



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

**ΤΜΗΜΑ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**Κατασκευή & εγκατάσταση
ενός χαμηλού κόστους
ADS-B δέκτη για τη λήψη
δεδομένων κίνησης
επιβατικών αεροσκαφών
στην περιοχή Χανίων
και Ηρακλείου**

Επιμέλεια:
Δημήτρης Παπαναγιώτου

Επιβλέπων Καθηγητής:
Σπυρίδων Παπαευθυρίου

Χανιά 2017

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Παπαευθυμίου Σπυρίδων, για την πολύτιμη στήριξη και την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Γιώργο Νικολουδάκη, υποψήφιο διδάκτορα, για την αμέριστη βοήθειά του στα τεχνικά θέματα υλοποίησης της κατασκευής της κεραίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους – συμφοιτητές μου για την συμπαράστασή τους, όχι μόνο κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, αλλά και κατά τη διάρκεια όλων των σπουδών μου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και κατασκευή ενός δέκτη ψηφιακών σημάτων ADS-B και η εγκατάστασή του στο Πολυτεχνείο Κρήτης, για τη ζωντανή παρακολούθηση των αεροσκαφών που κινούνται πάνω από τον εναέριο χώρο της Κρήτης με μέγιστη εμβέλεια τα 400 χιλιόμετρα. Απώτερος στόχος ήταν η άντληση των σχετικών δεδομένων και η επεξεργασία τους ώστε να εξαχθεί ένα γενικό συμπέρασμα σχετικά με τους αέριους ρύπους των επιβατικών αεροσκαφών στην περιοχή των Χανίων και του Ηρακλείου.

Abstract

The purpose of this thesis is the design and construction of an ADS-B receiver and its installation at the Technical university of Crete. The intention was to monitor, in real time, all aircrafts that fly in a maximum range of 400 kilometers. Our goal was to gather all the data selected by the receiver and process them, in order to deduct an ultimate conclusion according to the aerial emissions that are emitted from all the civil aircrafts flying over Chania and Heraklion.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

1.1	Εισαγωγή	9
1.2	Η εξέλιξη της τεχνολογίας ADS-B.....	10
1.3	Πρωτόκολλα επικοινωνίας ADS-B.....	14
1.4	Επίδραση Α/Φ στο περιβάλλον	14

Κεφάλαιο 2

2.1	Έρευνα αγοράς	19
2.2	Πορεία κατασκευής του δέκτη.....	20
2.3	Ολοκλήρωση κατασκευής του δέκτη και λήψη άδειας από FR24. 24	

Κεφάλαιο 3

3.1	Εύρεση τρόπου σύνδεσης απομακρυσμένα	27
3.2	Εύρεση τρόπου λήψης των δεδομένων	28
3.3	Επεξεργασία των δεδομένων.....	31
3.4	Υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων.....	35
3.4.1	Μεθοδολογία υπολογισμού.....	35
3.4.2	Υπολογισμός ρύπων για την πτήση Ηράκλειο-Αθήνα.....	36
3.4.3	Υπολογισμός αέριων ρύπων της πτήσης Χανιά-Αθήνα.....	40

3.5	Γραφική απεικόνιση ρύπων.....	43
-----	-------------------------------	----

Κεφάλαιο 4

4.1	Χρήση δεδομένων για το υπόλοιπο κομμάτι της έρευνας	55
-----	---	----

4.2	Συμπεράσματα	56
-----	--------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59
---------------------------	----

Παράρτημα Εικόνων	60
--------------------------------	----

Παράρτημα Πινάκων	61
--------------------------------	----

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Συνοπτικά, αφού γίνει μικρή εισαγωγή για τα συστήματα επικοινωνίας Α/Φ και κέντρων ελέγχου, για τους ρύπους και τα χαρακτηριστικά τους όταν αυτοί εκπέμπονται, θα καταγραφεί όλη η διαδικασία κατασκευής και εγκατάστασης του δέκτη αλλά και η μετέπειτα χρήση του για την χαρτογράφηση και τον υπολογισμό των αέριων ρύπων για συγκεκριμένες πτήσεις με επιστροφή από τα Χανιά και το Ηράκλειο Κρήτης με προορισμό την Αθήνα.

1.1 Εισαγωγή

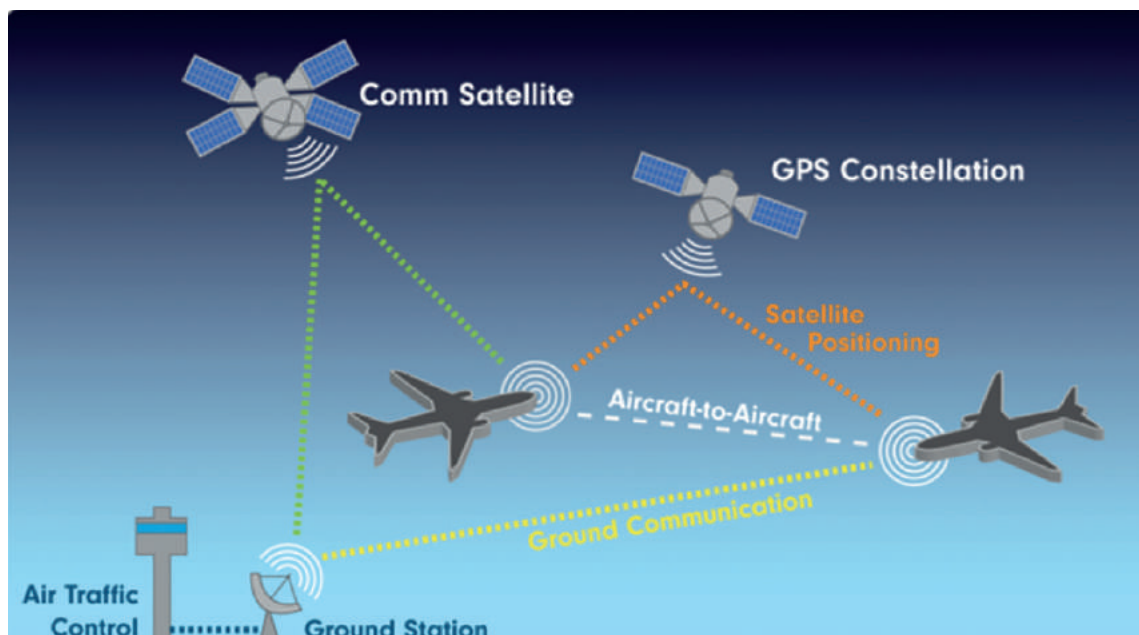
Από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα όπου και ξεκίνησε η ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα των μεταφορών, έτσι και ο τομέας της αεροπλοΐας εισήλθε στην καθημερινότητα μας πιο γρήγορα από ποτέ. Βασικός λόγος για αυτό ήταν ευρεία διάθεση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο) και των παραγώγων τους (βενζίνη, κηροζίνη) με αποτέλεσμα να κατασκευάζονται κινητήρες έτοιμοι προς χρήση. Μεγάλη ήταν η εξέλιξη και των κινητήρων κάτι που επέτρεψε τα υπερατλαντικά ταξίδια να πραγματοποιούνται πιο συχνά από ποτέ αλλά μαζί με την εξέλιξη τους αυτή, οι κινητήρες έγιναν πιο αποδοτικοί και οικονομικοί με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ευελιξία των πτήσεων αφού για παράδειγμα, την καλοκαιρινή περίοδο, πραγματοποιούνται 6 πτήσεις προς Χανιά

ημερησίως μόνο από την αεροπορική εταιρεία της Aegean. Περίπου άλλες τόσες είναι και από την Ryanair.

Αναλογιζόμαστε επομένως πως για να πραγματοποιούνται όλες αυτές οι πτήσεις ετησίως σε παγκόσμια κλίμακα, απαραίτητη είναι η επικοινωνία μεταξύ του εκάστοτε πύργου ελέγχου και αεροσκάφους. Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε ο πιο σύγχρονος τρόπος αυτής της επικοινωνίας που δεν είναι άλλος από τον ADS-B. Προκειμένου όμως να γίνει πλήρως αντιληπτή η διαδικασία από τον αναγνώστη κρίνεται σκόπιμο να αποσαφηνιστούν έννοιες οι οποίες μπορεί να είναι άγνωστες.

Αρχικά θα αναφερθούμε στις πρώτες μεθόδους παρακολούθησης της εναέριας κυκλοφορίας και στην σταδιακή τους εξέλιξη στην σημερινή, σύγχρονη μορφή της, την μέθοδο ADS-B. Στην συνέχεια θα γίνει μικρή αναφορά στους εκπεμπόμενους ρύπους από τους κινητήρες των αεροσκαφών.

1.2 Η εξέλιξη της τεχνολογίας Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B).



Εικόνα 1: Αναπαράσταση επικοινωνίας Α/Φ με πύργο ελέγχου μέσω ADS-B (Zimmerman, 2013)

Radar (Radio Detection and Ranging)³

Αρχικά, όταν στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο υπήρχε η ανάγκη ελέγχου της θέσης των Α/Φ, για στρατιωτικούς λόγους προφανώς, αναπτύχθηκε η τεχνολογία των radar (Radio Detection and Ranging)³. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι ο εξής: πηγές ραδιοκυμάτων που βρίσκονται στο έδαφος παράγουν ηχητικά κύματα τα οποία επρόκειτο να ανακλαστούν από Α/Φ τα οποία βρίσκονται στην κατεύθυνση τους. Επομένως, μέσω της τεχνολογίας αυτής δεν υπήρχε κάποιος ειδικός εξοπλισμός εγκατεστημένος πάνω στο αεροπλάνο, αφού τα κύματα αντανακλούσαν και επέστρεφαν πίσω λόγω της “σύγκρουσης τους” με το Α/Φ αυτό κάθε αυτό. Ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία αυτή απαιτούνται μερικά δευτερόλεπτα, με αποτέλεσμα να μην λαμβάνεται η πραγματική θέση του αεροσκάφους αλλά μια θέση που είχε πριν μερικά δευτερόλεπτα.

Ένα ακόμη μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι το γεγονός πως σε περίπτωση που μπροστά από το ηχητικό κύμα, το οποίο έχει σταλεί από το σύστημα radar από το έδαφος, περάσει ένα πτηνό ή εισέλθει σε πυκνά σύννεφα, το σήμα αργεί να ανακλαστεί από το Α/Φ ή πολλές φορές δεν φτάνει στο Α/Φ ούτως ώστε να ανακλαστεί.

TCAS (Traffic Collision Avoidance System)⁴

Το επόμενο βήμα στις μεθόδους παρακολούθησης και κίνησης ήταν το TCAS (Traffic Collision Avoidance System)⁴. Αυτό λειτουργεί με την ενδοεπικοινωνία μεταξύ των Α/Φ. Με αυτό τον τρόπο, κάθε Α/Φ που είχε εγκατεστημένο ένα τέτοιο σύστημα ήταν ικανό να εντοπίσει την θέση ενός κοντινού άλλου Α/Φ με αποτέλεσμα να

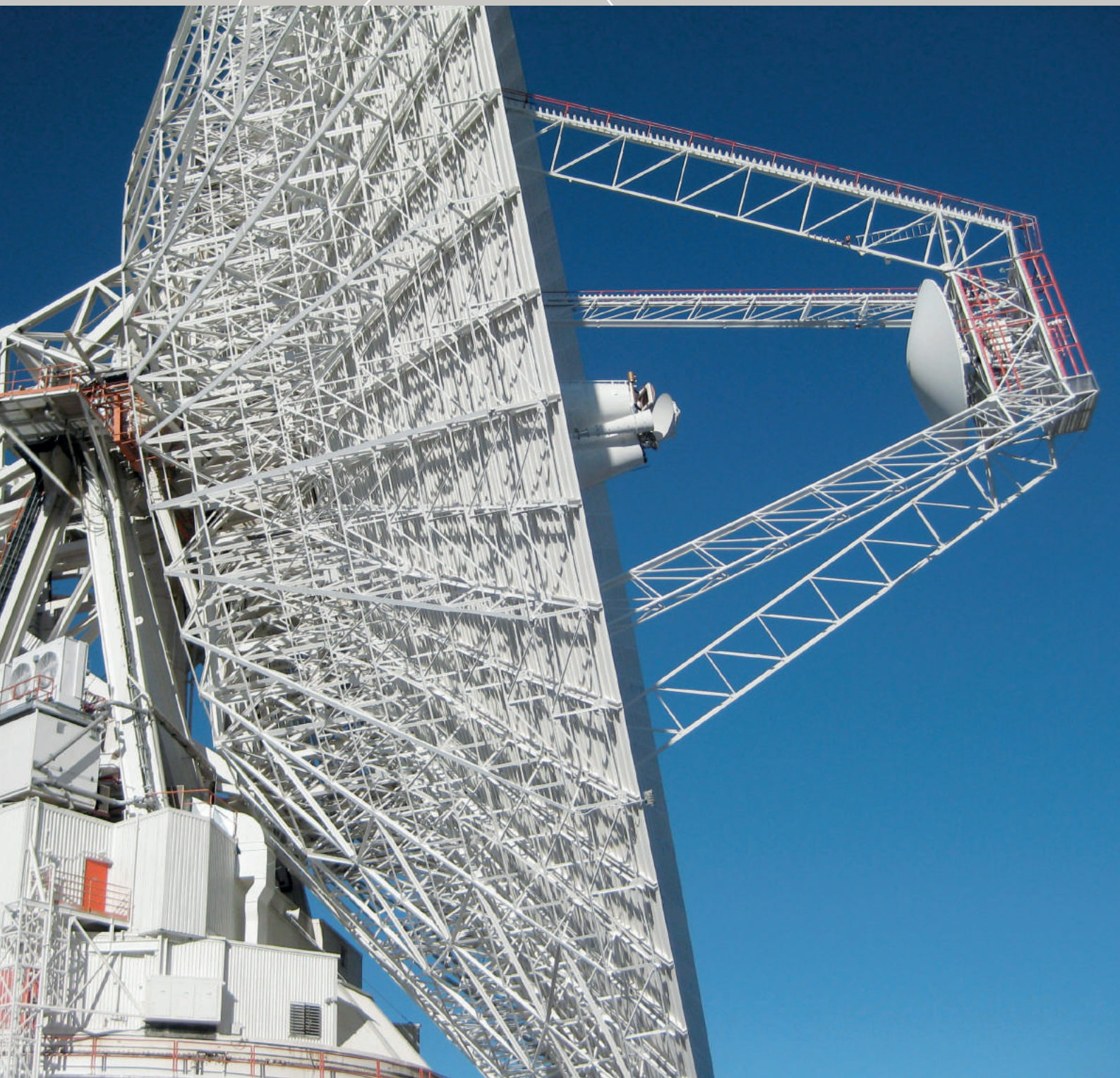
μπορούσε να αποτραπεί πιθανή σύγκρουση μεταξύ των δύο.

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast)⁵

Είναι μια μέθοδος παρακολούθησης στην οποία ένα αεροσκάφος καθορίζει την θέση του μέσω ενός δορυφόρου και περιοδικά την αναμεταδίδει ούτως ώστε να είναι εφικτή η ιχνηλάτησή του. Θα μπορούσε να αλλάξει ριζικά τον τρόπο με τον οποίο τα αεροσκάφη παρακολουθούνται στο εθνικό σύστημα εναέριου χώρου (National Airspace System)¹. Η αναμετάδοση αυτή λαμβάνεται και αποκωδικοποιείται είτε από τον πύργο έλεγχου του εκάστοτε αεροδρομίου είτε από άλλα αεροσκάφη. Η ειδοποιός διαφορά με τα κοινά συστήματα radar έγκειται στο γεγονός πως με την τεχνολογία ads-b το αεροσκάφος λαμβάνει την θέση του από το παγκόσμιο σύστημα δορυφορικής πλοήγησης (Global Navigation Satellite System)² και αυτομάτως την αναμεταδίδει στον εκάστοτε πύργο ελέγχου που έχει εγκατεστημένη κατάλληλη κεραία η οποία αποκωδικοποιεί τα συγκεκριμένα σήματα. Αυτό οδηγεί στην αύξηση την απόδοση και την ασφάλεια του NAS και να μειώσει το κόστος λειτουργίας του. Σε αντίθεση με την τεχνολογία αυτή, τα συστήματα radar στέλνουν ραδιοκύματα συγκεκριμένης συχνότητας, τα οποία αναγκάζουν τον αναμεταδότη του αεροσκάφους που συναντούν να απαντήσει στα σήματα αυτά με την τρέχουσα θέση του. (Lester, 2007)

Τα πλεονεκτήματα χρήσης ενός συστήματος ADS-B ωφελεί εξίσου την εναέρια κίνηση κυκλοφορίας των αεροδρομίων όσο και τους πιλότους των αεροσκαφών διότι βελτιώνει τόσο την ασφάλεια όσο και την αποτελεσματικότητα των πτήσεων αφού:

- **Θέση:** Το στίγμα του εκάστοτε αεροσκάφους είναι σε πραγματικό χρόνο.
- **Κίνηση:** Αν και τα κοντινά αεροσκάφη είναι εξοπλισμένα με τον κατάλληλο ads-b δέκτη, τότε οι πιλό-



Εικόνα 2: Σύστημα RADAR

τοι μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ώστε να μαθαίνουν την ταχύτητα, το ύψος και την απόσταση μεταξύ των αεροσκαφών.

- **Καιρός**: Παρέχετε ενημέρωση σχετικά με τον καιρό που επικρατεί.
- **Κόστος εγκατάστασης**: Κατά πολύ μικρότερο το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας ενός συστήματος ads-b σε σχέση με τα αντίστοιχα συστήματα radar.

1.3 Πρωτόκολλα επικοινωνίας ADS-B

Από την στιγμή που η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια ψηφιακή μετάδοση δεδομένων, απαραίτητη είναι η χρήση ενός συγκεκριμένου πρωτόκολλου επικοινωνίας για την κωδικοποίηση και αποκωδικοποίηση των δεδομένων. Στην Αμερική, από όπου και εφευρέθηκε η αναφερθείσα τεχνολογία, έχει εδραιωθεί εκείνο των 1090 MHz-Extended Squitter (1090-ES).

