα μιας φωτογραφίας. Ο έντονος και ομοιόμορφος φωτισμός θα επιτρέψει την ύπαρξη ενός μικρού ανοίγματος προκειμένου να μειωθεί το βάθος πεδίου της εικόνας.

Ωστόσο, το μικρό βάθος πεδίου είναι κακό για τη φωτογραμμετρία, αφού οι θολές λεπτομέρειες μπορούν να μπερδέψουν το λογισμικό. Στόχος είναι η απόκτηση λεπτομερέστατων, απότομων και επίπεδων εικόνων.

Στο λογισμικό πρέπει να δίνονται μόνο οι πληροφορίες υψηλής ανάλυσης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση χαρτογράφησης ενός γλυπτού ή ενός κτιρίου το φόντο δεν μας χρειάζεται, οπότε πρέπει να το αποκρύψουμε.

Αν μία εικόνα δεν ευθυγραμμίζεται σωστά με την προηγούμενη και την επόμενη, τότε μπορούμε απλά να τη διαγράψουμε. Το φιλτράρισμα των κακών ή των λανθασμένα ευθυγραμμισμένων εικόνων πριν την έναρξη λειτουργίας του λογισμικού θα την κάνει πιο ομαλή.

Τέλος, πρέπει να είμαστε βέβαιοι ότι έχουμε την πλήρη κάλυψη της περιοχής που χρειαζόμαστε για να λάβουμε τις πληροφορίες που θέλουμε, καθώς είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί εκ νέου φωτογράφιση υπό τις ίδιες ακριβώς συνθήκες. [16]

3.6 Μοντέλα

DJI Mavic pro



Εικόνα 48: Το DJI Mavic pro drone. [16]

Το μοντέλο αυτό είναι τέλειο για εφαρμογές χαρτογράφησης φωτογραμμετρίας και Lidar. Πρόκειται για ένα τετρακόπτερο που χρησιμοποιεί τεχνολογία σταθεροποίησης ελέγχου πτήσης για να εξασφαλίζεται η σταθερότητά του κατά τη διάρκεια της πτήσης, που είναι απαραίτητη όταν κουβαλάει και κάμερα. Αυτό συμβάλλει στη

δημιουργία τέλειων τρισδιάστατων χαρτών με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού. Η πλοήγηση μέσω σημείου είναι μία πολύ σημαντική λειτουργία για τη λήψη τρισδιάστατων εικόνων φωτογραμμετρίας υψηλής ακρίβειας και για την όσο το δυνατόν καλύτερη επίτευξή της το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί το σύστημα "Draw Waypoints", το οποίο επιτρέπει αυτόνομη προγραμματισμένη πτήση. Έχοντας εμβέλεια μετάδοσης δεδομένων 7,3 χιλιόμετρα και χρόνο πτήσης έως και 27 λεπτά δίνει τη δυνατότητα κάλυψης αρκετά μεγάλης περιοχής

DJI Phantom 4 Pro



Εικόνα 49: Το DJI Phantom 4 Pro drone. [16]

Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ένα από τα πιο δημοφιλή τετρακόπτερα για τρισδιάστατες απεικονίσεις. Πραγματοποιεί πτήσεις με πολύ μεγάλη ομαλότητα και χρησιμοποιεί δύο συστήματα πλοήγησης, ανιχνευτές εμποδίων σε 5 διευθύνσεις και αισθητήρες αποφυγής σύγκρουσης. Πολύ σημαντικό είναι το γεγονός πως το ένα από τα δύο συστήματα πλοήγησης που χρησιμοποιεί είναι αυτό της πλοήγησης μέσω σημείου (waypoint navigation). Ακόμη, διαθέτει μία κάμερα 4k ανάλυσης 20 megapixel και λήψης 60 καρέ ανά δευτερόλεπτο. Επίσης, η κατασκευή του είναι βασισμένη σε ένα ισχυρό πλαίσιο τιτανίου και μαγνησίου. Τέλος, μπορεί να αναπτύξει ταχύτητα μέχρι και 72 χιλιόμετρα/ώρα και έχει μέγιστο χρόνο πτήσης 30 λεπτών.

eBee Plus



Εικόνα 50: Το eBee Plus drone. [27]

Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει 3 βασικά πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη κάλυψη για βέλτιστη αποτελεσματικότητα. Το eBee Plus μπορεί να χαρτογραφήσει περισσότερα τετραγωνικά χιλιόμετρα από οποιοδήποτε άλλο drone της ίδιας κατηγορίας βάρους, επιτρέποντας έτσι τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας και τον καταρτισμό πρότζεκτ με υψηλό βαθμό βεβαιότητας.
- Υψηλή ακρίβεια κατόπιν ζήτησης. Αυτή οφείλεται στην ενσωματωμένο λειτουργικό χαρακτηριστικό RTK/PPK, το οποίο μπορεί να ενεργοποιηθεί

όποτε εμείς το θελήσουμε, δηλαδή είτε αμέσως είτε σε επόμενο στάδιο της αποστολής.

- Δυνατότητα τοποθέτησης σε αυτό του ιδανικού ωφέλιμου φορτίου ανάλογα με το πρότζεκτ που θέλουμε να εφαρμόσουμε. Σε αυτό το drone μπορεί να τοποθετηθεί για παράδειγμα μία κάμερα senseFly S.O.D.A, η πρώτη κάμερα που σχεδιάστηκε αποκλειστικά για drone που χρησιμοποιείται για εφαρμογές της φωτογραμμετρίας.

