



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ
ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ**

ΓΑΡΕΦΑΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δ. ΤΣΑΜΠΟΥΛΑΣ

ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2006

ΣΥΝΟΨΗ

ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ

ΕΚΠΟΝΗΣΗ: ΓΑΡΕΦΑΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Α. ΤΣΑΜΠΟΥΛΑΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την περίοδο Απριλίου 2005 - Μαρτίου 2006, στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., με σκοπό την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση των ατμοσφαιρικών εκπομπών από τη λειτουργία των αεροδρομίων. Αρχικά, εντοπίστηκαν οι επί μέρους πηγές εκπομπών λόγω της λειτουργίας των αεροδρομίων και μελετήθηκαν οι μηχανισμοί δημιουργίας των ρύπων. Αφού εξετάστηκαν οι σχετικές έρευνες και οι υφιστάμενες μεθοδολογίες εκτίμησης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, πραγματοποιήθηκε η σύνθεση μίας ενιαίας μεθοδολογίας για την αναλυτική εκτίμηση της συνεισφοράς των πηγών ρύπανσης των αεροδρομίων. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο εφαρμόστηκε στην περίπτωση του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών, ώστε να ελεγχθεί στην πράξη. Με τη χρήση υποθέσεων και με τροποποιήσεις των προτεινόμενων σχέσεων υπολογισμού σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα, επιτύχαμε τη θεωρητική αποτίμηση της ρυπογόνου δραστηριότητας του αερολιμένα. Από την εφαρμογή αυτή προέκυψε το συμπέρασμα ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία ενώ παρέχει δυνατότητες εκτιμήσεων υψηλής ακρίβειας, παρουσιάζει πρακτικές δυσκολίες στην εφαρμογή της λόγω των υψηλών απαιτήσεων σε δεδομένα.

Λέξεις Κλειδιά: Μεθοδολογία εκτίμησης ατμοσφαιρικών εκπομπών, Ρύπανση από τη λειτουργία αεροδρομίου, Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα αεροδρόμια, Μητρώο εκπομπών, Παραγόμενοι ρύποι από τα αεροδρόμια

ABSTRACT

THESIS SUBJECT: METHODOLOGY FOR THE ASSESSMENT OF AIR POLLUTANT EMISSIONS FROM AIRPORT OPERATIONS

BY: GAREFALAKIS ANTONIOS

SUPERVISOR: DIMITRIOS A. TSAMBOULAS

This thesis was elaborated during the period between April 2005 and March 2006, at the Department of Transportation Planning and Engineering, Faculty of Civil Engineering, NTUA, in order to develop an integrated methodological framework for the assessment of air pollutant emissions from airport operations. Initially, the emission compound sources from airport operations were spotted and the pollution generating mechanisms were studied. After scrutinizing the relative researches and the existing methodologies for air pollution assessment, a unified methodology was compiled for the analytical assessment of the contribution of airport emission sources. The proposed methodological framework was implemented for the case study of the Athens International Airport, so as to be tested in practice. By using assumptions and modifying the proposed calculating equations, according to the available data, we succeeded in valuating the polluting activity of the airport. The conclusion of this case study was that although the proposed methodology shows potential for highly detailed results, it appears to have implementation difficulties because of the high requirements in the used data.

Key words: Methodology for the assessment of air pollutant emissions, Pollution from airport operations, Airport emission sources, Emissions database, Airport-related pollutants

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε με σκοπό την ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης των ατμοσφαιρικών εκπομπών από τη λειτουργία των αεροδρομίων. Οι ατμοσφαιρικές εκπομπές από τη λειτουργία των αεροδρομίων επηρεάζουν το περιβάλλον και τον άνθρωπο σε παγκόσμια κλίμακα και υποβαθμίζουν την ποιότητα του αέρα στις περιοχές γύρω από τα αεροδρόμια. Προκειμένου να εφαρμοστούν στρατηγικές διαχείρισης της υφιστάμενης ρύπανσης κρίνεται απαραίτητη η αποτίμηση των εκπομπών από τις αεροπορικές δραστηριότητες.

Εξετάζοντας το ερευνητικό έργο που έχει τελεστεί στο χώρο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αεροδρόμια, εντοπίστηκε η έλλειψη μίας ενιαίας μεθοδολογίας που να συγκεντρώνει όλες τις συνιστώσες της εν λόγω ρύπανσης και να μελετά αναλυτικά κάθε μία. Πιο συγκεκριμένα, οι υφιστάμενες μεθοδολογίες εκτίμησης και αντιμετώπισης της ρύπανσης, βασίζονται είτε στη θεώρηση του αεροδρομίου ως μία ενιαία πηγή είτε εστιάζουν στην έκλυση ρύπων από τα αεροσκάφη, υποτιμώντας τη συνεισφορά άλλων πηγών. Από τη μελέτη των μεθοδολογιών εκτίμησης που εφαρμόζονται διεθνώς προέκυψε η πεποίθηση ότι μία μεθοδολογία που θα αντιμετώπιζε κάθε επί μέρους πηγή ρύπανσης ξεχωριστά, θα μπορούσε να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο για την ακριβή απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης.