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι βασισμένο στον αναμεταδότη Mode-S. Ο αναμεταδότης αυτός αναπτύχθηκε ως κομμάτι του συστήματος TCAS, που αναφέρθηκε προηγουμένως, στα μέσα της δεκαετίας του '70 και ακόμα αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του. Ουσιαστικά το πρωτόκολλο 1090-ES του ADS-B ενισχύει την αποδοτικότητα των συστημάτων TCAS ενώ παράλληλα διατηρεί την ασφάλεια των στοιχείων που αναμεταδίδονται.

1.4 Επίδραση Α/Φ στο περιβάλλον

Παρόλα αυτά, μεγάλη είναι η επίδραση της αεροπορικών πτήσεων στο περιβάλλον αφού καλύπτει το 2% των συνολικών εκπομπών διοξειδίων του άνθρακα παγκο-

σμίως παρόλο που συγκριτικά με τα άλλα μέσα μεταφοράς φαίνεται μικρή. Γίνονται μεγάλες προσπάθειες από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Αεροπλοΐας (ICAO) να θεσπιστούν μέτρα ικανά να μειώσουν κατά πολύ την κατανάλωση καυσίμου άρα και τις εκπομπές ρύπων μέχρι το τέλος του 2050, με νέους κινητήρες και νέους αεροδυναμικούς σχεδιασμούς ικανούς να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα έως και 35%.

Στον Ελλαδικό χώρο και συγκεκριμένα για το έτος 2016, μόνο για τις διαδρομές Αθήνα-Χανιά και Αθήνα-Ηράκλειο, πραγματοποιήθηκαν 2.352 και 4.368 πτήσεις αντίστοιχα. Αναλογιζόμαστε επομένως πως η ανάγκη, μέτρησης και υπολογισμού των αέριων ρύπων στις παραπάνω περιοχές είναι απαραίτητη ούτως ώστε, αρχικά να διαπιστώσουμε με πραγματικές μετρήσεις τους εκπεμπόμενους ρύπους και έπειτα, σε περίπτωση που αυτοί υπερβαίνουν τα πραγματικά όρια, να παρθούν μέτρα.

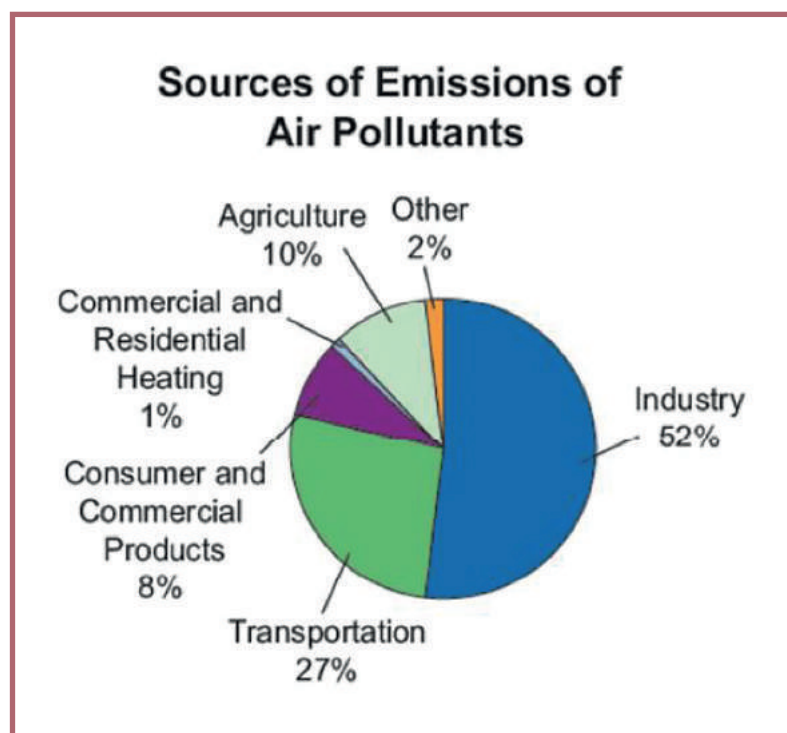
Προτού όμως αναφερθούμε στον τρόπο παρακολούθησης και μέτρησης, θα ήταν καλό για τον αναγνώστη, να αναφερθούμε συνοπτικά στους σημαντικότερους ρύπους που επικρατούν στην ατμόσφαιρα από τους κινητήρες εσωτερικής καύσης και γενικότερα τι σημαίνει ο όρος ατμοσφαιρική ρύπανση.

Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στο οικοσύστημα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει επίσης υποβάθμιση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

Η προέλευση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορεί να είναι είτε από φυσικές πηγές ρύπανσης όπως πυρκαγιές, ηφαίστεια είτε από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η παραγωγή ενέργειας με καύσιμα, η βιομηχανία και οι μεταφορές. Η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σημαντικές επιδράσεις στην υγεία, καθώς σχετίζεται με αναπνευστικά προβλήματα και καρδιοπάθειες. Έχει άμεση

αρνητική επίδραση σε άτομα με αναπνευστικά προβλήματα ενώ μακροπρόθεσμη έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλέσει καρκίνο, νευρολογικά προβλήματα ενώ σε ακραίες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο.

Η συμβολή του κάθε κλάδου στην ατμοσφαιρική ρύπανση φαίνεται στην Εικόνα 1. Οι ρύποι διαχωρίζονται σε πρωτογενείς ρύπους οι οποίοι είναι αυτοί που εκλύονται απευθείας στον αέρα και δευτερογενείς ρύπους οι οποίοι δημιουργούνται από αντιδράσεις των πρωτογενών με το περιβάλλον τους.



Εικόνα 3: Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης ανά κλάδο

Οι κυριότεροι ρύποι που επικρατούν στην ατμόσφαιρα από τους κινητήρες των Α/Φ είναι:

1. Τα οξείδια του Αζώτου (NOx)

Το μονοξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) παράγονται από την οξείδωση του αέρα στους κινητήρες εσωτερικής καύσης και από την καύση ορυκτών καυσίμων κυρίως σε ηλεκτροπαραγωγούς

σταθμούς και κεντρικές θερμάνσεις. Το NO_2 είναι αέριο με καφέ χρώμα, διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για οξεία ερεθιστική οσμή καθώς επίσης και για την καφέ όψη του αστικού ουρανού. Τα οξείδια του αζώτου NO και NO_2 εμπλέκονται και ενεργοποιούν τον φωτοχημικό κύκλο αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και το σχηματισμό έτσι της φωτοχημικής ρύπανσης, συμβάλλοντας στον έλεγχο του τροποσφαιρικού όζοντος. Επίσης συμβάλλουν στην δημιουργία της όξινης βροχής και προκαλούν ρύπανση. Το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε παιδιά.

2. Τα οξείδια του Θείου (SO_x)

Το μονοξείδιο του θείου (SO) είναι αέριο άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική μυρωδιά σε πολύ ψηλές συγκεντρώσεις. Στην ατμόσφαιρα το SO αντιδρά με οξυγόνο (O_2) για να σχηματίσει διοξείδιο του θείου (SO_2) που εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με υδρατμούς, σχηματίζοντας ομίχλη θειικού οξέος ή θειώδους οξέος, φαινόμενο που απαντάται στην ρύπανση από όξινη βροχή. Τα οξείδια του θείου παράγονται κατά την καύση ορυκτών καυσίμων που περιέχουν θείο όπως ο λιγνίτης και το πετρέλαιο. Κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές προέλευσης του διοξειδίου του θείου είναι οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί, οι χημικές βιομηχανίες, τα διυλιστήρια πετρελαίου, οι κεντρικές θερμάνσεις και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Μακροχρόνια έκθεση στα οξείδια του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιοαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιοαγγειακές, χρόνιες πνευμονολογικές

παθήσεις, καθώς και μικρά παιδιά και ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθείς σε τέτοιες συνθήκες.

3. Αιωρούμενα Σωματίδια (PM)

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τέτοια σωματίδια είναι η σκόνη, ο καπνός, διάφορα μέταλλα κλπ. Σημαντικό ρόλο έχουν τα σωματίδια που έχουν διάμετρο μέχρι 10 (PM_{10}) και ιδίως τα σωματίδια με πολύ μικρή διάμετρο ($PM_{2,5}$), διότι το μέγεθός τους επιτρέπει την είσοδό τους στο αναπνευστικό σύστημα προκαλώντας σοβαρά αναπνευστικά προβλήματα. Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν επίσης ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα, στους πνεύμονες και στην καρδιά. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι είναι ομάδες πληθυσμού ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

Κεφάλαιο 2

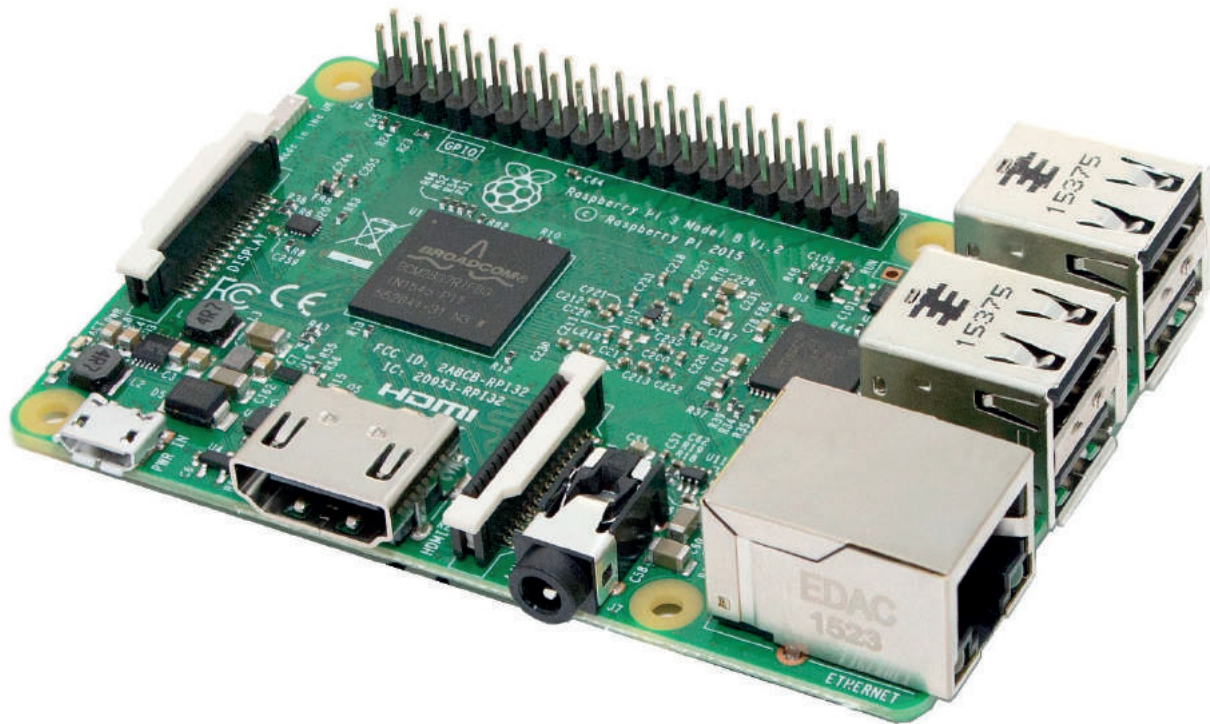
Κατασκευή και εγκατάσταση κεραίας

2.1 Έρευνα αγοράς

Ιεραρχώντας τις ανάγκες μας όσον αφορά τις αγορές που πρέπει να κάνουμε για την υλοποίηση της ιδέας, έχουμε τα εξής: αγορά μιας μητρικής πλακέτας η οποία θα είναι το μέσο επικοινωνίας του χρήστη με την κεραία.

Επομένως, χρειάζεται να βρούμε μια συσκευή που θα συνδυάζει μια υψηλή επεξεργαστική ισχύ, ένα καλό σύστημα I/O (input-output) το οποίο θα μας επιτρέπει σύνδεση της μητρικής με εξωτερική οθόνη (θύρα HDMI), θύρες USB ώστε να συνδεθούν εξωτερικό πληκτρολόγιο και ποντίκι μαζί με τον δέκτη σημάτων που θα αναφερθεί παρακάτω. Τον συνδυασμό όλων των παραπάνω μαζί με ένα προσιτό κόστος μας τον δίνει η μητρική πλακέτα της Raspberry (εικόνα 4), όπου χρησιμοποιείται από τις εκπαιδευτικές κοινότητες για πολλά project ηλεκτρονικής.

Για την λήψη των δεδομένων αυτών, χρειάστηκε να χρησιμοποιήσουμε έναν δέκτη ψηφιακών σημάτων (εικόνα 5), οποίος να υποστηρίζει τις συχνότητες ADS-B (1090 MHz). Επίσης ήταν αναγκαίο να έχει την απόλυτη συμβατότητα με την μητρική πλακέτα που επιλέχθηκε. Μετά από αρκετή αναζήτηση στο διαδίκτυο, κυρίως λόγω της ασυμβατότητας που είχαν οι περισσότεροι δέκτες με την παραπάνω μητρική, Επιλέχθηκε ο δέκτης της Noolec.



Εικόνα 4: Μητρική πλακέτα Raspberry Pi 3

Τα παραπάνω αγοράστηκαν με έξοδα του Πολυτεχνείου Κρήτης με το συνολικό κόστος να ανέρχεται περίπου στα 75€.

2.2 Πορεία κατασκευής του δέκτη

1^ο Βήμα

Αρχικά με την κατάλληλη συνδεσμολογία τροφοδοτήσαμε με ρεύμα την μητρική πλακέτα. Για την εύρυθμη λειτουργία του απαιτείται ρεύμα με ισχύ μεγαλύτερη από 2 A και για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήσαμε αντάπτορα φόρτισης USB ενός τάμπλετ. Στην συνέχεια, με ένα καλώδιο δικτύου UTP παρείχαμε στην μητρική πρόσβαση στο διαδίκτυο και τέλος συνδέσαμε, τον δέκτη με την μητρική πλακέτα μέσω μιας θύρας USB και με



Εικόνα 5: Ψηφιακός δέκτης σημάτων Noolec R820t

ένα καλώδιο HDMI, όλη την εγκατάσταση με μια εξωτερική οθόνη.

2° Βήμα

Προτού γίνει η εκκίνηση της συσκευής, επισκεφθήκαμε την ιστοσελίδα [flightradar24](https://www.flightradar24.com/build-your-own), όπου από εκεί κατεβάσαμε το ειδικά διαμορφωμένο λογισμικό του FR24¹ για το Raspberry το οποίο ουσιαστικά βασίζεται στο Raspbian Jessie που είναι το επίσημο λογισμικό της Raspberry, παραμετροποιημένο από το FR24 με τέτοιο τρόπο ώστε να τεθεί η εγκατάσταση σε έναν ADS-B δέκτη σημάτων. Το λογισμικό αυτό το εγκαταστήσαμε σε μία κάρτα μνήμης τύπου micro SD και στην συνέχεια την συνδέσαμε με την μητρική μας. Πλέον είμαστε έτοιμοι για την πρώτη εκκίνηση.

1 <https://www.flightradar24.com/build-your-own>

3^ο Βήμα

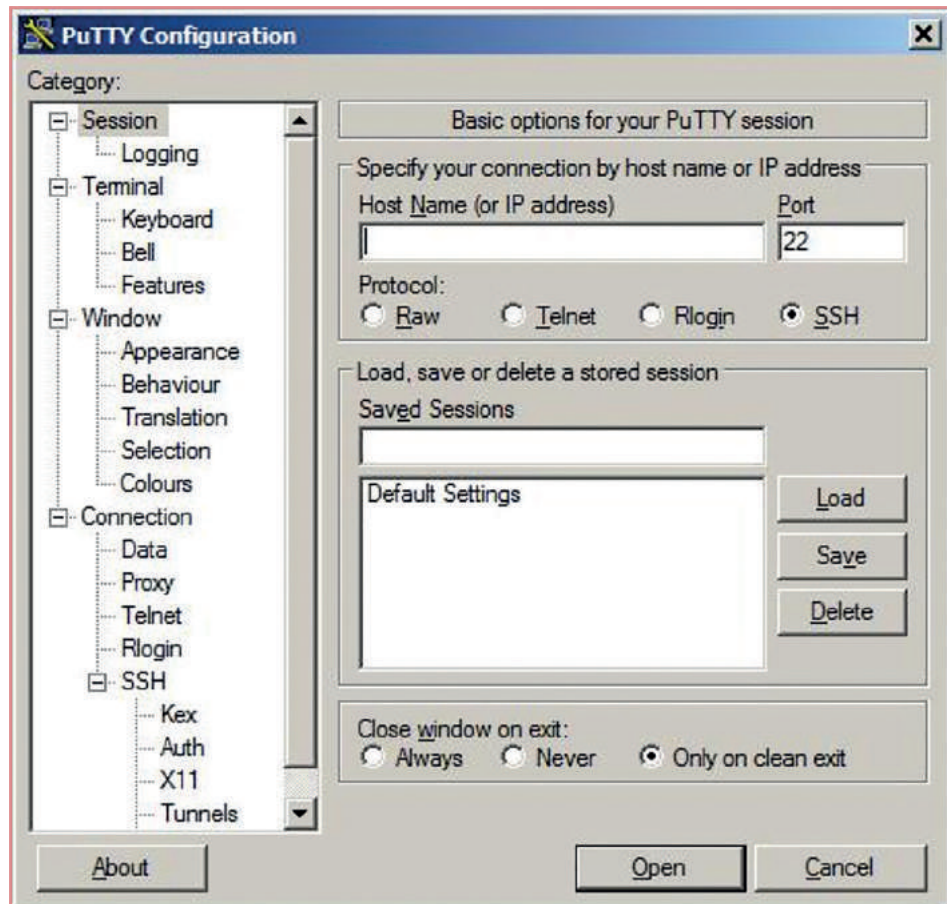
Εν συνεχεία, αφού όλα λειτουργούν κανονικά, σκεφτήκαμε πως θα ήταν ακόμα πιο εύκολος ο χειρισμός της συσκευής αν συνδεόμασταν απομακρυσμένα μέσω του πρωτοκόλλου SSH (Secure Shell).