Ακόμη, οι ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει κυμαίνονται από 40km/h έως 110km/h και έχει μέγιστο χρόνο πτήσης 59 λεπτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Άλλες χρήσεις

Εκτός από τους προαναφερθέντες τομείς, η χρήση drones μπορεί να έχει σημαντικά οφέλη και σε κάποιους ακόμη. Τα μεγέθη που μπορούν να εντοπιστούν και να μετρηθούν είναι αρκετά.

Οι Dale A. Lawrence και Ben B. Balsley του Πανεπιστημίου του Boulder στο Colorado των ΗΠΑ ανέπτυξαν ένα σύστημα αισθητήρων-drone χαμηλού κόστους (400 δολάρια για το αεροσκάφος και 300 δολάρια για τους αισθητήρες) προκειμένου να αντιμετωπίσουν την ανακύπτουσα ανάγκη για μετρήσεις διαφόρων ατμοσφαιρικών μεταβλητών στην τροπόσφαιρα και τη χαμηλότερη στρατόσφαιρα. Το μη επανδρωμένο όχημα που χρησιμοποίησαν ήταν ένα DataHawk βάρους 0,7 kg και ανοίγματος πτερυγίου 1,0 m και ήταν ικανό να προχωρήσει σε υψηλής ανάλυσης καταγραφή της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της διεύθυνσης των ανέμων και του στροβιλισμού σε ένα σημείο ή σε μία περιοχή. Τα υψόμετρα στα οποία μπορεί να κινηθεί το συγκεκριμένο όχημα κυμαίνονται από λίγα μέτρα έως και 9 χιλιόμετρα. Κατά τη διάρκεια περαμάτων διαπιστώθηκε η δυνατότητα εύκολης ενσωμάτωσης στο drone ενός αισθητήρα χαμηλού κόστους, ο οποίος μετρά με υψηλή ακρίβεια τη θερμοκρασία, την υγρασία και την ταχύτητα του ανέμου. Επίσης, διαπιστώθηκε πως το σύστημα αυτό μπορεί να συλλέξει δεδομένα μέχρι και την κορυφή του οριακού στρώματος της ατμόσφαιρας. Στον πίνακα 4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες τόσο του drone όσο και των αισθητήρων.

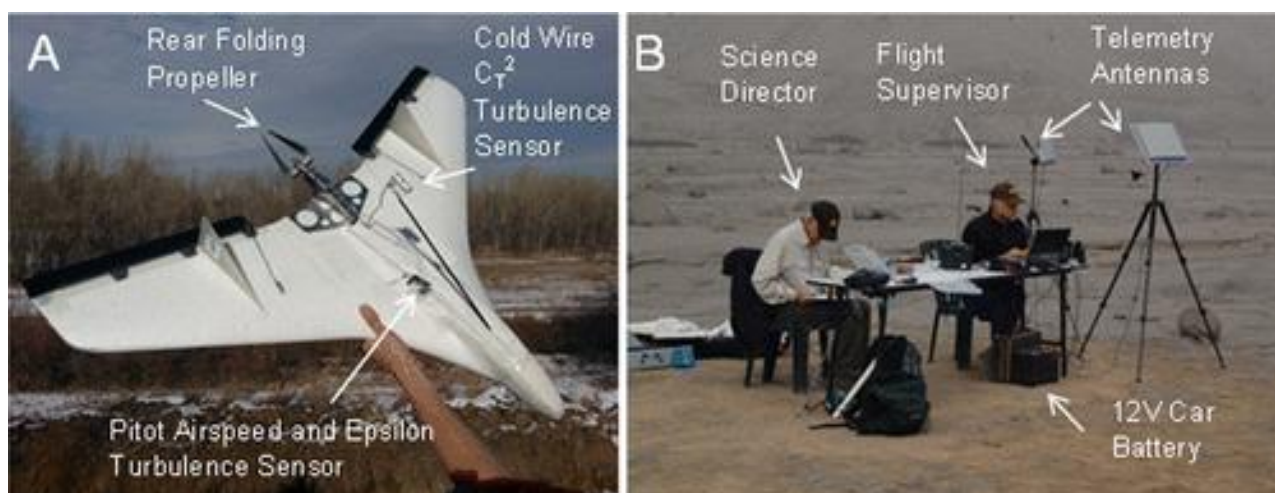
Πίνακας 4

DataHawk characteristics		DataHawk capabilities	
Wingspan	1 m	Airspeed	12–16 m s^{-1}
Mass	700 g	Duration (level cruise)	50 min
Vehicle cost	\$400	Range (one way)	35 km (estimate)
Sensor cost	\$300	Altitude (balloon drop)	>9 km MSL
Design	Flying wing, rear propeller	Altitude (bungee launch)	>2 km AGL
Construction	Reinforced expanded polypropylene foam	Turning radius	>50 m
Telemetry	IEEE 802.15.4 at 2.4 GHz	Climb rate	<5 m s^{-1}
Propulsion	Electric motor, folding propeller	Downlink throughput	>1500 bytes s^{-1}
Autopilot	CU custom design (CUPIC)	Downlink update rate	10 Hz
Control	Auto-Launch, Auto-Helix, Auto-Land, Auto/manual flight termination	Sensor sampling	>100 Hz
Power	11-V LiPo battery, 2600 mA h^{-1}	Data storage (on board)	16 M bytes