Οι πηγές ρύπανσης στις οποίες αναφερόμαστε μπορούν να διακριθούν σε πέντε μεγάλες κατηγορίες, οι οποίες συνήθως εξετάζονται από τις αρμόδιες υπηρεσίες των αεροδρομίων. Αυτές είναι: Τα αεροσκάφη, οι βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας των αεροσκαφών, τα οχήματα και ο εξοπλισμός εδάφους του αερολιμένα, τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων και οι σταθερές πηγές ρύπανσης του αεροδρομίου. Οι πηγές αυτές συνήθως εξετάζονται μεμονωμένα, καθώς δεν υπάρχει ένα ενιαίο μεθοδολογικό πλαίσιο που να παρέχει οδηγίες για την εκτίμηση της ρυπογόνου δραστηριότητας όλων των πηγών.

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του αεροδρομίου ταυτίζεται στην πλειοψηφία των περιπτώσεων με την ποσοτικοποίηση των εκπομπών από τα αεροσκάφη. Η προσέγγιση αυτή δεν είναι αβάσιμη, καθώς η συνεισφορά των αεροσκαφών στη συνολική ρύπανση από το αεροδρόμιο μπορεί να ξεπεράσει κατά περιπτώσεις το ογδόντα τοις εκατό. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι πρέπει να αμελούνται οι ρύποι που εκπέμπονται από τις επί μέρους πηγές.

Μετά από σύντομη εξέταση της συνεισφοράς των επί μέρους πηγών ρύπανσης μερικών πραγματικών περιπτώσεων (Διεθνές Αεροδρόμιο του Λος Άντζελες, Διεθνής Αερολιμένας της Φρανκφούρτης, κ.ά.), θεωρήθηκε σκόπιμη η αναζήτηση ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση των συνολικών εκπομπών από τη λειτουργία των αεροδρομίων, στο οποίο θα επιμερίζεται η συνολική ρυπογόνος δραστηριότητα και θα εξετάζεται αναλυτικά κάθε κατηγορία ρυπαντών. Με μια πιο λεπτομερή εξέταση των πηγών ρύπανσης επιχειρείται μια ακριβέστερη αποτίμηση της πραγματικής κατάστασης.

Η αναζήτηση της κατάλληλης μεθοδολογίας εκτίμησης των εκπομπών κάθε πηγής, ξεκίνησε με τον εντοπισμό των συνιστωσών της ρύπανσης και την κατανόηση των μηχανισμών δημιουργίας ρύπων. Μετά από συστηματική μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας, έγινε μια ολοκληρωμένη ταξινόμηση των πηγών ρύπανσης που λειτουργούν στα αεροδρόμια και καταγράφηκαν οι μηχανισμοί παραγωγής ρύπων που αντιστοιχούν σε κάθε περίπτωση. Επίσης, συγκεντρώθηκαν οι απαραίτητες πληροφορίες όσον αφορά στις διάφορες μεθοδολογίες εκτίμησης που εφαρμόζονται ανά περίπτωση.

Με δεσπόζουσα μεθοδολογία αυτή της Ομοσπονδιακής Διεύθυνσης Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών, συντέθηκε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο που παρουσιάζει βήμα προς βήμα τις διαδικασίες για την εκτίμηση των εκπομπών από όλες τις πηγές που λειτουργούν στα αεροδρόμια, από τη συγκέντρωση των απαραίτητων στοιχείων μέχρι την εξαγωγή των τελικών αποτελεσμάτων. Πέρα από την παρουσίαση των υπολογιστικών σχέσεων που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση, αναλύεται το σκεπτικό που τεκμηριώνει την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την ακριβή εκτίμηση των εκπεμπόμενων ρύπων.

Την αναλυτική παρουσίαση της προτεινόμενης μεθοδολογίας ακολούθησε η εφαρμογή στην περίπτωση του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών. Στόχος της εφαρμογής αυτής ήταν ο έλεγχος της προτεινόμενης μεθοδολογίας στην πράξη, ώστε να εντοπιστούν τυχόν δυσχέρειες στην εφαρμογή και να εξεταστεί η προσαρμοστικότητα του μεθοδολογικού πλαισίου σε μία τυχαία περίπτωση. Ταυτόχρονα αποσκοπούσαμε στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την υφιστάμενη κατάσταση στον αερολιμένα, τα οποία θα μπορούσαν ενδεχομένως να χρησιμεύσουν στη διαχείριση της ρύπανσης από το αεροδρόμιο.