Το SSH είναι ένα δικτυακό πρωτόκολλο το οποίο επιτρέπει την ασφαλή και κρυπτογραφημένη μεταφορά δεδομένων μεταξύ δύο υπολογιστών. Εν προκειμένω ο ένας υπολογιστής είναι ο προσωπικός μας και ο άλλος η εγκατάσταση Raspberry με την κεραία.

Αυτό μας οδηγεί στην ευκολία της απομάκρυνσης της εξωτερικής οθόνης αφού πλέον ελέγχεται απομακρυσμένα από τον προσωπικό μας υπολογιστή. Το παραπάνω συνέβη διότι ναι μεν η κατασκευή και δοκιμή έγινε στην οικία μας αλλά η τελική θέση της κεραίας είναι το Πολυτεχνείο Κρήτης. Επομένως χρειαζόνταν να βρεθεί ο τρόπος χειρισμού του απομακρυσμένα.

Η διαδικασία είναι σχετικά απλή. Με την εντολή `ifconfig` στην γραμμή εντολών του Raspberry εμφανίζονται όλες οι λεπτομέρειες που αφορούν τις διευθύνσεις IP που έχει λάβει η συσκευή ανάλογα με την σύνδεση δικτύου που έχουμε επιλέξει, ασύρματη ή ενσύρματη. Διαβάζουμε και κρατάμε την διεύθυνση IP που έχει λάβει η συσκευή. Έπειτα χρειάζεται να εγκαταστήσουμε στον υπολογιστή μας έναν οποιονδήποτε προσομοιωτή γραμμής εντολών με δυνατότητα χρήσης του πρωτοκόλλου SSH. Στην δικιά μας περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το PuTTY (εικόνα 6).

Στο πεδίο Host Name πληκτρολογούμε την IP που έχουμε αντιγράψει από το Raspberry. Η θύρα 22 είναι η προκαθορισμένη θύρα επικοινωνίας και δεν την αλλάζουμε. Πατώντας Open, μετά από μερικά δευτερολέπτα, έχουμε συνδεθεί απομακρυσμένα με την μητρική μας.



Εικόνα 6: Στιγμιότυπο χρήσης του λογισμικού PuTTY

Προβλήματα

Ήταν η πρώτη φορά στην ακαδημαϊκή μας πορεία που ασχοληθήκαμε τόσο βαθιά με λειτουργικό σύστημα τύπου Linux και με ρυθμίσεις δικτύου.

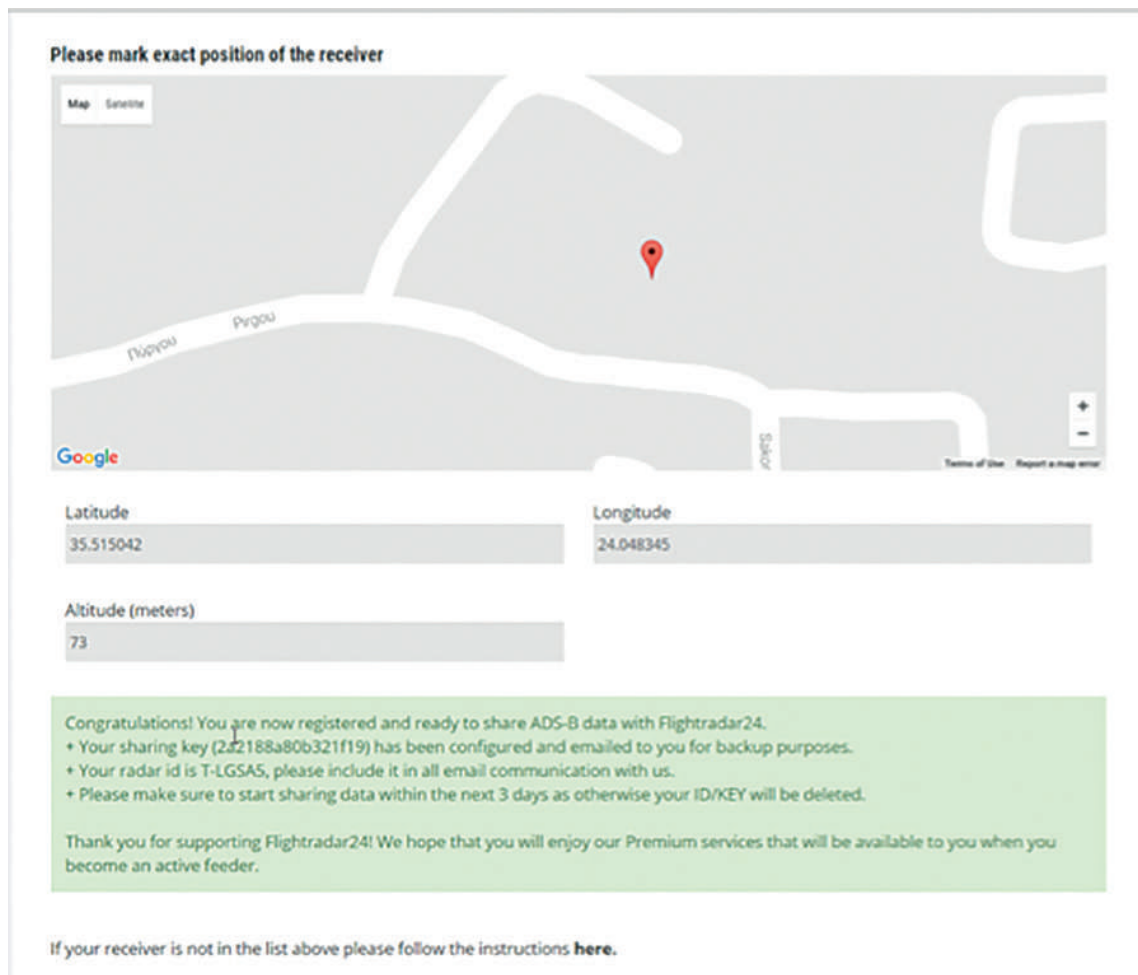
Πολλές φορές αντιμετωπίσαμε το πρόβλημα στο οποίο υπολογιστής και μητρική λάμβαναν την ίδια διεύθυνση IP, αφού ήταν ρυθμισμένες στην αυτόματη λήψη, με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να συνδεθούμε απομακρυσμένα και γενικότερα να έχουμε πρόσβαση στο διαδίκτυο.

Η λύση σε αυτό έρχεται όταν επιλέξουμε την χειροκίνητη ρύθμιση και πληκτρολογήσουμε εμείς την IP που επιθυμούμε ώστε να μην μπλέκονται μεταξύ τους. Έτσι και οι δύο συσκευές αποκτούν πρόσβαση στο διαδίκτυο με διαφορετικές διευθύνσεις IP.

2.3 Ολοκλήρωση κατασκευής του δέκτη και λήψη άδειας από FR24

4° Βήμα

Το τελευταίο βήμα για την λειτουργία της κεραίας ήταν η λήψη άδειας και η επισημοποίηση μας. Στο σημείο αυτό δημιουργήσαμε λογαριασμό στην σελίδα του FlightRadar ώστε να είμαστε και επίσημα μέλη της κοινότητας με ταυτοποιημένη κεραία.



Please mark exact position of the receiver

Map Satelite

Latitude 35.515042 Longitude 24.048345

Altitude (meters) 73

Google

Terms of Use Report a map error

Congratulations! You are now registered and ready to share ADS-B data with Flightradar24.

- + Your sharing key (2a2188a80b321f19) has been configured and emailed to you for backup purposes.
- + Your radar id is T-LGSAS, please include it in all email communication with us.
- + Please make sure to start sharing data within the next 3 days as otherwise your ID/KEY will be deleted.

Thank you for supporting Flightradar24! We hope that you will enjoy our Premium services that will be available to you when you become an active feeder.

If your receiver is not in the list above please follow the instructions [here](#).

Εικόνα 7: Στιγμιότυπο κατά την διαδικασία εγγραφής στο FR24

Flightradar24 Feeder/Decoder

Linux/generic/armv7l/1.0.18-7

Updated: 13:24:49 GMT+0300 (EEST)

FR24 Link:	Connected via UDP
FR24 Radar Code:	T-LGSA5
Aircraft Tracked (ModeS & ADS-B):	3
Aircraft Uploaded:	1
Receiver:	dvbt, Connected
MLAT running:	YES

Actions:

- [Settings](#)
- [Restart software](#)
- [Terminate software](#)
- [Show tracked aircraft list](#)
- [Show status variables \(*\)](#)

* - Debug only, will be removed later

Εικόνα 8: Στιγμιότυπο από την πρώτη επίσημη λήψη δεδομένων

Κατά την διαδικασία εγγραφής, χρειάστηκε να δηλωθεί στην υπηρεσία του FR την ακριβή τοποθεσία της κεραίας μας, κάτι που στην συνέχεια άλλαξε αφού μεταφέρθηκε στην περιοχή του Πολυτεχνείου Κρήτης, στα Κουνοπιαδιανά (εικόνα 7).

Για την ενεργοποίηση της κεραίας το μόνο που χρειάζεται πλέον να κάνουμε είναι να πληκτρολογήσουμε την διεύθυνση IP του R/berry και την "πύρτα" σύνδεσης που μας έστειλε το FlightRadar, σε έναν οποιονδήποτε περιηγητή αναζήτησης. Η εικόνα που παίρνουμε είναι η παρακάτω όπου ουσιαστικά είναι τα αεροπλάνα από τα οποία λαμβάνει σήματα η κεραία μας.

Στην εικόνα 8 φαίνεται πως εκείνη την στιγμή, η κεραία λαμβάνει δεδομένα από τρία αεροσκάφη που βρίσκονται πολύ κοντά πάνω από τον εναέριο χώρο των Χα-

νίων. Γενικότερα, η λήψη δεν ήταν αρκετά αποδοτική διότι το σημείο που ήταν η κεραία πριν μετακινηθεί στο ΠΚ, ήταν κάτω από το ύψωμα της Χαλέπας Χανιών και σε συνδυασμό με την χαμηλής εμβέλειας κεραία που διέθετε ψηφιακός.

Κεφάλαιο 3

Λήψη δεδομένων & επεξεργασία τους

3.1 Εύρεση τρόπου σύνδεσης με τον δέκτη απομακρυσμένα

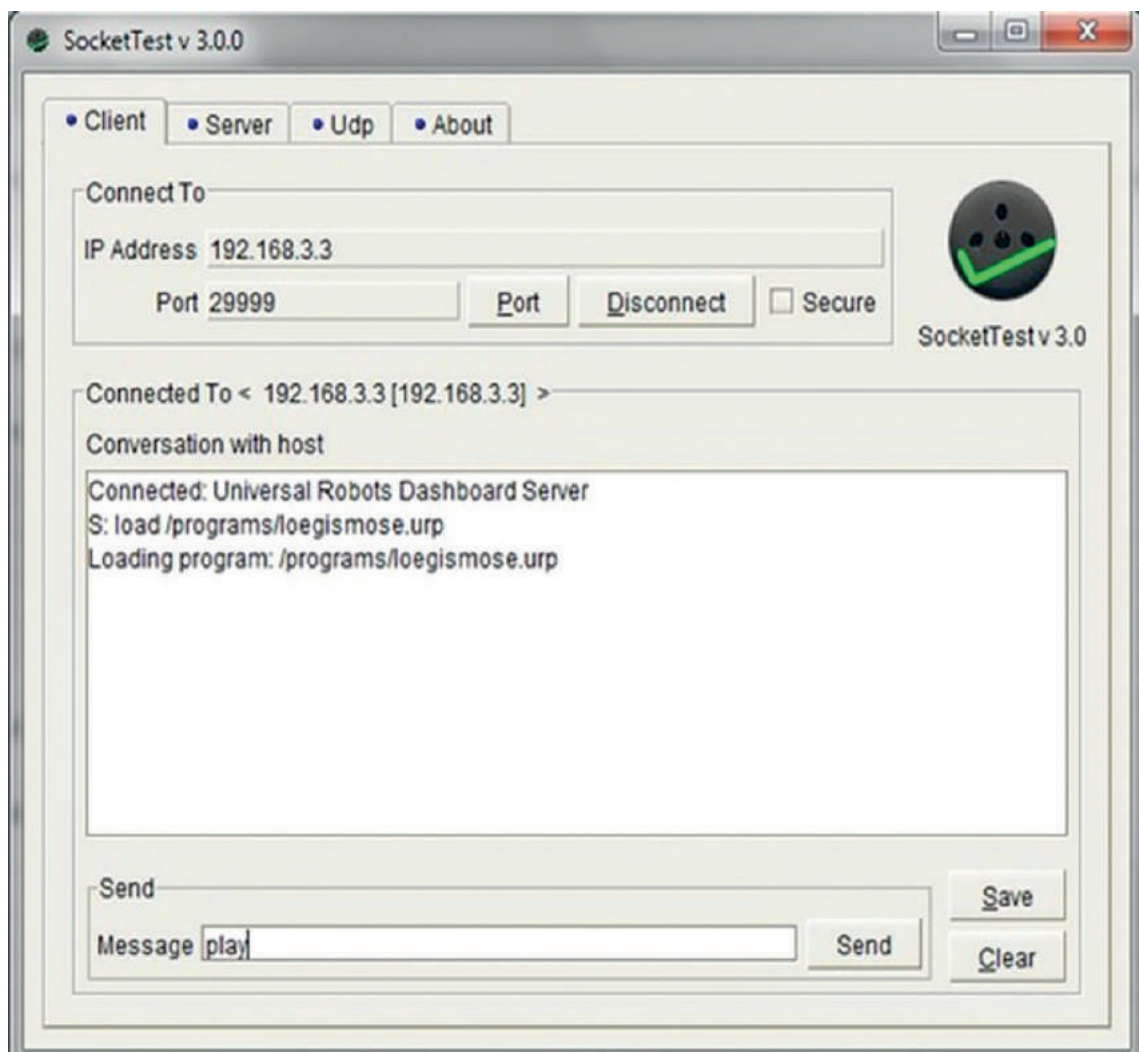
Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, μέσω του πρωτόκολλου επικοινωνίας SSH έχουμε την δυνατότητα να συνδεθούμε απομακρυσμένα με την μητρική μας. Αυτό μας επιτρέπει να έχουμε πρόσβαση στην γραμμή εντολών του λειτουργικού της συστήματος και κατά συνέπεια να δώσουμε συγκεκριμένες εντολές.

Παρόλαυτα, για την λήψη των δεδομένων η οποία θα αναφερθεί παρακάτω, χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε την λειτουργία VPN (VirtualPrivateNetwork) ένα ειδικό δίκτυο δηλαδή μέσω του οποίου θα φαίνεται ότι είμαστε συνδεδεμένοι από IP διεύθυνση του ΠΚ. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται πρόσβαση σε δεδομένα και υπηρεσίες που είναι διαθέσιμες αποκλειστικά για τα μέλη της ακαδημαϊκής κοινότητας.

Τον οδηγό χρήσης και εγκατάστασης του VPN τον αντλήσαμε από την ιστοσελίδα του ΠΚ όπου υπάρχει αναλυτικά η διαδικασία για όλα τα πιθανά λειτουργικά συστήματα που μπορεί να χρησιμοποιούνται. Στην δική μας περίπτωση χρησιμοποιήσαμε τον οδηγό για Windows 10.

3.2 Εύρεση τρόπου λήψης των δεδομένων

Η χρήση του είναι εξίσου απλή, όμοια με αυτή του PuTTY που αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Το κελί IP Address το συμπληρώνουμε με την διεύθυνση που έχει λάβει το R/berry και ως port είναι προκαθορισμένα επιλεγμένη η 30003. Πατώντας connect αρχίζουν τα δεδομένα να εμφανίζονται αποκωδικοποιημένα

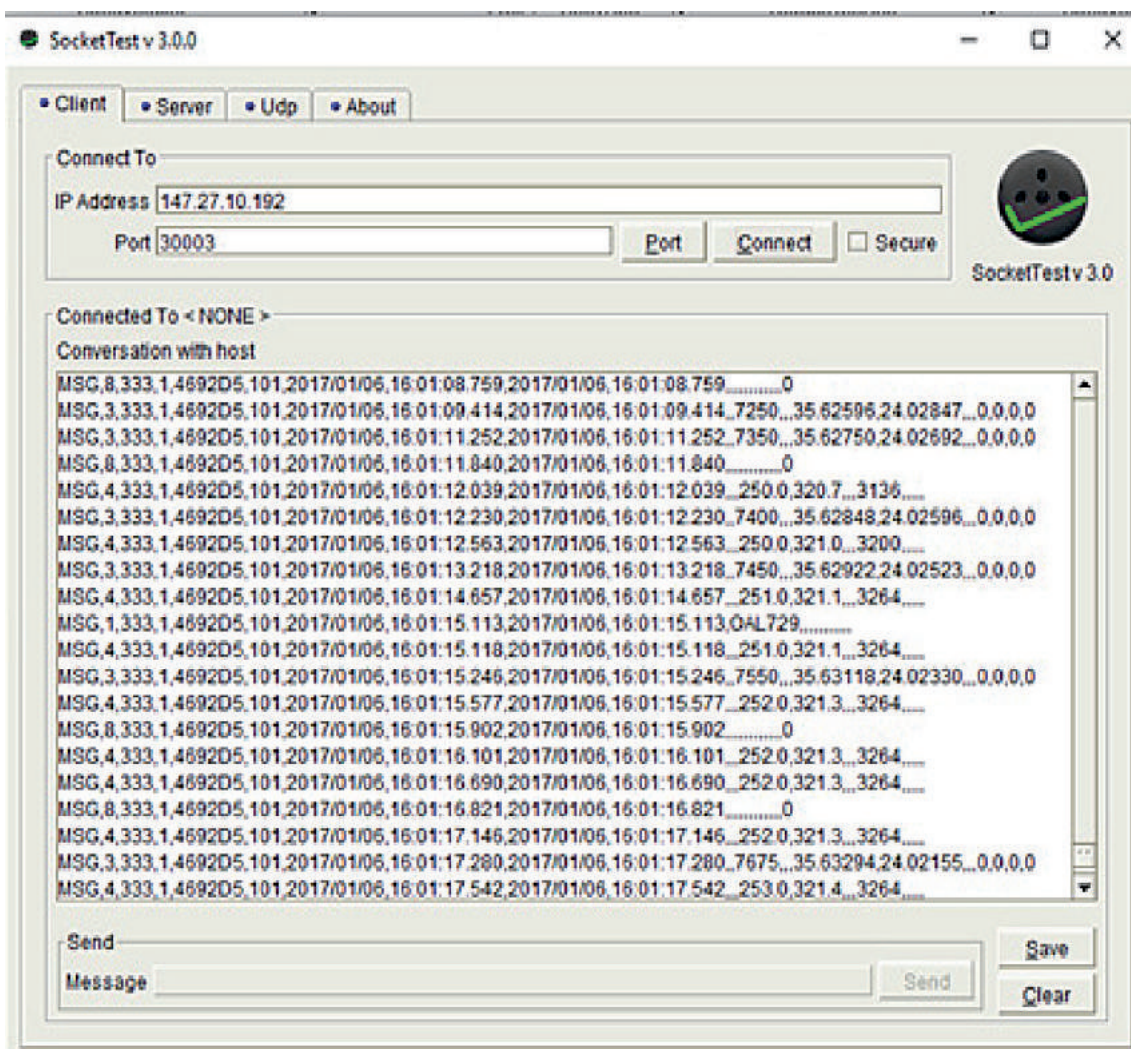


Εικόνα 9: Λογισμικό SocketTest.