Sensing capabilities				
Type	Resolution	Accuracy; range	Time const.; cadence	Notes
Location (GPS)	10 cm	10 m; worldwide	1 s; 5 Hz	Real time
In situ temperature	0.1°C	2°C; –60° to +40°C	5 s; 10 Hz	Real time
Relative humidity	0.01%	2%; 0%–100%	5 s; 10 Hz	Real time
Cold-wire temperature	<0.003°C	2°C; –60°C to +40°C	0.5 ms; 100 Hz	Real time, postflight calibration
Airspeed	0.01 m s^{-1}	0.2 m s^{-1} ; 0–30 m s^{-1}	0.3 ms; 100 Hz	Real time
C_T^2	$1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^{-2/3} \text{ K}^2$	1.0×10^{-6} ; $1.0 \text{ m}^{-2/3} \text{ K}^2$	1 s; 1 Hz	Postflight spectral analysis
Epsilon	$1.0 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$	1.0×10^{-7} ; $1.0 \times 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ s}^{-3}$	1 s; 1 Hz	Postflight spectral analysis
2D vector wind	0.01 m s^{-1}	0.2 m s^{-1} ; 0–30 m s^{-1}	3 s; 0.3 Hz	Postflight estimation
3D vector wind	0.01 m s^{-1}	0.2 m s^{-1} ; 0–30 m s^{-1}	0.2 s; 10 Hz	Real time, in development

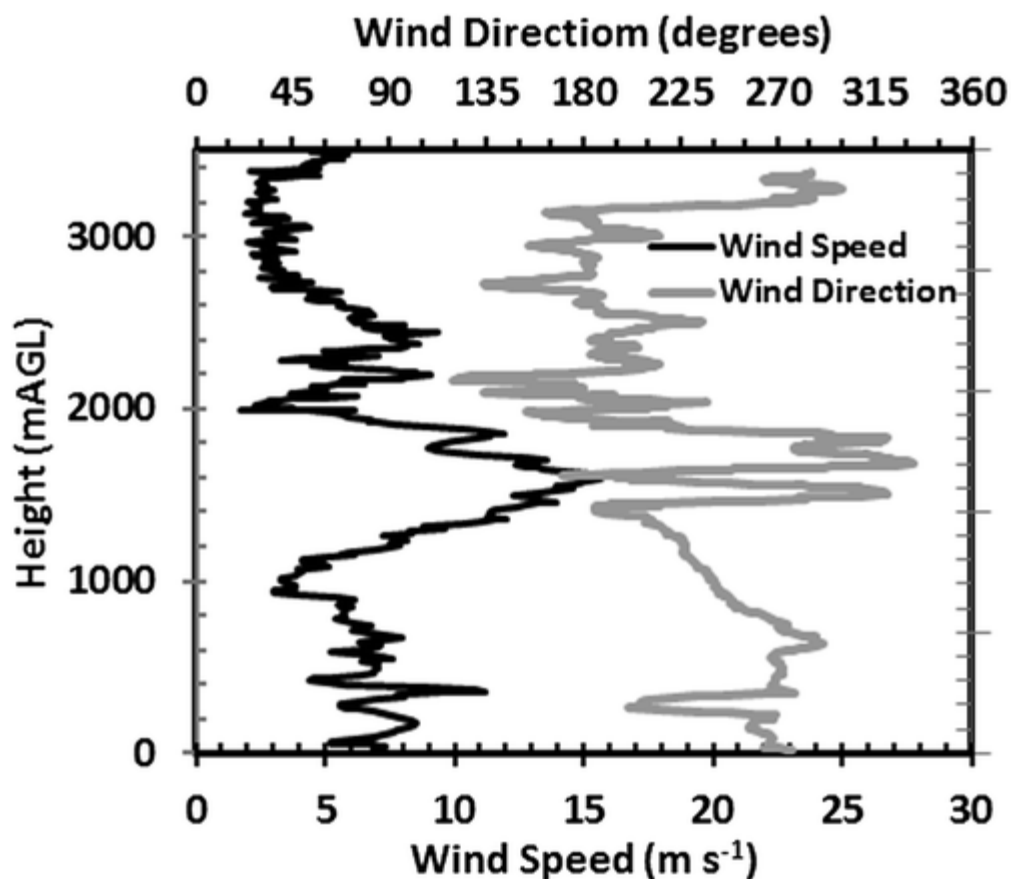
Χαρακτηριστικά του DataHawk drone και των αισθητήρων του. [18]

Παρακάτω μπορούμε να δούμε τόσο το drone που χρησιμοποιήθηκε, όσο και την επίγεια εγκατάσταση που στήθηκε για τον έλεγχο και την αξιολόγηση των λαμβανόμενων δεδομένων.