Στη μεθοδολογία που εφαρμόσαμε χρησιμοποιήθηκαν πραγματικά δεδομένα, τα οποία λήφθηκαν από τη διεύθυνση του αερολιμένα και άλλες υπηρεσίες και υιοθετήθηκαν παραδοχές για την καλύτερη προσαρμογή της διαδικασίας υπολογισμού στα διαθέσιμα δεδομένα. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι εκπομπές από τις επί μέρους πηγές ρύπανσης ήταν αναπόφευκτη η τροποποίηση της γενικής μεθοδολογίας, ώστε να ανταποκρίνεται καλύτερα στις συνθήκες της δεδομένης περίπτωσης.

Συμπερασματικά, προέκυψε ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια για περιορισμένες περιπτώσεις αεροδρομίων όπου επιζητείται υψηλή υπολογιστική ακρίβεια και διατίθεται μεγάλος όγκος δεδομένων εισόδου. Για την πλειοψηφία των περιπτώσεων, όπου δεν είναι διαθέσιμα όλα τα απαραίτητα δεδομένα, η μεθοδολογία πρέπει να προσαρμοστεί και να βασιστεί σε υποθέσεις, με αποτέλεσμα τη μείωση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων, καθώς κάποια από τα πραγματικά στοιχεία θα έχουν αντικατασταθεί από θεωρητικές προσεγγίσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Η ατμοσφαιρική ρύπανση από τις αερομεταφορές.....	1
1.2	Αντικείμενο και στόχος της διπλωματικής εργασίας.....	4
1.3	Η δομή της διπλωματικής εργασίας.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1	Συναφείς έρευνες για την ατμοσφαιρική ρύπανση από τις αερομεταφορές.....	8
2.2	Συναφείς μεθοδολογίες εκτίμησης ατμοσφαιρικών ρύπων από τις αερομεταφορές και εφαρμογές αυτών.....	15
2.3	Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ

3.1	Εισαγωγή.....	26
3.2	Ατμοσφαιρικοί ρύποι από τη λειτουργία των αεροδρομίων.....	27
3.3	Ατμοσφαιρικές επιπτώσεις μεγάλης κλίμακας.....	32
3.4	Ρύπανση από τις επί μέρους πηγές αεροδρομίου.....	35
3.4.1	Ρύπανση από τα αεροσκάφη.....	35
3.4.2	Ρύπανση από τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας.....	36
3.4.3	Ρύπανση από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους.....	37
3.4.4	Ρύπανση από τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζόμενων.....	40
3.4.5	Ρύπανση από τις σταθερές πηγές.....	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

4.1	Εισαγωγή.....	48
4.2	Μεθοδολογία εκτίμησης ατμοσφαιρικών ρύπων από τις δραστηριότητες αεροδρομίου.....	50
4.2.1	Εκτίμηση ρύπων από τα αεροσκάφη.....	50
4.2.2	Εκτίμηση ρύπων από τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας.....	56
4.2.3	Εκτίμηση ρύπων από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους.....	57
4.2.3.1	Οχήματα και μηχανήματα εδάφους συμβατικών ή εναλλακτικών καυσίμων.....	58

4.2.3.2	<i>Ηλεκτροκίνητα οχήματα και μηχανήματα εδάφους.....</i>	60
4.2.4	Εκτίμηση ρύπων από τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων.....	61
4.2.4.1	<i>Ρύπανση λόγω κίνησης προς και από τον αερολιμένα.....</i>	61
4.2.4.2	<i>Ρύπανση λόγω στάσης και στάθμευσης στον αερολιμένα.....</i>	62
4.2.4.3	<i>Ρύπανση λόγω εξάτμισης ρύπων από τους κινητήρες των οχημάτων.....</i>	66
4.2.5	Εκτίμηση ρύπων από τις σταθερές πηγές.....	69
4.2.5.1	<i>Εγκαταστάσεις θέρμανσης.....</i>	69
4.2.5.2	<i>Εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης και γεννήτριες εκτάκτου ανάγκης.....</i>	71
4.2.5.3	<i>Αποτεφρωτήρες.....</i>	73
4.2.5.4	<i>Ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας.....</i>	73
4.2.5.5	<i>Δοκιμές κινητήρων αεροσκαφών.....</i>	74
4.2.5.6	<i>Δεξαμενές καυσίμων.....</i>	75
4.2.5.7	<i>Χρωμάτισμα και επίχριση επιφανειών.....</i>	76
4.2.5.8	<i>Υγρά αποπαγοποίησης.....</i>	77
4.2.5.9	<i>Διαλυτικές ουσίες.....</i>	78
4.2.5.10	<i>Σωροί άλατος και άμμου.....</i>	79
4.3	Αθροιστικός υπολογισμός ατμοσφαιρικών ρύπων.....	80
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΕΘΝΗ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑ ΑΘΗΝΩΝ «ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ»		
5.1	Εισαγωγή.....	83
5.2	Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα αεροσκάφη.....	85
5.3	Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας.....	94
5.4	Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους.....	99
5.5	Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων.....	105
5.5.1	<i>Εκπομπές λόγω κίνησης προς και από τον αερολιμένα.....</i>	105
5.5.2	<i>Εκπομπές λόγω στάσης και στάθμευσης στον αερολιμένα.....</i>	120
5.5.3	<i>Εκπομπές λόγω εξάτμισης ρύπων από τους κινητήρες των οχημάτων.....</i>	123
5.5.4	<i>Συνολικές εκπομπές από τα μέσα μετακίνησης.....</i>	124
5.6	Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τις σταθερές πηγές.....	125