όπως φαίνεται στην εικόνα 10. Τα δεδομένα λαμβάνονται κατά χρονολογική σειρά με την μορφή ώρας να είναι ρυθμισμένη σε UTC.

Χρήση προγράμματος SocketTest

Με το συγκεκριμένο λογισμικό κατέστη δυνατή η σύνδεση ανάμεσα στον πάροχο και τον δέκτη μας. Ο πά-



Εικόνα 10: Άντληση δεδομένων από την κεραία.

ροχος στην προκειμένη περίπτωση είναι το εκάστοτε αεροσκάφος και ο δέκτης είναι η κεραία μας.

Παρατηρώντας τα δεδομένα κατά γραμμή, είναι δύσκολο να βγάλουμε πόρισμα για το τι ακριβώς συμβολίζει κάθε μέτρηση και κάθε αριθμός που βλέπουμε. Επομένως, αφήνουμε το λογισμικό για λίγη ώρα να αντλήσει όλα τα δεδομένα που έχει λάβει από το Α/Φ μέχρι να σταματήσει. Στην συνέχεια, τα αποθηκεύουμε και τα εισάγουμε σε ένα φύλλο εργασίας Excel με μορφή csv ούτως ώστε να υπάρχει σωστή μορφοποίηση σε κελιά κάτι που θα διευκολύνει την ανάγνωση των δεδομένων.

Διαβάζοντας τα δεδομένα κατά γραμμή έχουμε τα εξής στοιχεία:

- MSG.x: έτσι συμβολίζεται η κατά αύξουσα σειρά μηνυμάτων που λαμβάνουμε για ένα αεροσκάφος. Κάθε διαφορετικός αριθμός .x σημαίνει πως για το ίδιο αεροσκάφος έχουμε δεδομένα για πολλές χρονικές στιγμές όπως για παράδειγμα, την θέση του.
- ID: στο δεδομένο αυτό λαμβάνουμε τον εκάστοτε αριθμό πτήσης για κάθε αεροσκάφος. Για παράδειγμα, ο κωδικός RYR74JC είναι ο αριθμός πτήσης για το δρομολόγιο Αθήνα-Ρόδος.²
- ICAO Number: ο παγκόσμιος αριθμός αεροπλοΐας, μοναδικός για κάθε πτήση.
- Ώρα και ημερομηνία: δίνεται η ώρα και η ημερομηνία λήψης του μηνύματος.
- Γεωγραφικό πλάτος και μήκος: δίνονται οι συντεταγμένες για την εκάστοτε χρονική στιγμή. Μετράται σε μοίρες.
- Ταχύτητα: η ταχύτητα πτήσης του αεροσκάφους την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Μετράται σε μίλια/ώρα.

2 <https://planefinder.net/data/flight/FR1244>

- Τροχιά(course): η κατεύθυνση της μύτης του αεροσκάφους. Μετράται σε μοίρες με βάση τον μαγνητικό βόρειο πόλο.

3.3 Επεξεργασία των δεδομένων

Στην εικόνα 11 φαίνεται η τελική μορφοποίηση του Excel μετά την εισαγωγή των δεδομένων. Οι στήλες έχουν ονομαστεί ανάλογα με το περιεχόμενό τους.

Αρχικά επιλέξαμε να ταξινομήσουμε τα δεδομένα με βάση τον αριθμό πτήσης. Αυτό όμως μας οδηγούσε σε εσφαλμένα αποτελέσματα καθώς ναι μεν τα δεδομένα ήταν για μια πτήση αλλά λόγω του ότι έρχονται τυχαία στον χρόνο, μπορεί την μια στιγμή το αεροπλάνο να πετούσε πάνω από την Μύκονο και το ακριβώς επόμενο δευτερόλεπτο να είχε φτάσει στον προορισμό του στα Χανιά, πράγμα αδύνατον. Η ταξινόμηση που επιλέξαμε και που φάνηκε πως είναι η σωστή, είναι με βάση τον Παγκόσμιο Αριθμό Αεροπλοΐας (ICAO Number) που λαμβάνει κάθε Α/Φ πριν την απογείωση του από τον ομώνυμο οργανισμό (ICAO).

Εφόσον πλέον η ταξινόμηση έχει γίνει σωστά, για μια πτήση από το Ελ.Βενιζέλος της Αθήνας με προορισμό το Γ.Καζαντζάκης στο Ηράκλειο Κρήτης, τοποθετούμε σε νέο φύλλο εργασίας του Excel τα στοιχεία εκείνα που αφορούν την συγκεκριμένη πτήση. Αυτά είναι:

- Γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος
- Ύψος (σε m)
- Ταχύτητα (σε km/h)
- Πορεία (σε μοίρες)

Excel File Edit View Insert Format Tools Data Window Help																											
DEDOMENA (Read-Only)																											
Q Search Sheet																											
Home Insert Page Layout Formulas Data Review View																											
Calibri (Body) 11 A A Paste Wrap Text Date Conditional Formatting Format as Table Cell Styles Insert Delete Format Sort & Filter																											
112 14/10/2016																											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AE
1																											
2	AIR	333	653	3C6461	753	14/10/2016	06:54:55.4294966784	14/10/2016	06:54:55.4294966784																		
3	ID	333	653	3C6461	753	14/10/2016	06:54:55.4294966784	14/10/2016	06:54:55.4294966784	CFG8CE	CFG8CE																
4	MSG	3	333	653	3C6461	753	14/10/2016	06:54:55.4294966784	14/10/2016	06:54:55.4294966784	CFG8CE	19450				36	13,6068	13	0	36,2268	3622678	2530043		0	0	0	0
5	AIR	333	654	3C09F0	754	14/10/2016	06:54:55.4294966792	14/10/2016	06:54:55.4294966792	CFG8CE						0	0	0	0	0	0						
6	ID	333	654	3C09F0	754	14/10/2016	06:54:55.4294966792	14/10/2016	06:54:55.4294966792	GMI4370	GMI4370					0	0	0	0	0	0						
7	MSG	4	333	654	3C09F0	754	14/10/2016	06:54:55.4294966792	14/10/2016	06:54:55.4294966792	GMI4370	451.0	156.6			0	0	0	0	0	0			0			
8	AIR	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966805	14/10/2016	06:54:55.4294966805	GMI4370						0	0	0	0	0	0						
9	ID	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966805	14/10/2016	06:54:55.4294966805	TVLS779	TVLS779					0	0	0	0	0	0						
10	MSG	4	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966805	14/10/2016	06:54:55.4294966805	TVLS779	438.0	316.3			0	0	0	0	0	0			0			
11	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966815	14/10/2016	06:54:55.4294966815	TVLS779					0	0	0	0	0	0					0	
12	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966819	14/10/2016	06:54:55.4294966819	TVLS779					0	0	0	0	0	0					0	
13	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966823	14/10/2016	06:54:55.4294966823	TVLS779					0	0	0	0	0	0					0	
14	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966827	14/10/2016	06:54:55.4294966827	TVLS779					0	0	0	0	0	0					0	
15	AIR	333	656	4CA4EA	756	14/10/2016	06:54:55.4294966830	14/10/2016	06:54:55.4294966830	TVLS779						0	0	0	0	0	0						
16	ID	333	656	4CA4EA	756	14/10/2016	06:54:55.4294966830	14/10/2016	06:54:55.4294966830	RYR74JC	RYR74JC					0	0	0	0	0	0						
17	MSG	6	333	656	4CA4EA	756	14/10/2016	06:54:55.4294966830	14/10/2016	06:54:55.4294966830	RYR74JC	26375				0	0	0	0	0	0			7024	0	0	0
18	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966831	14/10/2016	06:54:55.4294966831	RYR74JC					0	0	0	0	0	0					0	
19	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966835	14/10/2016	06:54:55.4294966835	RYR74JC					0	0	0	0	0	0					0	
20	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966839	14/10/2016	06:54:55.4294966839	RYR74JC					0	0	0	0	0	0					0	
21	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966843	14/10/2016	06:54:55.4294966843	RYR74JC					0	0	0	0	0	0					0	
22	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966847	14/10/2016	06:54:55.4294966847	RYR74JC					0	0	0	0	0	0					0	
23	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966851	14/10/2016	06:54:55.4294966851	RYR74JC					0	0	0	0	0	0					0	
24	AIR	333	657	49D266	757	14/10/2016	06:54:55.4294966851	14/10/2016	06:54:55.4294966851	RYR74JC						0	0	0	0	0	0						
25	ID	333	657	49D266	757	14/10/2016	06:54:55.4294966851	14/10/2016	06:54:55.4294966851	ELY5171	ELY5171					0	0	0	0	0	0						
26	MSG	4	333	657	49D266	757	14/10/2016	06:54:55.4294966851	14/10/2016	06:54:55.4294966851	ELY5171		450.0	301.5		0	0	0	0	0	0			0			
27	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966855	14/10/2016	06:54:55.4294966855	ELY5171					0	0	0	0	0	0					0	
28	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966859	14/10/2016	06:54:55.4294966859	ELY5171					0	0	0	0	0	0					0	
29	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966863	14/10/2016	06:54:55.4294966863	ELY5171					0	0	0	0	0	0					0	
30	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966867	14/10/2016	06:54:55.4294966867	ELY5171					0	0	0	0	0	0					0	
31	MSG	4	333	653	3C6461	753	14/10/2016	06:54:55.4294966874	14/10/2016	06:54:55.4294966874	ELY5171		371.0	157.0		0	0	0	0	0	0			-2048			
32	MSG	4	333	656	4CA4EA	756	14/10/2016	06:54:55.4294966896	14/10/2016	06:54:55.4294966896	ELY5171		427.0	119.1		0	0	0	0	0	0			1920			
33	AIR	333	658	3C0C99	758	14/10/2016	06:54:55.4294966952	14/10/2016	06:54:55.4294966952	ELY5171						0	0	0	0	0	0						
34	ID	333	658	3C0C99	758	14/10/2016	06:54:55.4294966952	14/10/2016	06:54:55.4294966952	TUI81F	TUI81F					0	0	0	0	0	0						
35	MSG	8	333	656	4CA4EA	756	14/10/2016	06:54:55.4294966957	14/10/2016	06:54:55.4294966957	TUI81F					0	0	0	0	0	0					0	
36	MSG	8	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966985	14/10/2016	06:54:55.4294966985	TUI81F					0	0	0	0	0	0					0	
37	MSG	3	333	655	471E+18	755	14/10/2016	06:54:55.4294966996	14/10/2016	06:54:55.4294966996	TUI81F	38000				37	18,585	18	36	37,3098	3730975	2694479		0	0	0	0
38	MSG	3	333	658	3C0C99	758	14/10/2016	06:54:55.4294967017	14/10/2016	06:54:55.4294967017	TUI81F	10550				35	56,1462	56	9	35,9358	3593577	2515133		0	0	0	0
39	AIR	333	659	3C0CA4	759	14/10/2016	06:54:55.4294967022	14/10/2016	06:54:55.4294967022	TUI81F						0	0	0	0	0	0						
40	ID	333	659	3C0CA4	759	14/10/2016	06:54:55.4294967022	14/10/2016	06:54:55.4294967022	TUI33W	TUI33W					0	0	0	0	0	0						
41	MSG	3	333	659	3C0CA4	759	14/10/2016	06:54:55.4294967022	14/10/2016	06:54:55.4294967022	TUI33W	4075				35	27,4356	27	27	35,4573	3545726	2532635		0	0	0	0
42	MSG	8	333	657	49D266	757	14/10/2016	06:54:55.4294967031	14/10/2016	06:54:55.4294967031	TUI33W					0	0	0	0	0	0					0	
43	AIR	333	660	406F78	760	14/10/2016	06:54:55.4294967045	14/10/2016	06:54:55.4294967045	TUI33W						0	0	0	0	0	0						
44	ID	333	660	406F78	760	14/10/2016	06:54:55.4294967045	14/10/2016	06:54:55.4294967045	BAW154	BAW154					0	0	0	0	0	0						
45	MSG	3	333	660	406F78	760	14/10/2016	06:54:55.4294967045	14/10/2016	06:54:55.4294967045	BAW154	38000				36	55,7886	55	48	36,9298	3						

Σημειακή απεικόνιση πτήσης

Η εφαρμογή που επιλέξαμε να γίνει η χαρτογράφηση είναι το Google Earth. Η διαδικασία που ακολουθήσαμε σε βήματα είναι η εξής:

1. Αρχικά από το σωστά ταξινομημένο excel αρχείο μας, βάζουμε σε σειρά τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη ακριβώς όπως πραγματοποιήθηκε η πτήση από την Αθήνα προς το Ηράκλειο. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό διότι με βάση αυτά τα στοιχεία το λογισμικό θα κάνει την σημειακή απεικόνιση.
2. Εφόσον το φύλλο εργασίας ολοκληρώθηκε, πρέπει να αποθηκευτεί σε μορφή ικανή να αναγνωστεί από το λογισμικό μας. Ουσιαστικά αυτό που θα κάνει είναι να τοποθετήσει σε σημεία στον χάρτη, τις συντεταγμένες που του έχουμε δώσει. Η κατάλληλη αυτή μορφή ονομάζεται .kml (Keyhole Markup Language) και είναι επί της ουσίας ένα αρχείο excel (xml) που έχει την δυνατότητα να αναπαριστά σημεία σε διδιάστατη και τρισδιάστατη μορφή χαρτογράφησης, όπως και η δική μας μέσω του κατάλληλου λογισμικού με το οποίο θα λειτουργήσει, εν προκειμένω το Google Earth. Η μετατροπή ενός αρχείου .xml σε .kml πραγματοποιήθηκε μέσω της ιστοσελίδας earthpoint³.

Επιλέγουμε το αρχείο που θέλουμε να μετατραπεί σε αρχείο της μορφής .kml και σε μερικά δευτερόλεπτα είναι έτοιμο.

3. Στην συνέχεια, από την εφαρμογή Google Earth και την επιλογή Open, άνοιγουμε το αρχείο που μόλις δημιουργήσαμε στην κατάλληλη μορφή και το αποτέλεσμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στις συντεταγμένες τις οποίες είχαμε επιλέξει εμείς, υπάρχει πλέον σημειακή απεικόνιση.

Earth Point

Tools for Google Earth

Sign In / Buy Subscription Contact

- Earth Point
- Home
- Sign In / Buy Subscription
- Worldwide Utilities
 - Excel To Google Earth
 - Coordinate Grids
 - Polygon Area
 - Convert Coordinates
 - Batch Convert
- USA Utilities
 - Township & Range
 - BLM Grid
 - Search By Description
 - Search By Lat Long
 - Alternate Grid
 - Louisiana Twp & Rng
 - Louisiana Original PLSS
 - California Twp & Rng
 - California Grid
 - Search By Description
 - Search By Lat Long
 - Texas Land Survey
 - Abstract Grid
 - Search By Description

Excel To KML - Display Excel files on Google Earth.

A user account is recommended for the features on this web page.

Import a spreadsheet of lat/long coordinates to Google Earth. Pop-up balloons, icons, and paths are easily created from the spreadsheet data.

Latitude and Longitude are all that is needed to create a basic display on Google Earth. Add a Name, Description, and an [Icon](#) for a professional presentation.

Advanced features support [GPS tracks](#), [Time Sliders](#), and [Grid Coordinates](#).

To get started, read the [Quick Start](#) instructions or download the sample data [ExcelToKmlDemo.zip](#).

NEW: AppendDataColumnsToDescription accepts a list of column names.

Select an Excel file (xls, xlsx, xslm, xlsb, txt, or csv)

Choose File no file selected


View on Google Earth

View File on Web Page, Check for errors

Enhanced feature. [What is this?](#)

Free. User account is not needed.

You are not signed in to your account. For unrestricted access, please sign in or purchase a subscription. You must have Google Earth installed to use this data.



	A	B	C	D	E
1	Latitude	Longitude	Name	Description	Icon
2	43°36'34.86"N	116°12'23.30"W	BAM	Art museum	12
3	43 36 33.22	-116 12 18.40	Roses	Nice garden	111
4	43.608879028	-116.20320277	Zoo	Great visit	186

Sample points plotted onto Google Earth.