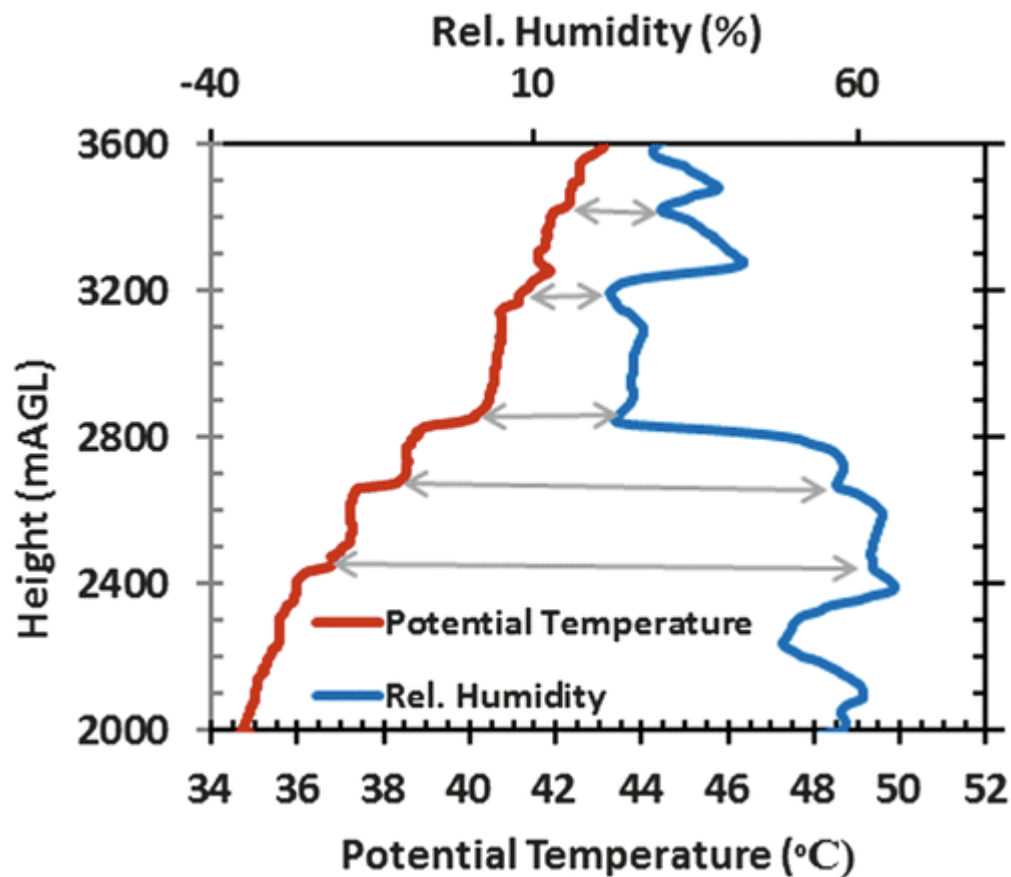
Εικόνα 51: Α) Το drone που χρησιμοποιήθηκε Β) Η εγκατάσταση ελέγχου. [18]

Τα αποτελέσματα για την ταχύτητα και την διεύθυνση του αέρα που προέκυψαν από την εκτέλεση του πειράματος απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 52: Ταχύτητα και διεύθυνση του αέρα. [18]

Σχετικά με τη θερμοκρασία και την υγρασία, το DataHawk drone επιχείρησε σε ύψη μεταξύ 2000 μέτρων και 3500 μέτρων και τα αποτελέσματα που προέκυψαν απεικονίζονται σχηματικά στην εικόνα που ακολουθεί. [18]



Εικόνα 53: Θερμοκρασία και υγρασία αέρα. [18]

Μία μελέτη που διεξήχθη από ερευνητές στο κέντρο Αυτοματισμού και Ρομποτικής της Μαδρίτης (Centre for Automation and Robotics-CAR) χρησιμοποίησε ένα drone για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, της φωτεινότητας και της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα σε ένα θερμοκήπιο. Η ικανότητα του εναέριου αυτού οχήματος να κινηθεί σε τρισδιάστατο χώρο και να τοποθετήσει τον αισθητήρα σε οποιοδήποτε σημείο ή απλά να τον μεταφέρει όσο αυτός λαμβάνει τα δεδομένα για τις απαραίτητες μετρήσεις, το καθιστά αποτελεσματικότερο έναντι των παραδοσιακών επίγειων συστημάτων αισθητήρων. Η ύπαρξη τέτοιας τεχνολογίας μπορεί να συμβάλλει στη βελτίωση των συστημάτων ελέγχου του κλίματος και στην αποτελεσματικότερη παρακολούθηση των καλλιεργειών. Με τη διατήρηση συγκεκριμένων συνθηκών εντός του θερμοκηπίου να είναι απαραίτητη, πρέπει να είναι δυνατή η πολύ συχνή, αν όχι συνεχής, καταγραφή τους και τα drones προσφέρουν πολύ μεγάλη βοήθεια σε αυτό. Οι ερευνητές, λοιπόν, χρησιμοποίησαν ένα τετρακόπτερο εξοπλισμένο με αισθητήρες των μεγεθών που αναφέρθηκαν νωρίτερα (θερμοκρασία, υγρασία, φωτεινότητα, συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα) και έναν ελεγκτή για τη συλλογή αυτών των δεδομένων και