Εικόνα 12: Ιστοσελίδα μετατροπής αρχείου .CSV σε αρχείο .KML.



Εικόνα 13: Σημειακή αναπαράσταση πτήσης στο Google Earth.

3.4 Υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων

3.4.1 Μεθοδολογία υπολογισμού

Οι αεροπορικές εταιρείες εδώ και αρκετά χρόνια προσπαθούν αφενός να ικανοποιήσουν την παγκόσμια αυξανόμενη ζήτηση των πολιτών για συνεχείς αεροπορικά δρομολόγια και αφετέρου την ανάγκη για μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από νόμους που έχουν θεσπιστεί σε διεθνές επίπεδο. Ωστόσο, αυτό είναι αρκετά δύσκολο να ικανοποιηθεί ισόποσα, καθώς η βελτιστοποίηση των κινητήρων και η εξοικονόμηση καυσίμου είναι μία ιδιαίτερα δύσκολη και δαπανηρή διαδικασία.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τον τρόπο υπολογισμού των αέριων ρύπων σε δύο διαφορετικές πτήσεις, για να αντιληφθούμε σε ποια επίπεδα κυμαίνονται στις μέρες μας οι εκπεμπόμενοι ρύποι..

Για τον υπολογισμό των ρύπων χρησιμοποιήσαμε σαν παράδειγμα δύο πτήσεις, από τα Χανιά προς την Αθήνα και από το Ηράκλειο προς την Αθήνα. Και στις δύο αυτές πτήσεις πραγματοποιούνται δρομολόγια αποκλειστικά από δύο μεγάλες αεροπορικές εταιρείες την Ryanair και την Aegean. Τόσο η Ryanair όσο και η Aegean χρησιμοποιούν ίδιας κατηγορίας αεροσκάφη και συγκεκριμένα τα Boeing 737-800 και Airbus A320-232 αντίστοιχα. Και τα δύο αυτά αεροσκάφη εξοπλίζονται με 2 Turbofan κινητήρες και έχουν παραπλήσια χαρακτηριστικά λειτουργίας. Πληροφορίες για τα συγκεκριμένα αεροσκάφη αντλήσαμε από τον παγκόσμιο οργανισμό αεροπλοΐας, όπου σε ένα από τα διαθέσιμα αρχεία βρήκαμε όλες τις πληροφορίες που χρειαζόμασταν, όπως για παράδειγμα τα γραμμάρια από τους τέσσερις βασικούς ρύπους που εκπέμπονται ανά κιλό καυσίμου στα διάφορα στάδια πτήσης. Να διευκρινίσουμε στο σημείο αυτό ότι η διαδρομή που ακολουθούν τα αεροσκάφη από τα αεροδρόμια της Κρήτης σε αυτό της Αθήνας και αντίστροφα, δεν είναι πάντα η ίδια. Παρακολουθώντας τις

πτήσεις από την διαδικτυακή σελίδα του FlightRadar24 παρατηρούμε ότι τα αεροσκάφη χρησιμοποιούν τουλάχιστον τρεις διαδρομές για να πραγματοποιήσουν τις πτήσεις τους. Για τις ανάγκες της εργασίας μας βασιστήκαμε στις διαδρομές που παρατηρήσαμε ότι χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των πτήσεων και στα δύο αεροδρόμια, καθώς σύμφωνα με αυτές πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί των εκπεμπόμενων ρύπων.

3.4.2 Υπολογισμός ρύπων για την πτήση Ηράκλειο-Αθήνα

Για τον υπολογισμό των εκπεμπόμενων ρύπων κατά τη συνολική διαδικασία πτήσης από το αεροδρόμιο του Ηρακλείου σε αυτό της Αθήνας χρησιμοποιήσαμε τον τύπο που περιγράφεται παρακάτω:

$$E_i = e_i * f * t$$

Όπου:

E_i = Το σύνολο των εκπεμπόμενων ρύπων

e_i = Ο συντελεστής των εκπεμπόμενων ρύπων

i = κάθε ρύπος που μελετάμε (NO_x , CO_2 , SO_x , Pm)

f = Η κατανάλωση καυσίμου ανά λεπτό λειτουργίας κάθε μηχανής (kg/min)

t = Ο χρόνος που δαπανάται σε κάθε στάδιο πτήσης

Σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο υπολογίζουμε την ποσότητα κάθε εκπεμπόμενου ρύπου, ανάλογα με το στάδιο πτήσης του αεροσκάφους. Για τον συγκεκριμένο υπολογισμό που θέλουμε να κάνουμε, υπάρχουν αρκετοί τύποι από τους οποίους κρίναμε ότι ο παραπάνω είναι ο βέλτιστος και εξυπηρετεί καλύτερα την έρευνά μας. Είναι επιστημονικά αποδεδειγμένος και αντλήθηκε από σχετική έρευνα που πραγματοποιήθηκε και αναρτήθηκε στην διαδικτυακή ιστοσελίδα του ICAO.

Στη συνέχεια, θα παραθέσουμε έναν πίνακα στον οποίο απεικονίζονται ομαδοποιημένα οι τιμές του δεύτερου και του τρίτου μέλους της εξίσωσης για κάθε ρύπο, προκειμένου να κατανοήσουμε καλύτερα τους υπολογισμούς της εξίσωσης. Να διευκρινίσουμε ότι ο πρώτος συντελεστής e_i αποτελεί μια σταθερά, η οποία δεν μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια των υπολογισμών. Ουσιαστικά, μέσω αυτού του πίνακα μπορούμε να δούμε τελικές τιμές, οι οποίες είναι απόρροια υπολογισμών που αναλύονται στη συνέχεια, και μέσω αυτών να σχηματίσουμε μια γενική εικόνα συγκρίνοντας την μεταβολή των ρύπων ανά στάδιο πτήσης. Αναλυτικότερα, η τιμή f βρίσκεται στην έκτη στήλη και η τιμή t στην τέταρτη στήλη αντίστοιχα. Για παράδειγμα, το στάδιο της απογείωσης (T/O) διαρκεί 96 δευτερόλεπτα και σε αυτό το στάδιο το αεροπλάνο καταναλώνει 1,053 κιλά καυσίμου ανά δευτερόλεπτο. Επομένως, πολλαπλασιάζοντας μεταξύ τους αυτά τα ποσά προκύπτει η πέμπτη στήλη, η οποία δηλώνει ότι καταναλώνει 101,088 κιλά καυσίμου κατά την απογείωση. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται διεξοδικά τόσο η κατανάλωση καυσίμου για κάθε στάδιο πτήσης του αεροσκάφους και η αντίστοιχη διάρκειά του, όσο και ο συνδυασμός αυτών των δύο.

	Fuel Flow kg/s	Flight Time (s)	Flight Time (min)	Fuel Flow (kg) in Real flight time (s)	Fuel Flow (kg) per min
T/O	1,053	96	1,6	101,088	63,18
Climb	0,88	30	0,5	26,4	52,8
Cruise	0,68	1500	25	1020	40,8
Approach	0,319	264	4,4	84,216	19,14
Idle	0,128	888	14,8	113,664	7,68
Summary	3,06	96	46,3	1345,368	183,6

Πίνακας 1: Υπολογισμός καυσίμου για κάθε A/Φ

Αναλυτικότερα, στην πρώτη στήλη παραθέτουμε τα πέντε στάδια πτήσης από τα οποία αποτελείται μία ολο-

κληρωμένη αεροπορική διαδρομή. Στην δεύτερη στήλη παρουσιάζονται τα κιλά καυσίμου που καταναλώνει το αεροσκάφος σε κάθε στάδιο πτήσης ανά δευτερόλεπτο και η τρίτη μαζί με την τέταρτη αναγράφουν τον χρόνο που δαπανάται για κάθε στάδιο πτήσης σε δευτερόλεπτα και λεπτά αντίστοιχα. Στην πέμπτη στήλη υπολογίσαμε τα κιλά καυσίμου που καταναλώνονται σε κάθε στάδιο πτήσης, πολλαπλασιάζοντας την δεύτερη με την τρίτη στήλη. Τέλος, η έκτη παρουσιάζει τα ίδια αποτελέσματα με την πέμπτη στήλη με την μόνη διαφορά ότι εκφράζονται σε λεπτά αντί για δευτερόλεπτα.

Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε έναν ακόμα πίνακα, στον οποίο απεικονίζονται οι συνολικές εκπομπές του κάθε ρύπου ανά στάδιο πτήσης. Αναλυτικότερα, στην δεύτερη γραμμή δίνεται το πρώτο τμήμα της εξίσωσης (e_i), που περιγράφει τον συντελεστή του κάθε ρύπου. Αυτή η τιμή αντλήθηκε από ειδικές μελέτες που έγιναν σχετικά με το συγκεκριμένο θέμα και ισχύουν σε διεθνές επίπεδο. Από την γραμμή 3 έως 7 δίνονται οι συνολικές τιμές των εκπεμπόμενων ρύπων για κάθε στάδιο πτήσης. Για παράδειγμα, στην τρίτη γραμμή και στην τρίτη στήλη απεικονίζεται ο αριθμός 319,1348. Ο συγκεκριμένος αριθμός προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή διοξειδίου του άνθρακα 3,157, επί το 1,6 το οποίο αντιστοιχεί στα λεπτά που διαρκεί η φάση της απογείωσης, επί το 63,18 που είναι η κατανάλωση σε κιλά καυσίμου ανά λεπτό. Προκύπτει επομένως ο αριθμός 3,157 ο οποίος δηλώνει τα κιλά διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που εκπέμπονται κατά την καύση ενός κιλού καυσίμου. Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που αναλύουμε παραπάνω, υπολογίζουμε και τα υπόλοιπα εκπεμπόμενα αέρια τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

	Greenhouse Gases	CO ₂	NO _x	SO _x	Pm
	Emission factors (kg GHG/kg Fuel)	3,157	12	1,5	0,11
T/O		319,1348	1213,056	151,632	11,1197
Climb		83,3448	316,8	39,6	2,904
Cruise		3220,14	12240	1530	112,2
Approach		265,8699	1010,592	126,324	9,26376
Idle		358,8372	1363,968	170,496	12,5030
Total Emissions (kg)		4247,3268	16144,42	2018,052	147,99046

Πίνακας 2: Υπολογισμός εκπεμπόμενων ρύπων

Μετά από τους παραπάνω υπολογισμούς, που απευθύνονται σε μία μόνο πτήση από το Ηράκλειο προς την Αθήνα, θελήσαμε να υπολογίσουμε και τις εκπομπές σε ετήσια βάση προκειμένου να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα. Αυτό είναι απαραίτητο καθώς οι ρύποι προκαλούν τα σοβαρά προβλήματα που αναφέραμε σε προηγούμενα κεφάλαια, κυρίως όταν εκπέμπονται σε μεγάλες ποσότητες και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Παρακάτω απεικονίζονται για κάθε ρύπο οι ποσότητες που εκπέμπονται στο σύνολο ενός έτους.

Emissions per Year					
Summer Period (4 flights per day)					
Flights/six-month period		CO ₂	NO _x	SO _x	Pm
ATH - HER	1176	4.994.856,29	18.985.837,92	2.373.229,15	174.036,80
HER- ATH	1176	4.994.856,29	18.985.837,92	2.373.229,15	174.036,80
Winter Period (3 flights per day)					
Flights/six-month period		CO ₂	NO _x	SO _x	Pm
ATH- HER	1008	4.281.305,39	16.273.575,36	2.034.196,42	149.174,40
HER- ATH	1008	4.281.305,39	16.273.575,36	2.034.196,42	149.174,40

Πίνακας 3: Υπολογισμός σε ετήσια βάση για κάθε εκπεμπόμενο ρύπο

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τις επίσημες ιστοσελίδες της Ryanair και της Aegean εκτιμήσαμε ότι την χειμερινή περίοδο (Νοέμβριος-Απρίλιος) πραγματοποιούνται τρεις πτήσεις ημερησίως μεταξύ της πόλης του Ηρακλείου και της Αθήνας και το καλοκαίρι τέσσερις, λόγω αυξημένου τουρισμού. Υπολογίσαμε λοιπόν ότι κατά τη διάρκεια ενός χειμερινού εξαμήνου πραγματοποιούνται στο σύνολο 1008 πτήσεις και το καλοκαίρι 1176 αντίστοιχα. Τα τελικά αποτελέσματα των εκπεμπόμενων ρύπων προέκυψαν από το γινόμενο των συνολικών πτήσεων της καλοκαιρινής και της χειμερινής περιόδου επί το άθροισμα του κάθε ρύπου από τα στάδια πτήσης του Α/Φ. Έτσι λοιπόν, ολοκληρώνοντας όλα τα παραπάνω έχουμε παρουσιάσει με αναλυτικό τρόπο τα στάδια και τη μεθοδολογία υπολογισμού των ρύπων που εκπέμπονται από την πτήση μεταξύ Ηρακλείου και Αθήνας.

3.4.3 Υπολογισμός αέριων ρύπων της πτήσης Χανιά-Αθήνα

Σε αντιστοιχία με την προηγούμενη υποενότητα θα παραθέσουμε τους ρύπους που εκπέμπονται από την πτή-

ση Χανιά-Αθήνα, γιατί η μία από τις δύο κεραίες που εγκαταστάθηκαν, βρίσκεται στο νομό των Χανίων και συγκεκριμένα στο Πολυτεχνείο του νομού. Ο τρόπος υπολογισμού των εκπεμπόμενων ρύπων είναι ακριβώς ο ίδιος με αυτόν που περιγράψαμε στην υποενότητα 3.4.1, γι' αυτό και δε θα ξαναπαρουσιάσουμε την διαδικασία με τόσο αναλυτικό τρόπο. Αντ' αυτού, θα παρουσιάσουμε τους παρακάτω πίνακες στους οποίους εμπεριέχονται τα νούμερα και οι μετρήσεις που μας αφορούν στις τελικές τους μορφές.

	Fuel Flow kg/s	Flight Time (s)	Flight Time (min)	Fuel Flow (kg) in Real flight time (s)	Fuel Flow (kg) per min
T/O	1,053	96	1,6	101,088	63,18
Climb	0,88	30	0,5	26,4	52,8
Cruise	0,68	1200	20	816	40,8
Approach	0,319	264	4,4	84,216	19,14
Idle	0,128	888	14,8	113,664	7,68
Summary	3,06	96	46,3	1345,368	183,6

Πίνακας 4: Μέση διάρκεια κάθε σταδίου πτήσης

Στον παραπάνω πίνακα αναφέρεται ο χρόνος που διαρκεί το κάθε στάδιο πτήσης του Α/Φ, καθώς επίσης και η κατανάλωση καυσίμου σε κιλά (kg). Τα μεγέθη μετριοούνται σε λεπτά και δευτερόλεπτα αντίστοιχα. Συγκρίνοντας τις παραπάνω τιμές με αυτές του πίνακα που αναφέρεται στην πτήση Ηράκλειο-Αθήνα, παρατηρούμε ότι η μόνη διαφορά έγκειται στο στάδιο πτήσης Cruise, καθώς όλα τα υπόλοιπα στάδια παρουσιάζουν ίδιες τιμές. Αυτό είναι αναμενόμενο, γιατί σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού, το μόνο που μεταβάλλεται μεταξύ των δύο πτήσεων είναι η διάρκεια του ταξιδιού (από τη στιγμή που το Α/Φ έχει βρει το επιθυμητό ύψος πτήσης). Συγκεκριμένα, από το Ηράκλειο προς την Αθήνα το στάδιο αυτό διαρκεί 25 λεπτά, ενώ από τα Χανιά προς την Αθήνα διαρκεί 20 λεπτά. Στον παρακάτω πίνακα απει-

κονίζονται οι συνολικές εκπομπές ρύπων ανά στάδιο πτήσης μεταξύ Χανίων και Αθήνας.

	Greenhouse Gases	CO ₂	NO _x	SO _x	Pm
	Emission factors (kg GHG/kg Fuel)	3,157	12	1,5	0,11
T/O		319,1348	1213,056	151,632	11,1196
Climb		83,3448	316,8	39,6	2,904
Cruise		2576,112	9792	1224	89,76
Approach		265,8699	1010,592	126,324	9,26376
Idle		358,8372	1363,968	170,496	12,5030
Total Emissions (kg)		4247,327	5434,416	2018,052	147,99048

Πίνακας 5: Συνολικές εκπομπές ρύπων για κάθε στάδιο πτήσης για την διαδρομή Χανιά-Αθήνα

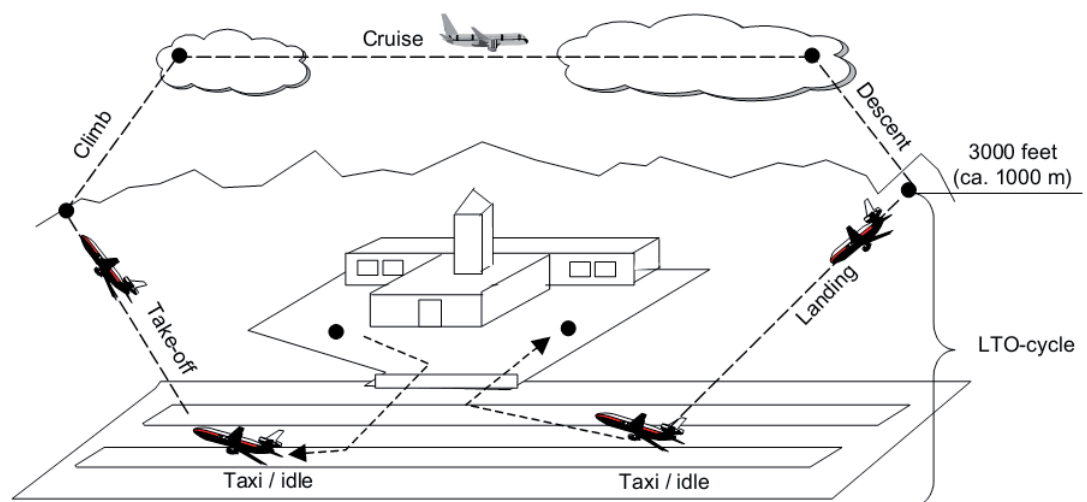
Και σε αυτή την περίπτωση η μόνη διαφορά που παρατηρείται είναι στο στάδιο Cruise, όπου οι εκπομπές των ρύπων είναι μικρότερες. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το συγκεκριμένο στάδιο πτήσης διαρκεί πέντε λεπτά λιγότερο σε αυτή την πτήση. Τέλος, θα παραθέσουμε έναν ακόμα πίνακα στον οποίο θα υπολογίσουμε τις εκπομπές κάθε ρύπου σε ετήσια βάση, για να έχουμε μία πιο σφαιρική εικόνα.

Emissions per Year					
Summer Period (4 flights per day)					
Flights/six-month period		CO ₂	NO _x	SO _x	Pm
ATH - CHQ	1176	4.994.856,29	6.390.873,22	2.373.229,15	174.036,80
CHQ - ATH	1176	4.994.856,29	6.390.873,22	2.373.229,15	174.036,80
Winter Period (3 flights per day)					
Flights/six-month period		CO ₂	NO _x	SO _x	Pm
ATH- CHQ	1008	4.281.305,39	5.477.891,33	2.034.196,42	149.174,40
CHQ - ATH	1008	4.281.305,39	5.477.891,33	2.034.196,42	149.174,40

Πίνακας 6: Συνολικές εκπομπές ρύπων ετησίως (Greene)

Έπειτα στόχος μας ήταν η χαρτογράφηση καθώς και η σχηματική απεικόνιση των ρύπων αυτών για μια πραγματική πτήση. Τα απαιτούμενα δεδομένα ήταν όλες οι τιμές των διαφορετικών ρύπων για κάθε διαφορετικό σημείο ενός τυπικού κύκλου πτήσης. Ο κύκλος πτήσης ενός αεροσκάφους χωρίζεται στα εξής δύο μέρη (Rypdal):

- **Landing/Take-off (LTO):** Ένας τυπικός τέτοιος κύκλος περιλαμβάνει όλες τις κινήσεις που μπορεί να πραγματοποιήσει ένα αεροσκάφος κοντά σε ένα αεροδρόμιο σε ύψος κάτω από 3000 πόδια όπου περιλαμβάνει την αναμονή επιβίβασης και αποβίβασης των επιβατών, την απογείωση και την προσγείωση καθώς και την τροχοδρόμηση του αεροσκάφους.
- **Cruise:** Όλες οι υπόλοιπες ενέργειες μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ύψος πάνω από 3000 πόδια.



Εικόνα 14: Τυπικός κύκλος πτήσης LTO

3.5 Γραφική απεικόνιση ρύπων.

Το Google Earth, παρόλο που έχει πάρα πολλές λειτουργίες που διευκολύνουν το χρήστη, δεν μπορεί να αντλήσει δεδομένα από το αρχείο Excel που υπολογίσαμε τους ρύπους και να τους μετατρέψει απευθείας

σε σχήματα. Λύση σε αυτό το πρόβλημα βρήκαμε μέσω της ιστοσελίδας **Free Map Tools**. Η ιστοσελίδα αυτή παρέχει πληθώρα δυνατοτήτων στον χρήστη, όπως τη μέτρηση αποστάσεων μεταξύ σημείων, τον υπολογισμό επιφανειών πάνω στο χάρτη και την χρονομετρική απόσταση μεταξύ σημείων. Η λειτουργία που χρησιμοποιήσαμε στην εργασία ονομάζεται Radius Around Point και παρέχει την δυνατότητα σχεδίασης κύκλων ποικίλων διαμέτρων σε σημεία που ορίζει ο χρήστης πάνω στο χάρτη. Συγκεκριμένα, αφού ο χρήστης δηλώσει στο πρόγραμμα τη διάσταση του κύκλου που επιθυμεί, μπορεί είτε να επιλέξει στο χάρτη τις συντεταγμένες στις οποίες θα απεικονιστεί ο κύκλος, είτε να ψάξει ονομαστικά στο χάρτη την τοποθεσία. Στην δική μας περίπτωση, εφόσον θα σχεδιάσουμε αρκετούς κύκλους και γνωρίζουμε ακριβώς τις συντεταγμένες σχεδίασής τους, χρησιμοποιήσαμε την εντολή **'Input CSV Upload'** και εισάγαμε σε ομαδοποιημένη μορφή τις συντεταγμένες σχεδίασης και την διάμετρο των κύκλων. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα παρέχει πολλές ακόμα λειτουργίες που διευκολύνουν τον χρήστη, όπως ο ορισμός του πάχους-πυκνότητας του κύκλου, του χρώματός του, καθώς επίσης και το μέγεθος προβολής του στον χάρτη. Έχοντας λοιπόν ολοκληρώσει τη σχεδίαση των κύκλων, επιλέγουμε την εντολή **'Generate KML'** και αποθηκεύεται αυτόματα στον υπολογιστή το αρχείο με τους κύκλους που σχεδιάσαμε, το οποίο πλέον μπορεί να διαβαστεί από το Google Earth.

Το επόμενο βήμα είναι να αναπαραστήσουμε τους κύκλους στο Google Earth με όσο το δυνατόν πιο παραστατικό τρόπο, έτσι ώστε να γίνεται εύκολα αντιληπτό το μέγεθος των εκπεμπόμενων ρύπων σε κάθε φάση πτήσης του Α/Φ. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας προέκυψαν αρκετές δυσκολίες που έπρεπε να αντιμετωπίσουμε, προκειμένου να υλοποιηθεί η χαρτογράφηση. Μια αξιοσημείωτη δυσκολία που αντιμετωπίσαμε ήταν το ότι οι κύκλοι που αναπαριστούν τους εκπεμπόμενους ρύπους συγχέονταν μεταξύ τους και ήταν δυσδιάκριτοι. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλή-

ματος προγραμματίσαμε, στην γραμμή εντολών του προγράμματος Free Map Tools, πρώτα τους κύκλους με την μεγαλύτερη διάμετρο, και σταδιακά αυτούς με την μικρότερη. Με τον τρόπο αυτό οι κύκλοι ήταν πιο ευδιάκριτοι και τα χρώματα δεν συγχέονταν μεταξύ τους, έχοντας μια καλύτερη απεικόνιση. Να τονίσουμε στο σημείο αυτό ότι παρόλο που από την ιστοσελίδα του Free Map Tools δηλώνουμε το επιθυμητό χρώμα των κύκλων, κατά την μετατροπή τους σε αρχείο kml οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις δεν μεταβιβάζονταν στους χάρτες, με αποτέλεσμα να δηλώνουμε το χρώμα των κύκλων εκ νέου στο Google Earth. Ολοκληρώνοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, έχουμε διαμορφώσει ένα αρχείο τύπου kml το οποίο μπορεί να διαβαστεί από το Google Earth και στο οποίο απεικονίζονται οι κύκλοι που του ορίσαμε σε συγκεκριμένες θέσεις πάνω στον χάρτη.

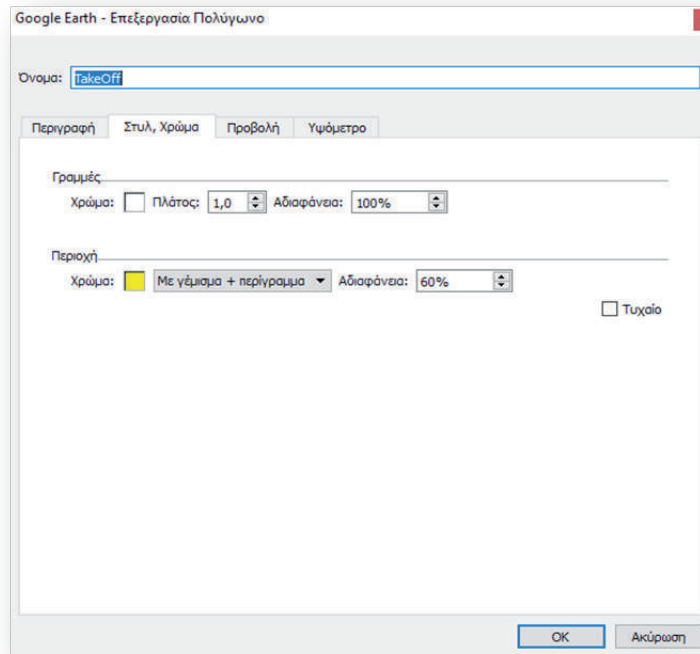
Στην συνέχεια, αντιστοιχίσαμε κάθε κύκλο με ένα εκπεμπόμενο ρύπο του Α/Φ, δίνοντας στο καθένα συγκεκριμένο χρώμα και χαρακτηριστική τιμή. Στην παρούσα φάση θα περιγράψουμε την διαδικασία με την οποία αποδώσαμε χρώμα στους κύκλους. Πιο αναλυτικά, αφού κάναμε εισαγωγή του αρχείου kml στο Google Maps, παρατηρήσαμε ότι το χρώμα όλων των κύκλων ήταν πράσινο. Προκειμένου να αλλάξουμε αυτή την εικόνα, αποδώσαμε σε κάθε ρύπο ένα αντίστοιχο χρώμα, έτσι ώστε να είναι ευδιάκριτος και άμεσα αντιληπτός από τον αναγνώστη. Συγκεκριμένα, τα χρώματα που δηλώσαμε στο χάρτη είναι τα εξής:

- **Κόκκινο χρώμα:** Απεικόνιση ρύπου NO_x (Οξείδια του Αζώτου)
- **Κίτρινο χρώμα:** Απεικόνιση ρύπου CO_2 (Διοξείδιο του Άνθρακα)
- **Πράσινο χρώμα:** Απεικόνιση ρύπου SO_x (Οξείδια του Θείου)
- **Μπλε χρώμα:** Απεικόνιση ρύπου Pm (Αιωρούμενα Σωματίδια)

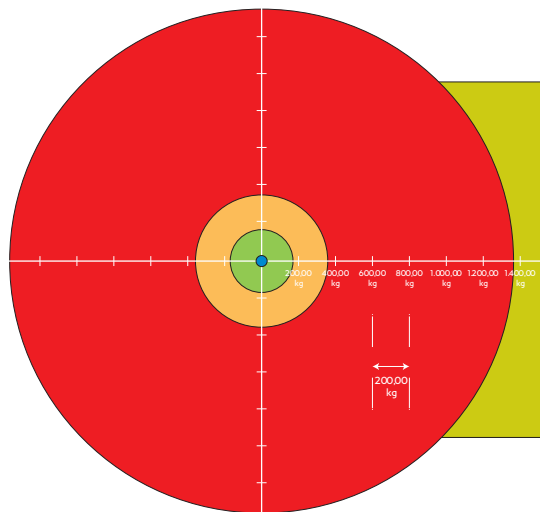
Ακολουθώντας την παραπάνω κατηγοριοποίηση, θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο πραγματοποιήθηκε η αλλαγή χρωμάτων στους κύκλους του Google Earth. Αναλυτικότερα, επιλέγοντας ένα οποιοδήποτε κύκλο από το χάρτη και πατώντας δεξιά 'κλικ' εμφανίζεται ένα παράθυρο στην οθόνη. Σ' αυτό επιλέγουμε την εντολή 'Ιδιότητες'. Στην συνέχεια, εμφανίζεται ένα καινούργιο παράθυρο (βλ. εικόνα 15), στο οποίο εμπεριέχονται ποικίλες λειτουργίες και ρυθμίσεις.

Οι εντολές που θα χρησιμοποιήσουμε για την παρούσα εργασία, από το παράθυρο που εμφανίζεται παραπάνω, είναι η "Περιγραφή" και η "Στυλ και χρώμα". Επιλέγοντας την πρώτη εκ των δύο, εμφανίζεται στο ίδιο παράθυρο ένας διαθέσιμος χώρος, στον οποίο ο χρήστης μπορεί να γράψει σχόλια και παρατηρήσεις, τα οποία θα εμφανίζονται στο χάρτη κάθε φορά που επιλέγεται ο εκάστοτε κύκλος. Έπειτα, αφού ολοκληρώσουμε το στάδιο της περιγραφής, επιλέγουμε την εντολή 'Στυλ & Χρώμα'. Σε αυτό το στάδιο εκτός από την επιλογή του επιθυμητού χρώματος που θέλουμε να αποδώσουμε στους κύκλους, υπάρχουν και άλλες εντολές. Για παράδειγμα, μπορούμε να επιλέξουμε το χρώμα και το πλάτος των γραμμών που περιβάλλουν τους κύκλους και το ποσοστό αδιαφάνειας των κύκλων πάνω στο χάρτη. Για να οριστικοποιηθούν οι αλλαγές που έκανε ο χρήστης επιλέγουμε την εντολή 'ΟΚ', η οποία βρίσκεται στην κάτω δεξιά γωνία του παραθύρου και, έτσι, προκύπτει το αποτέλεσμα της χαρτογράφησης. Τέλος, απαραίτητο είναι να διευκρινίσουμε ότι προκειμένου για την καλύτερη εμφάνιση των κύκλων πάνω στο χάρτη, η απεικόνιση των ρύπων έγινε αθροιστικά στο τέλος του κάθε σταδίου πτήσης του Α/Φ.

Ακολουθεί στις Εικόνες 16-1 έως 16-8 η αναλυτική απεικόνιση των ρύπων για τα στάδια idle και T/O. Σε κάθε σειρά η αριστερή εικόνα απεικονίζει το στάδιο idle και αντιστοίχως η δεξιά το στάδιο T/O. Σημειώνεται ότι η ομαδοποίηση έγινε με το κριτήριο των ρύπων.



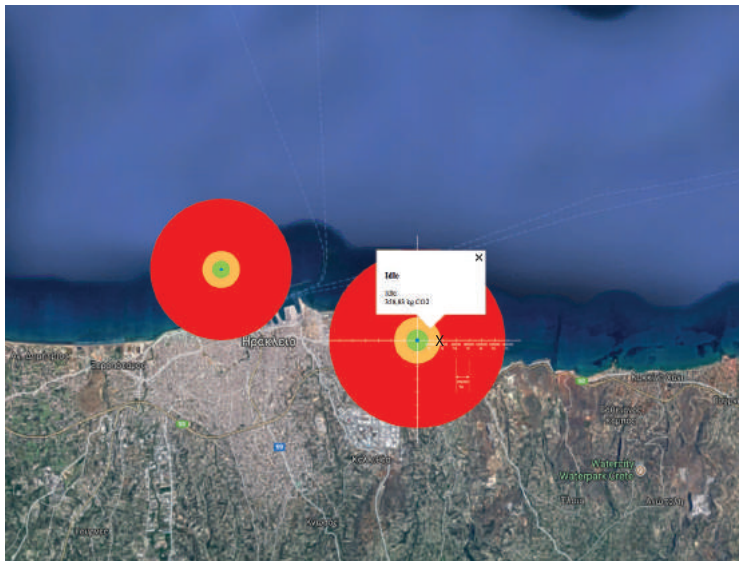
Εικόνα 15: Επεξεργασία Πολύγωνου στην εφαρμογή Google Earth



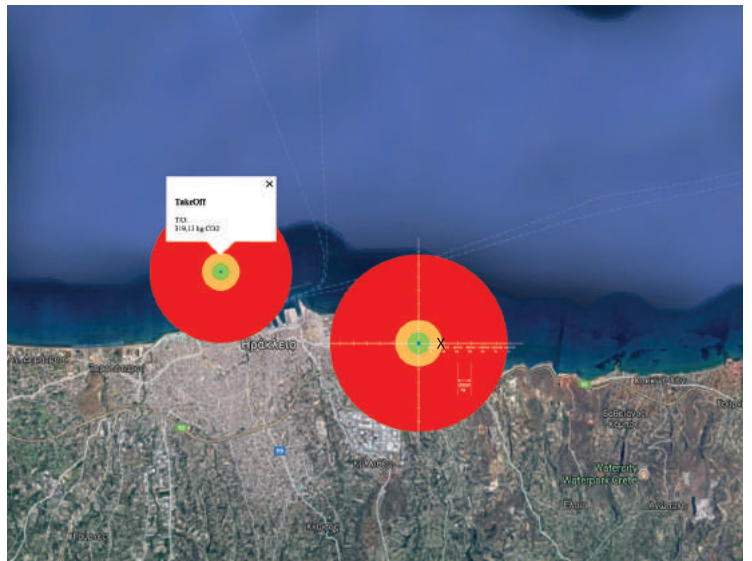
Υπόμνημα: Προκειμένου ο αναγνώστης να κατανοήσει το περιεχόμενο των δορυφορικών απεικονίσεων και την σημασία των ομόκεντρων κύκλων, σχεδιάστηκε το ακόλουθο υπόμνημα που αποτελεί οδηγό για τη συνέχεια των παρακάτω εικόνων.

Η βαθμονόμηση των αξόνων Χ, Ψ έχει γίνει στην κλίμακα Kg με βήμα 200 Kg.

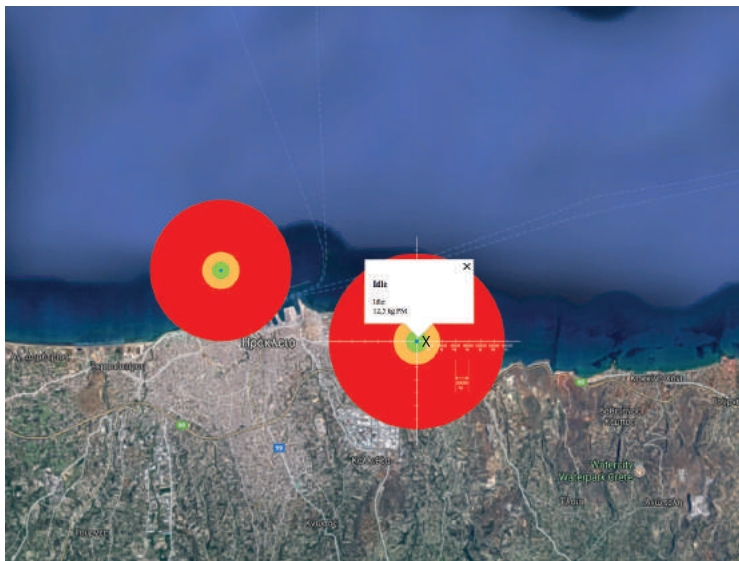
Ο κάθε κύκλος διέρχεται από το σημείο εκείνο που αντιστοιχεί με την εκάστοτε ποσότητα εκπομπής ρύπων.