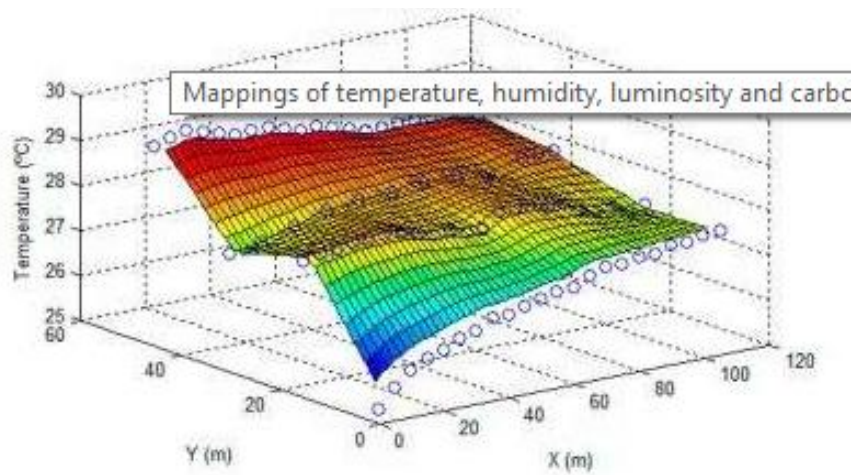
την αποστολή τους σε ένα ασύρματο δίκτυο για ανάλυση. Το τετρακόπτερο αυτό, που μπορούσε να εκτελέσει αυτόνομες προγραμματισμένες διαδρομές, αλλά και να μετακινηθεί ελεύθερα σε αναζήτηση πιθανών αποκλίσεων στις μετρήσεις του, φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 54: Το χρησιμοποιούμενο τετρακόπτερο. [20]

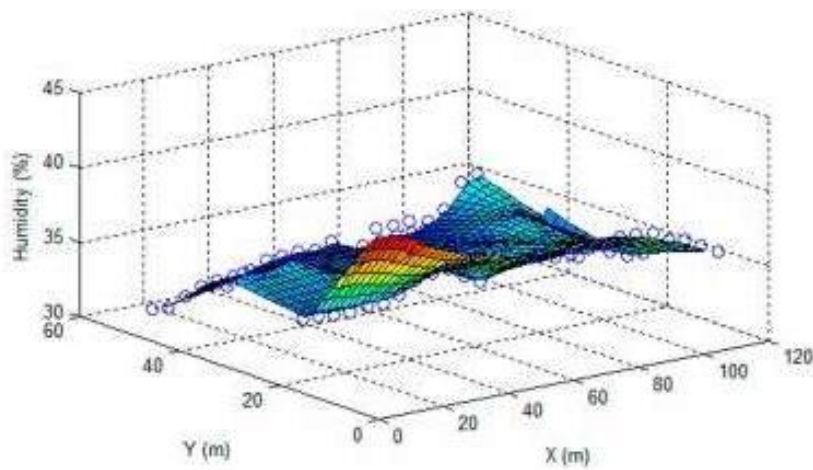
Η διάρκεια του πειράματος ήταν 20 λεπτά και περιλάμβανε την πτήση του drone σε όλη την εγκατάσταση του θερμοκηπίου. Ακολούθως, δημιουργήθηκαν τρισδιάστατοι χάρτες θερμοκρασίας, υγρασίας, φωτεινότητας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίοι παρατίθενται παρακάτω.

Θερμοκρασία



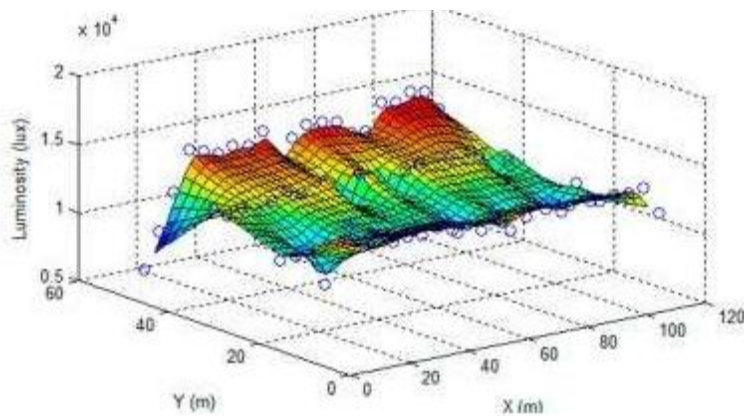
Εικόνα 55: Απεικόνιση θερμοκρασίας. [20]

Υγρασία



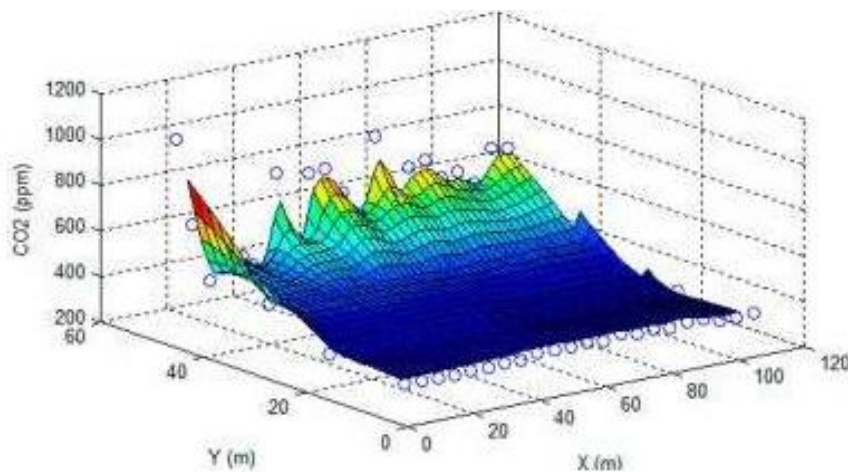
Εικόνα 56: Απεικόνιση υγρασίας. [20]

Φωτεινότητα



Εικόνα 57: Απεικόνιση φωτεινότητας. [20]