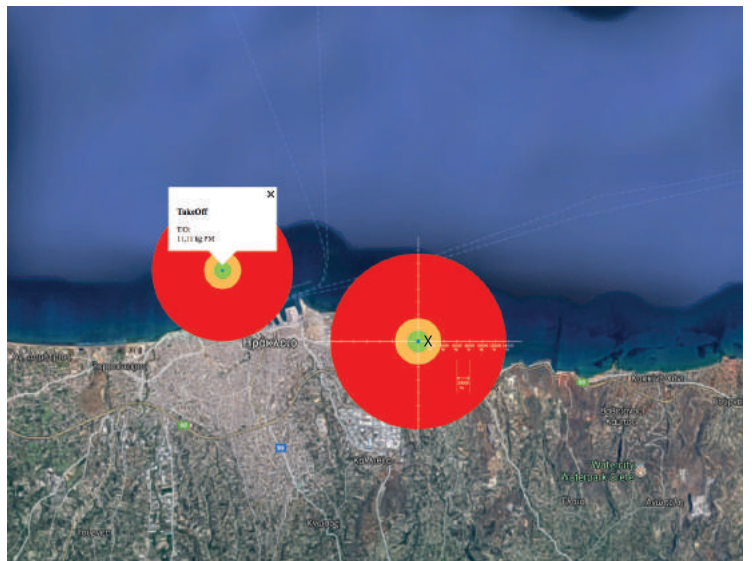
Εικόνα 16-1: idle CO₂



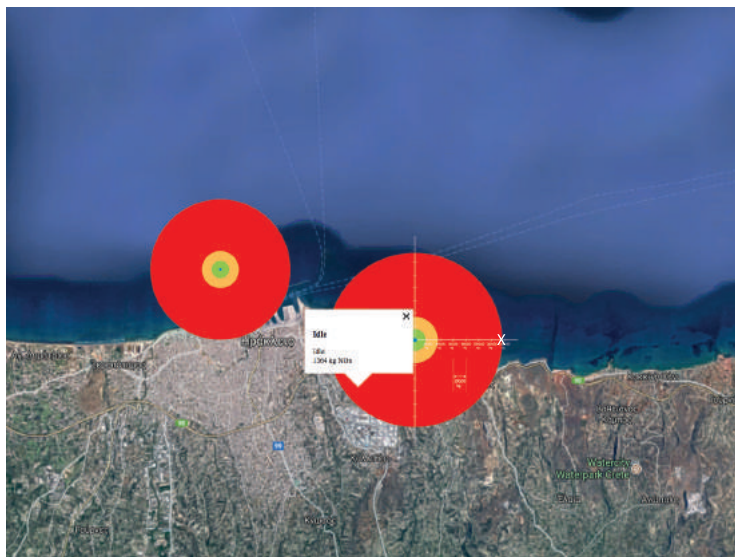
Εικόνα 16-2: Take Off CO₂



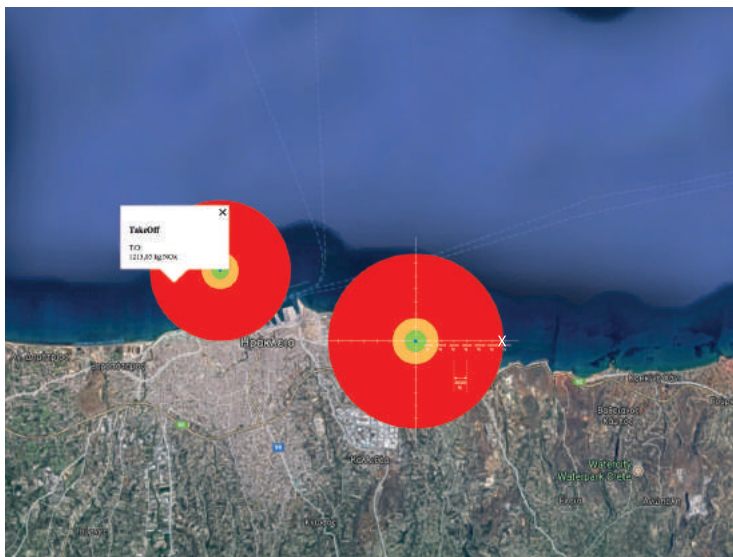
Εικόνα 16-3: idle PM



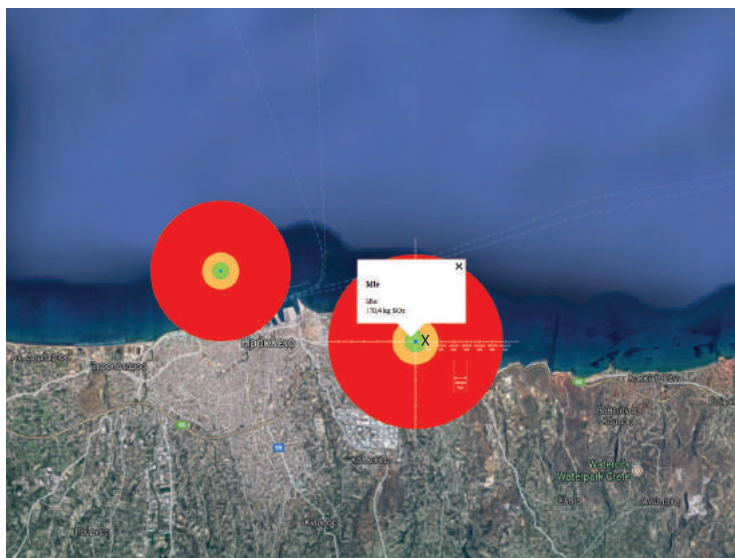
Εικόνα 16-4: Take Off PM



Εικόνα 16-5: idle SO_x



Εικόνα 16-6: Take Off SO_x

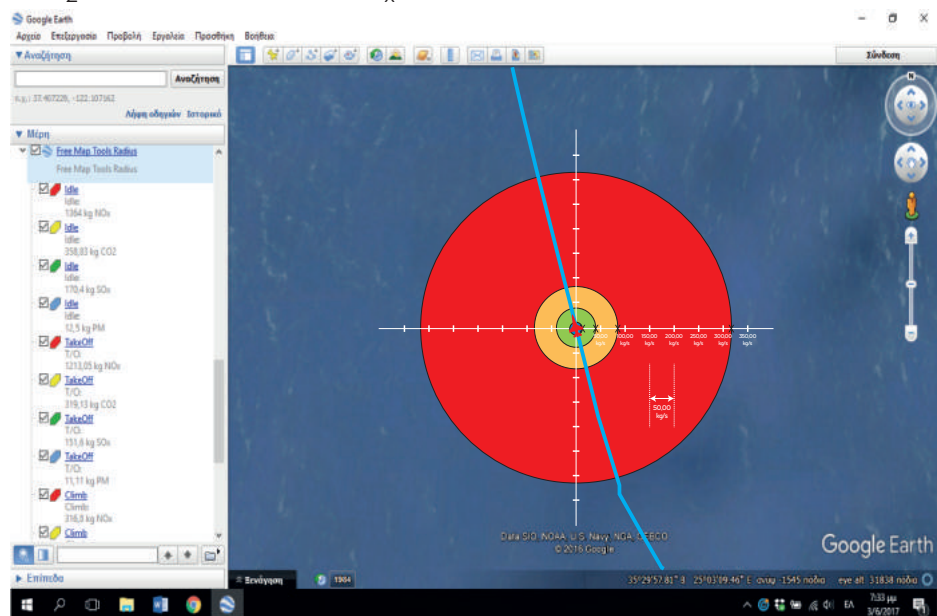


Εικόνα 16-7: idle NO_x



Εικόνα 16-8: Take Off NO_x

Στις προηγούμενες εικόνες απεικονίζονται πάνω από την πόλη του Ηρακλείου δύο τετράδες ομόκεντρων κύκλων. Η δεξιά τετράδα, σε κάθε εικόνα, απεικονίζει το σύνολο των ρύπων που εκπέμπονται κατά την διάρκεια της τροχοδρόμησης του Α/Φ (Idle) στο αεροδρόμιο και η αριστερή τους ρύπους που εκπέμπονται κατά την διάρκεια του σταδίου της απογείωσης (Take Off). Παρατηρείται πως όταν το αεροσκάφος είναι σταθμευμένο με τους κινητήρες του σε λειτουργία οι εκπομπές των ρύπων είναι για PM: 12,5 kg/s, SO_x : 170,4 kg/s CO_2 : 358,83 kg/s, NO_x : 1364 kg/s. Κατά την διάρκεια της απογείωσης όπου οι κινητήρες λειτουργούν στην μέγιστη απόδοση είναι για PM: 11,11 kg/s, SO_x : 151,6 kg/s, CO_2 : 319,13 kg/s, NO_x : 1213 kg/s.

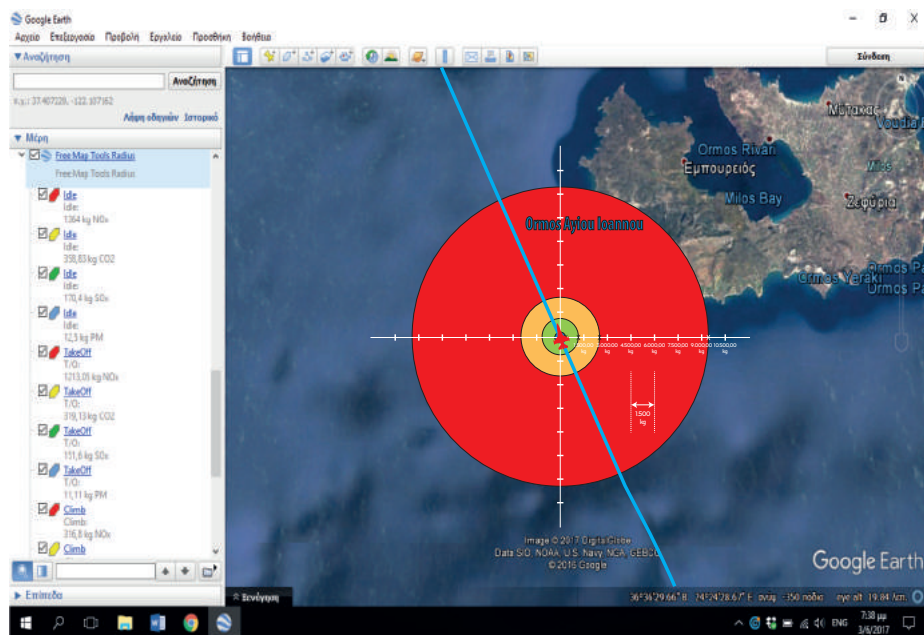


Εικόνα 17: Εκπομπές ρύπων στο στάδιο Cruise

Στην εικόνα 17 απεικονίζονται οι συνολικοί ρύποι που εκπέμπονται κατά την διάρκεια της πτήσης του Α/Φ στο στάδιο Climb. Η αναλυτική απεικόνιση έχει γίνει μόνο για τα στάδια idle και take off.

Παρατηρούμε πως στο συγκεκριμένο στάδιο πτήσης οι εκπομπές σε οξείδια του αζώτου (NO_x) καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο κομμάτι των συνολικών εκπομπών με 316,8 kg/s. Αμέσως μετά είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) με 83,84 kg/s και ακολουθούν οξείδια του θείου (SO_x) με 39,6 kg/s και τέλος τα αιωρούμενα σωμα-

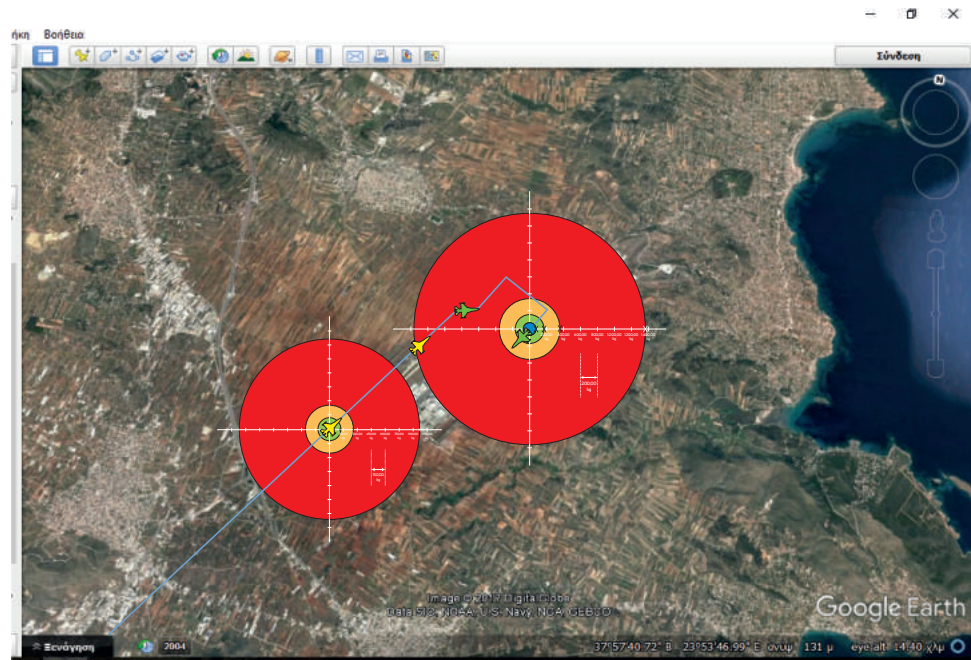
τίδια (PM) με $2,9 \text{ kg/s}$. Όταν από το στάδιο του Climb το αεροσκάφος περάσει στο στάδιο του Cruise απαιτείται να περάσει ένα χρονικό διάστημα προκειμένου να σταθεροποιηθεί το ύψος και η ταχύτητά του. Κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας μεταβάλλονται και οι ποσότητες των ρύπων που εκπέμπονται προς την ατμόσφαιρα διότι αλλάζει η λειτουργία του κινητήρα. Συγκεκριμένα στο στάδιο του Cruise το αεροσκάφος κινείται μόνο με το 10-15% της συνολικής ισχύος που παράγεται από τους κινητήρες καθώς η υπόλοιπη πλεύση υποστηρίζεται από την ίδια του την ορμή.



Εικόνα 18: Εκπομπές ρύπων στο στάδιο Cruise

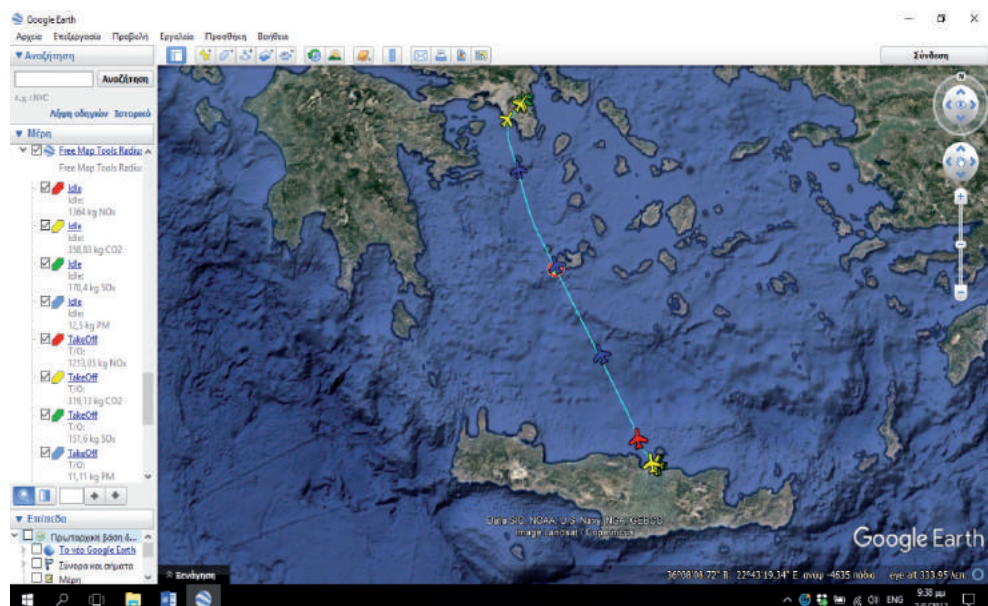
Στην εικόνα 18 παρατηρούμε τους συνολικούς ρύπους που εκπέμπονται από το Α/Φ κατά τη διάρκεια του σταδίου πτήσης Cruise. Όμοια και εδώ παρατηρείται πως κατά το στάδιο Cruise τον μεγαλύτερο όγκο σε εκπεμπόμενους ρύπους καταλαμβάνουν τα οξείδια του αζώτου. Σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα τα οξείδια του θείου το οποίο σημαίνει πως όταν πια το αεροσκάφος σταθεροποιηθεί όσο αφορά το ύψος και την ταχύτητα πτήσης οι δύο προαναφερθέντες ρύποι καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό σε εκπομπές. Χάριν συντομίας παρατέθηκαν μόνο δύο στιγμιότυπα πτήσης κατά την φάση του Cruise καθώς

θεωρούμε ως δεδομένο πως δεν υπάρχουν αναταράξεις, κένα αέρος και γενικότερα συνθήκες που πρέπει να αλλάξουν την λειτουργία του κινητήρα για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα



Εικόνα 19: Εκπομπές ρύπων στο στάδιο Approach και Idle

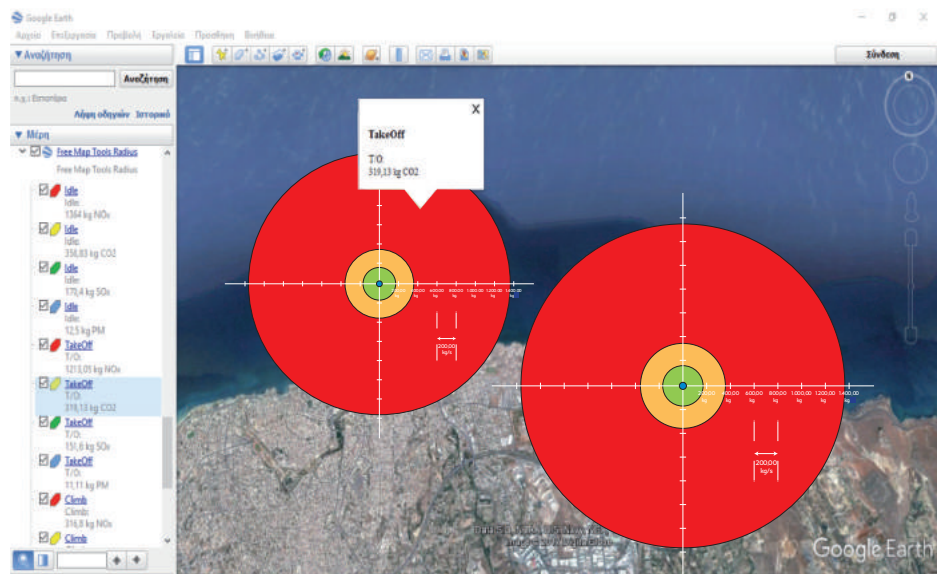
Στην εικόνα 19 παρατηρούμε τις εκπομπές ρύπων από τα δύο τελευταία στάδια πτήσεων του Α/Φ, το Approach και το Idle. Όμοια με το αεροδρόμιο του Ηρακλείου οι εκπομπές των ρύπων κατά την φάση του Idle είναι ίδιες.