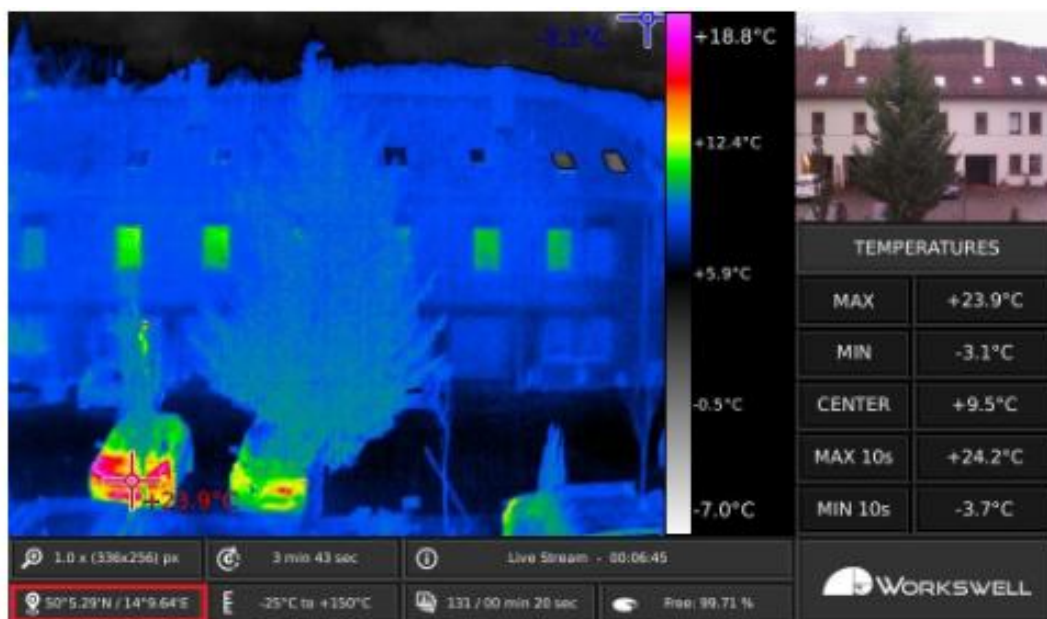
Συγκέντρωση CO₂



Εικόνα 58: Απεικόνιση συγκέντρωσης CO₂. [20]

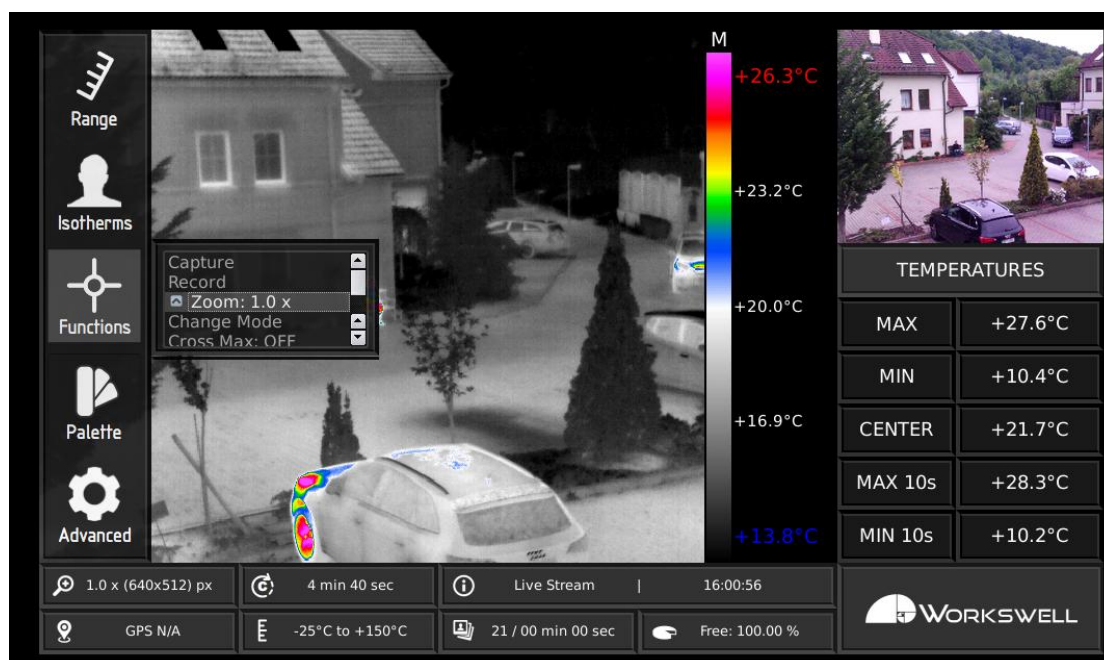
Και στις 4 παραπάνω απεικονίσεις, με κόκκινο χρώμα φαίνονται τα σημεία όπου καταγράφηκε η μεγαλύτερη τιμή του κάθε μεγέθους και με μπλε αυτά στα οποία καταγράφηκε η χαμηλότερη μέτρηση. [19]

Μία ακόμα δυνατότητα που έχουν τα drones είναι πως μπορούν να εξοπλιστούν με θερμικές κάμερες για ευκολότερο εντοπισμό τοπικών υψηλότερων θερμοκρασιών σε ένα πεδίο. Μία ιδέα για τη μορφή τέτοιων απεικονίσεων μπορούμε να αποκτήσουμε από την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 59: Θερμική απεικόνιση μιας τοποθεσίας. [33]