Εικόνα 20: Χαρτογράφηση πτήσης Ηράκλειο-Αθήνα

Τέλος, στην εικόνα 20 παρουσιάζουμε ολοκληρωμένα την χαρτογραφημένη πορεία του Α/Φ από το αεροδρόμιο του Ηρακλείου σε αυτό της Αθήνας. Να διευκρινίσουμε ότι οι κύκλοι που απεικονίζουν τους εκπεμπόμενους ρύπους δεν φαίνονται στην εικόνα, διότι κάναμε σμίκρυνση του χάρτη προκειμένου να φαίνεται ολόκληρη η πορεία του Α/Φ.

Το τελευταίο κομμάτι της χαρτογράφησης του Α/Φ, έχοντας ολοκληρώσει την απεικόνιση των ρύπων, αποτελεί η απεικόνιση των τιμών των εκπεμπόμενων ρύπων ανά στάδιο πτήσης πάνω στο χάρτη. Για να πραγματοποιηθεί αυτό το στάδιο επιλέξαμε να εμφανίσουμε τις τιμές αυτές σε μορφή σχολίων πάνω στο χάρτη. Όπως κάναμε στο στάδιο του χρωματισμού των κύκλων, έτσι και εδώ, αφού πρώτα επιλέξουμε κάποιο κύκλο, θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή 'Ιδιότητες' του Google Earth και στη συνέχεια θα εργαστούμε στο παράθυρο που εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή. Θα χρησιμοποιήσουμε την πρώτη από τις διαθέσιμες λειτουργίες που εμφανίζονται, η οποία ονομάζεται 'Περιγραφή'. Σε αυτή θα συμπληρώσουμε στο διαθέσιμο χώρο με το 'Όνομα' το στάδιο πτήσης του Α/Φ και στο λευκό πίνακα τους συνολικούς εκπεμπόμενους ρύπους ανά κατηγορία ρύπου και δίπλα την μονάδα μέτρησης, η οποία μετριέται σε κιλά (kg). Θα παραθέσουμε στο σημείο αυτό ένα παράδειγμα για να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτά τα παραπάνω. Έστω, λοιπόν, ότι επιλέγουμε από το στάδιο της απογείωσης (Take Off) τον μεγαλύτερο κύκλο για την ανάλυση του παραδείγματος. Στο παράθυρο που εμφανίζεται πληκτρολογούμε αρχικά το στάδιο πτήσης στη θέση 'Όνομα'. Στην περιγραφή, αφού ξαναγράψουμε το στάδιο πτήσης, δηλώνουμε την συνολική ποσότητα εκπεμπόμενου ρύπου σε κιλά. Για να αποθηκευτούν οι ρυθμίσεις επιλέγουμε την εντολή 'ΟΚ' και η απεικόνισή της φαίνεται όπως στην εικόνα 21.



Εικόνα 21: Εμφάνιση ρύπων με την μορφή σχολίων

Ολοκληρώνοντας την παραπάνω περιγραφή, έχουμε πλέον υλοποιήσει την χαρτογράφηση της πτήσης του Α/Φ από το αεροδρόμιο του Ηρακλείου προς της Αθήνας στο Google Maps και την σχεδίαση-απεικόνιση των εκπεμπόμενων ρύπων ανά στάδιο πτήσης. Τέλος, να διευκρινίσουμε ότι ο κάθε ρύπος υπολογίστηκε αθροιστικά σε κάθε ένα από τα πέντε στάδια πτήσης του Α/Φ και ότι η απεικόνισή τους στο χάρτη έγινε στη μετάβαση από το ένα στάδιο πτήσης στο άλλο, προκειμένου να είναι πιο ευδιάκριτοι από το αναγνώστη.

Κατά την απεικόνιση των ρύπων, παρατηρήθηκε πως σε όλες τις φάσεις πτήσεις το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών καταλαμβάνουν τα οξείδια του αζώτου. Αμέσως μετά, εκτός της φάσης του Cruise όπου εκεί είναι τρίτο κατά σειρά και δεύτερο τα οξείδια του θείου, έρχεται το διοξείδιο του άνθρακα και στο τέλος βρίσκονται τα αιωρούμενα σωματίδια.

Κεφάλαιο 4

Αποτελέσματα έρευνας και συμπεράσματα για το μέλλον

4.1 Χρήση δεδομένων για το υπόλοιπο κομμάτι της έρευνας

Από την μελέτη και την κατασκευή της κεραίας που γίνεται λόγος στην παρούσα διπλωματική μπορούν εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα καθώς και πλούσιο υλικό προς μελέτη σε επόμενες εργασίες. Η εργασία αυτή, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή της, αποτελεί το μισό κομμάτι μιας ευρύτερης έρευνας του Πολυτεχνείου Κρήτης η οποία ασχολείται με την μελέτη των αέριων ρύπων σε λιμάνια και αεροδρόμια εντός της χώρας. Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει αποδοτικά ένας χαμηλού κόστους ADS-B δέκτης σημάτων, του οποίου τα δεδομένα θα αποτελούσαν το υλικό του υπόλοιπου κομματιού της μελέτης μας. Αυτό ανήκει στην διπλωματική εργασία του Δημήτρη Παλένη, και αφορά την επεξεργασία όλων αυτών των δεδομένων που αντλήθηκαν μέσω της κεραίας για τον υπολογισμό και την απεικόνιση σε μια χαρτογραφημένη διαδρομή, όλων των αέριων ρύπων

δύο πτήσεων, από Χανιά προς Αθήνα και από Ηράκλειο προς Αθήνα. Ήταν μια ομαδική δουλειά και για αυτό παρουσιάζονται και στις δύο εργασίες πολλά τμήματα τα οποία είναι όμοια, ακριβώς γιατί η μια εργασία αλληλοσυμπληρώνει την άλλη. Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας επομένως, δεν είναι άλλα, πέρα από δεδομένα μιας πραγματικής πτήσης μεταξύ των δύο παραπάνω πόλεων, όπως γεωγραφικό πλάτος και μήκος, ταχύτητα πτήσης, ύψος πτήσης. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με τον τύπο του κινητήρα που χρησιμοποιεί κάθε αεροσκάφος, μέσω μαθηματικών τύπων, μπορούν να μας υπολογίσουν τους αέριους ρύπους μιας συγκεκριμένης πτήσης.

4.2 Συμπεράσματα

Παρακάτω θα αναφερθούν μερικές σκέψεις μας αναφορικά με το πως μπορεί το μοντέλο αυτό να επεκταθεί περαιτέρω και να χρησιμοποιηθεί από εκπαιδευτικές κοινότητες και αρχές με σκοπό την μελέτη και την καταγραφή των αεριων ρύπων για την εκάστοτε περιοχή. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό διότι αρμοδίοι φορείς θα μπορούν να γνωρίζουν ανά πάσα ώρα και στιγμή τους ρύπους που εκπέπονται από κάθε αεροσκάφος που διασχίζει τον εναέριο χώρο της εκάστοτε περιοχής που εξετάζεται.

Επαναπροσδιορισμός της πορείας πτήσεως ανάλογα με την κατανομή των ρύπων

Με την χρήση του μοντέλου σε περιοχές όπου αεροδρόμιο και λιμάνι απέχουν πολύ μικρή απόσταση, όπως στο Ηράκλειο Κρήτης, έχει σαν αποτέλεσμα να συσσωρεύεται μεγάλος όγκος καυσαερίων στην ατμόσφαιρα, ειδικά σε περιόδους αιχμής όπως το καλοκαίρι, θα μπορούμε να εντοπίσουμε τις τιμές των ρύπων που ξεπερνούν συγκεκριμένα όρια και να προτείνουμε τον επαναπροσδιορισμό της πορείας των αεροπλάνων. Βεβαίως αυτό είναι κάτι το οποίο θα πρέπει να γίνει κατόπιν συ-

νεन्नόησης με τις αρμόδιες ναυτιλιακές και αεροπορικές εταιρείες. Έτσι λοιπόν, σε περίπτωση που το σύστημά μας βελτιωθεί μελλοντικά και παρουσιάσει προειδοποιητική ένδειξη συγκέντρωσης αυξημένων ρύπων πάνω από μία πόλη, τότε αποστέλλεται ειδοποίηση στους αρμόδιους φορείς και επαναπροσδιορίζεται η διέλευση των μέσων από εκείνο το σημείο.

Χαμηλό κόστος κατασκευής

Ένα ακόμα σημαντικό κομμάτι είναι το πολύ χαμηλό κόστος της μελέτης και της εγκατάστασης. Αυτό δίνει την δυνατότητα να κατασκευαστούν πολλές όμοιες κεραίες οι οποίες θα συλλέγουν δεδομένα, με αποτέλεσμα να έχουμε κατά πολύ μεγαλύτερο όγκο δεδομένων άρα και μεγαλύτερη ακρίβεια των αποτελεσμάτων.. Έτσι λοιπόν, μετά το πέρας κάποιου χρονικού διαστήματος, θα είμαστε σε θέση να εξάγουμε περιβαλλοντικά συμπεράσματα και επιπτώσεις των εκπεμπόμενων ρύπων στην υγεία του ανθρώπου γύρω από μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, όπως για παράδειγμα της Κρήτης.

Ωστόσο, πέρα από τις παραπάνω επεκτάσεις που παραθέσαμε, το σύστημα που δομήσαμε είναι τόσο καταννητό, που μπορεί ο κάθε χρήστης να το μελετήσει και ανάλογα με το πρόβλημα που θέλει να επιλύσει, να επεκτείνει το πρόγραμμα αντίστοιχα στο επιθυμητό πεδίο εφαρμογής.

Δημιουργία βάσης δεδομένων

Αφού ολοκληρωθεί το σύστημα χαρτογράφησης και σημειακής ένδειξης θα παρέχεται δυνατότητα αποθήκευσης των δεδομένων σε μια βάση στην οποία θα μπορεί να έχει πρόσβαση οποιοσδήποτε θα θέλησει να συγκρίνει τα αποτελεσμάτα και να παρακολουθεί τη διαχρονική εξέλιξη φαινομένων. Έτσι, θα μπορούν να προκύψουν αξιοσημείωτες παρατηρήσεις για την ανθρώπινη υγεία, χωρίς να απαιτείται κάθε φορά που αρχίζει μία έρευνα να γίνεται συλλογή δεδομένων από την αρχή.

Εν κατακλείδι, το μοντέλο που κατασκευάστηκε δεν είναι τελειοποιημένο και χωρούν πολλά περιθώρια βελτίωσης. Έγινε όμως μεγάλη προσπάθεια να παρουσιαστεί μια ολοκληρωμένη μελέτη της οποίας το βασικότερο κριτήριο θα ήταν η ευκολία κατανόησης και λειτουργίας της σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος συναρμογής. Κάθε τέτοια προσπάθεια θα πρέπει να ενθαρρύνεται και να στηρίζεται από τις αρμόδιες αρχές καθώς γίνονται βήματα ώστε να υπάρξει, όσο το δυνατόν περισσότερο, μια ισορροπία μεταξύ μετακινήσεων και εκπομπών ρύπων. Με συλλογική προσπάθεια είναι σίγουρο ότι θα τα καταφέρουμε και ευελπιστούμε με το έργο μας να συμβάλλουμε στην βελτιστοποίηση ενός συστήματος παρακολούθησης των εναέριων ρύπων.

Βιβλιογραφία

Air Pollution Accountability and Compliance Tracking System (A-PACT System) [Έκθεση] / συγγρ. Andrew Keller-Goralczyk Joshua Finks, Omar Mathir, David Helmly, Abdulrahman Althagafi / Systems Engineering and Operations Research Department ; George Mason University. - Virginia : [s.n.].

AIRCRAFT CO2 EMISSIONS STANDARD METRIC SYSTEM [Έκθεση] / συγγρ. International Civil Aviation Organization. - [s.l.] : ICAO.

AIRCRAFT EMISSIONS [Έκθεση] / συγγρ. Rypdal Kristin. - [s.l.] : Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.

Benefits and incentives for ADS-B equipage in the National Airspace System [Έκθεση] : Thesis / συγγρ. Lester Edward. - Massachusetts : MIT, 2007.

Calculating The Carbon Dioxide Emissions Of Flights [Έκθεση] / συγγρ. Jardine Dr Christian N. / Environmental Change ; University of Oxford. - Oxford : Oxford University Centre for the Environment, 2009.

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013 [Έκθεση] / συγγρ. European Environment Agency. - Luxembourg: : European Environment Agency, 2013.

European Aviation Safety Agency [Ηλεκτρονικό] / συγγρ. ICAO. - 11 2017. - 6 1 2017. - <https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>.

Greenhouse Gas emissions from aviation and marine transportation: mitiGation potential and policies [Έκθεση] / συγγρ. Greene David McCollum Gregory Gould David. - California : Pew Center.

ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology [Έκθεση] / συγγρ. ICAO. - [s.l.] : ICAO, 2015.

The Journal for personal air travel [Ηλεκτρονικό] / συγγρ. Zimmerman John // Airfactsjournal. - 2013. - <http://airfactsjournal.com/2013/01/ads-b-101-what-it-is-and-why-you-should-care/>.

(ICAO, 2015)

(European Environment Agency, 2013)

Παράρτημα εικόνων

Εικόνα 1: Αναπαράσταση επικοινωνίας Α/Φ με πύργο ελέγχου μέσω ADS-B

Εικόνα 2: Σύστημα Radar

Εικόνα 3: Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης ανά κλάδο

Εικόνα 4: Μητρική πλακέτα Raspberry Pi 3

Εικόνα 5: Ψηφιακός δέκτης σημάτων Noolec R820t

Εικόνα 6: Στιγμιότυπο χρήσης του λογισμικού PuTTY

Εικόνα 7: Στιγμιότυπο κατά την διαδικασία εγγραφής στο FR24

Εικόνα 8: Στιγμιότυπο από την πρώτη επίσημη λήψη δεδομένων

Εικόνα 9: Λογισμικό SocketTest

Εικόνα 10: Άντληση δεδομένων από την κεραία.

Εικόνα 11: Χρήση Excel για ταξινόμηση και επεξεργασία δεδομένων

Εικόνα 12: Ιστοσελίδα μετατροπής αρχείου .CSV σε αρχείο .KML.

Εικόνα 13: Σημειακή αναπαράσταση πτήσης στο Google Earth.

Εικόνα 14: Τυπικός κύκλος πτήσης LTO

Εικόνα 15: Επεξεργασία Πολύγωνου στην εφαρμογή Google Earth

Εικόνα 16: Εκπομπές ρύπων στο στάδιο Idle & T/O

Εικόνα 16-1: idle CO₂

Εικόνα 16-2: Take Off CO₂

Εικόνα 16-3: idle PM

Εικόνα 16-4: Take Off PM

Εικόνα 16-5: idle SO_x

Εικόνα 16-6: Take Off SO_x

Εικόνα 16-7: idle NO_x

Εικόνα 16-8: Take Off NO_x

Εικόνα 17: Εκπομπές ρύπων στο στάδιο Cruise

Εικόνα 18: Εκπομπές ρύπων στο στάδιο Cruise

Εικόνα 19: Εκπομπές ρύπων στο στάδιο Cruise

Εικόνα 20: Χαρτογράφηση πτήσης Ηράκλειο-Αθήνα

Εικόνα 21: Εμφάνιση ρύπων με την μορφή σχολίων

Παράρτημα πινάκων

Πίνακας 1: Υπολογισμός καυσίμου για κάθε Α/Φ

Πίνακας 2: Υπολογισμός εκπεμπόμενων ρύπων

Πίνακας 3: Υπολογισμός σε ετήσια βάση για κάθε εκπεμπόμενο ρύπο

Πίνακας 4: Μέση διάρκεια κάθε σταδίου πτήσης

Πίνακας 5: Συνολικές εκπομπές ρύπων για κάθε στάδιο πτήσης για την διαδρομή Χανιά-Αθήνα

Πίνακας 6: Συνολικές εκπομπές ρύπων ετησιώς (Greene)