Οι θερμικές κάμερες που εγκαθίστανται σε drones μας δίνουν τη δυνατότητα να εστιάσουμε (zoom) στα σημεία όπου εντοπίζονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες προκειμένου να αντιληφθούμε από τι προέρχονται, κάτι που απεικονίζεται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 60: Θερμική απεικόνιση με εστίαση. [33]



Εικόνα 61: Θερμική απεικόνιση με εστίαση. [33]

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνολικά, τα μη επανδρωμένα οχήματα μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη συλλογή δεδομένων που σχετίζονται με τους ατμοσφαιρικούς ρύπους, ειδικά σε περιοχές που παρέχουν περιορισμένη ή καθόλου πρόσβαση, όπως για παράδειγμα ορεινές και βραχώδεις περιοχές, στις οποίες και δεν είναι εύκολο να εγκατασταθούν άλλες υποδομές. Οι γνώσεις μας για τη μορφή και τη σύσταση των κατακόρυφων προφίλ των ρύπων μπορούν να βελτιωθούν χρησιμοποιώντας τέτοια οχήματα, καθώς αρκετά από αυτά μπορούν να φτάσουν σε αρκετά μεγάλο ύψος για τη συλλογή δείγματος. Ακόμη, η λήψη πληροφοριών σχετικών με την ποιότητα του αέρα μέσω drones μπορεί να γίνεται για ικανοποιητικά χρονικά διαστήματα, συνήθως 30 λεπτών περίπου. Αυτό το διάστημα είναι επαρκές χρόνος για την αξιόπιστη συλλογή δεδομένων και την λεπτομερή ανάλυσή τους. Τα μη επανδρωμένα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για να επαληθεύσουν δεδομένα που λαμβάνονται από δορυφόρους, κινούμενα και στις τρεις διαστάσεις, ώστε να είμαστε σίγουροι για την αξιοπιστία του δείγματός μας. Βασικό στοιχείο, εκτός της ευελιξίας των κινήσεων, που καταδεικνύει το γεγονός ότι είναι συμφέρουσα η χρήση drones είναι το χαμηλό τους κόστος, καθώς δεν απαιτούνται πλέον μεγάλα ποσά για την προμήθειά τους για την πραγματοποίηση διαφόρων ερευνών. Στο πέρασμα των χρόνων σημειώνεται όλο και μεγαλύτερη πρόοδος ως προς κάποιες βασικές ικανότητές τους, όπως για παράδειγμα το βάρος του ωφέλιμου φορτίου που μπορούν να μεταφέρουν. Ωστόσο, υπάρχει αντίστοιχη πρόοδος σε αυτόν τον τομέα και στην κατασκευή των μεταφερόμενων συσκευών, όπως αισθητήρες και κάμερες. Η κατασκευή αισθητήρων και καμερών που πρόκειται να τοποθετηθούν σε drones γίνεται πλέον με γνώμονα την ύπαρξη όσο μικρότερου βάρους και όγκου σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη αύξηση των δυνατοτήτων τους και την ομαλότερη λειτουργικότητά τους. Η όλο και πιο διαδεδομένη χρησιμοποίηση μη επανδρωμένων οχημάτων για διάφορους σκοπούς έχει οδηγήσει σε μεγάλο ανταγωνισμό μεταξύ των κατασκευαστών, κάτι που καθιστά ευκολότερη την εύρεση αυτού που ανταποκρίνεται καλύτερα στις απαιτήσεις και τις ανάγκες ενός χρήστη και μάλιστα με όλο και χαμηλότερο κόστος στο πέρασμα των χρόνων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Holman, V. (2016). *The Use of Drones in Measuring Air Quality, Pollution & Treatment Controls*. Retrieved from <http://ezinearticles.com/?The-Use-of-Drones-in-Measuring-Air-Quality,-Pollution-and-Treatment-Controls&id=9416679>
- [2] Rudbeck, J. (2014). *Drones as new weapon against emission violators*. Retrieved from <http://shippingwatch.com/carriers/article6505859.ece>
- [3] Mingireanu, F., Grigorescu, S., Cepisca, C., Stefan, C., Mocanu, I., Georgescu, L. (2013). *Methods of Spatial Modeling for Evaluation of Air Quality based on UAV*. Retrieved from <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2013/Rhodes/ENVIR/ENVIR-02.pdf>
- [4] Berman, E., Fladeland, M., Liem, J., Kolyer, R., Gupta, M. (2012). Greenhouse gas analyzer for measurements of carbon dioxide, methane, and water vapor aboard an unmanned aerial vehicle. *Sensors and Actuators B: Chemical*. Retrieved from <http://www.lgrinc.com/publications/Berman%20-%20Greenhouse%20gas%20analyzer%20for%20measurements%20of%20carbon%20dioxide,%20methane,%20and%20water%20vapor%20aboard%20an%20unmanned%20aerial%20vehicle.pdf>
- [5] Malaver, A.; Motta, N.; Corke, P.; Gonzalez, F. (2015) Development and integration of a solar powered unmanned aerial vehicle and a wireless sensor network to monitor greenhouse gases. *Sensors*. Retrieved from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4367400/>
- [6] *Mission Planner Ground Control Station* (2016). Retrieved from <http://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-ground-control-station.html>
- [7] Watai, T., Machida, T., Ishizaki, N., Inoue, G. (2006). A Lightweight Observation System for Atmospheric Carbon Dioxide Concentration Using a Small Unmanned Aerial Vehicle. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Retrieved from <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JTECH1866.1>
- [8] Illingworth, S., Allen, G., Percival, C., Hollingsworth, P., Gallagher, M., Ricketts, H., et al. (2014). Measurement of boundary layer ozone concentrations on-board a

Skywalker unmanned aerial vehicle. *Atmospheric Science Letters*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asl2.496/full>

[9] Krishna, D. (2014). *Detecting Gaseous Pollutants Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Retrieved from https://www.slideshare.net/dhanithkrishna/detecting-gaseous-pollutants-using-unmanned-aerial-vehicle-uav?next_slideshow=1

[10] *F1,F3, F4, F7 Flight Controller Differences explained*. (2017). Retrieved from <https://oscarliang.com/f1-f3-f4-flight-controller/>

[11] Baxter, R., Bush, D. (2014). *Use of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality and Meteorological Measurements*. Retrieved from <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/2014conference/wedngambaxter.pdf>

[12] Woolaston, V. (2014). *China successfully tests smog-fighting drones that spray chemical to capture air pollution*. Retrieved from <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2577342/China-successfully-tests-smog-fighting-drones-spray-chemicals-capture-air-pollution.html>

[13] *Denmark to strengthen control of ships' sulphur emissions*. (2016). Retrieved from <http://www.green4sea.com/strengthen-control-of-ships-sulphur-emissions/>

[14] *Scrubber technology*. (2013). Retrieved from <http://www.shippipedia.com/scrubber/>

[15] Edwards, G., Haskin, C. (2015). *Measurement of Atmospheric Pollution Profiles using Drones*. Retrieved from <https://experiment.com/projects/measurement-of-atmospheric-pollution-profiles-using-drones>

[16] Corrigan, F. (2017). *Introduction To UAV Photogrammetry And Lidar Mapping Basics*. Retrieved from <https://www.dronezon.com/learn-about-drones-quadcopters/introduction-to-uav-photogrammetry-and-lidar-mapping-basics/>

[17] Higgins, S. (2016). *Drone LiDAR vs Photogrammetry: A Technical Guide*. Retrieved from <http://www.spar3d.com/news/lidar/drone-lidar-vs-photogrammetry-technical-guide/>

[18] Lawrence, D., Balsley, B. (2013). *High-Resolution Atmospheric Sensing of Multiple Atmospheric Variables Using the DataHawk Small Airborne Measurement*

System. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Retrieved from <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JTECH-D-12-00089.1>

[19] Roldan, J., Joosen, G., Sanz, D., Del Cerro J., Barrientos, A. (2015). Mini-UAV Based Sensory System for Measuring Environmental Variables in Greenhouses. *UAV Sensors for Environmental Monitoring*. Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/15/2/3334>

[20] Villa, T., Gonzalez, F., Miljevic, B., Ristovski, Z., Morawska L. (2016). An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. *Sensors*. Melesse, A. (Ed.). Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/7/1072/htm>

[21] *Build a Drone - information on building your own UAV*. Retrieved from <http://www.buildadrone.co.uk/what-do-i-need.html>

[22] Autonomous drone: *Robot autonomy course project*. Retrieved from <https://www.andrew.cmu.edu/user/llyu/drone.html>

[23] NASA Airborne Science Program: *Sierra*. Retrieved from <https://airbornescience.nasa.gov/aircraft/SIERRA>

[24] Figuring Out Aerial Surveying with a Drone Instead of Arguing About Photogrammetry vs Lidar: *Commercial UAV News*. Retrieved from: <https://www.expouav.com/news/latest/figuring-aerial-surveying-drone-instead-arguing-photogrammetry-vs-lidar/>

[25] Liang O. (2017). *How to Choose Flight Controller for Quadcopter*. Retrieved from <https://oscarliang.com/best-flight-controller-quad-hex-copter/>

[26] Liang O. (2017). *F1, F3, F4 and F7 Flight Controller Differences Explained*. Retrieved from <https://oscarliang.com/f1-f3-f4-flight-controller/>

[27] *eBee Plus: Aerial Efficiency, Photogrammetric accuracy*. Retrieved from https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/documents/brochures/eBeePlus_en/eBee-Plus-web-en.pdf

- [28] *Brushless DC Motors or BLDC Motors*. Retrieved from <http://www.synchronousmotor.co.in/brushless-dc-motors-or-bldc-motors.html#m15h2-bldc-motors>
- [29] *Smart Electronics MPU9255 MPU-9255 Sensor Module Three-axis Gyroscope Accelerometer Magnetic Field GY-9255*. Retrieved from <https://www.aliexpress.com/item/Smart-Electronics-MPU9255-MPU-9255-Sensor-Module-Three-axis-Gyroscope-Accelerometer-Magnetic-Field-GY-9255/32499625123.html>
- [30] *GY-61 DXL335 3-Axis Accelerometer module*. Retrieved from <http://www.robotpark.com/GY-61-DXL335-3-Axis-Accelerometer-Module>
- [31] *Radio Control Transmitters and Receivers*. Retrieved from <http://rcplanes.000webhostapp.com/guide1.htm>
- [32] *2.4G Wireless Transmission Shield Module*. Retrieved from <https://m.aliexpress.com/item/32792489013.html>
- [33] *Workswell Wiris-thermal imaging camera for drones*. Retrieved from <https://www.drone-thermal-camera.com/wiris/>