5.6.1	Εκπομπές από τις εγκαταστάσεις θέρμανσης.....	125
5.6.2	Εκπομπές από τις εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης και τις γεννήτριες εκτάκτου ανάγκης.....	126
5.6.3	Εκπομπές από τους αποτεφρωτήρες.....	127
5.6.4	Εκπομπές από τις ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας.....	127
5.6.5	Εκπομπές από τις δοκιμές των κινητήρων των αεροσκαφών.....	127
5.6.6	Εκπομπές από πηγές έκθεσης στο περιβάλλον.....	130
5.6.7	Συνολικές εκπομπές από σταθερές πηγές.....	130
5.7	Συνολική εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.....	131
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		
6.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	133
6.2	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στην περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.....	137
6.3	Συνολικά συμπεράσματα.....	140
6.4	Προτάσεις.....	141
6.5	Περαιτέρω έρευνα.....	141
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....		

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1	Εκπομπές Ρύπων του Αερολιμένα της Φρανκφούρτης, ανά Πηγή Ρύπων, ως Ποσοστό των Συνολικών Εκπομπών του Αερολιμένα της Φρανκφούρτης για το Έτος 2000.....	20
Πίνακας 4.1	Εκπομπές από την Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	61
Πίνακας 4.2	Εκπομπές Οχημάτων λόγω Εξάτμισης Καυσίμων.....	66
Πίνακας 4.3	Σταθερές Πηγές Εκπομπών Αεροδρομίου.....	69
Πίνακας 4.4	Δείκτες Ελεύθερων Εκπομπών για Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης και Γεννήτριες Εκτάκτου Ανάγκης.....	72
Πίνακας 4.5	Δείκτες Ελεύθερων Εκπομπών των Καυσίμων που Χρησιμοποιούνται στις Ασκήσεις της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας.....	74
Πίνακας 4.6	Περιεκτικότητα Ουσιών Χρωματισμού και Επίχρισης σε Πτητικούς Υδρογονάνθρακες.....	77
Πίνακας 4.7	Πυκνότητες των Συνήθων Διαλυτικών Ουσιών.....	79
Πίνακας 4.8	Συγκεντρωτικός Πίνακας Μαθηματικών Σχέσεων Υπολογισμού Εκπομπών.....	82
Πίνακας 5.1	Δείγμα Ληφθέντων Δεδομένων από το UFIS του Αεροδρομίου.....	86
Πίνακας 5.2	Δείγμα Επεξεργασμένων Δεδομένων.....	87
Πίνακας 5.3	Δείγμα Δεδομένων Κατανάλωσης Καυσίμων και Δεικτών Εκπομπών NOx.....	89
Πίνακας 5.4	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Αεροσκάφη (τόνοι/έτος).....	94
Πίνακας 5.5	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Αεροσκάφη (κιλά/αεροπορική κίνηση).....	94
Πίνακας 5.6	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Αεροσκάφη (γραμμάρια/επιβάτη).....	94
Πίνακας 5.7	Δείγμα Ταξινόμησης Αεροσκαφών ανά Κατηγορία APU.....	95
Πίνακας 5.8	Δείκτες Εκπομπών και Κατανάλωσης Καυσίμου των Βοηθητικών Μονάδων Παροχής Ενέργειας.....	96
Πίνακας 5.9	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Βοηθητικές Μονάδες Παροχής Ενέργειας των Αεροσκαφών (τόνοι/έτος).....	99
Πίνακας 5.10	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Βοηθητικές Μονάδες Παροχής Ενέργειας των Αεροσκαφών (κιλά/αεροπορική κίνηση).....	99
Πίνακας 5.11	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Βοηθητικές Μονάδες Παροχής Ενέργειας των Αεροσκαφών (γραμμάρια/επιβάτη).....	99
Πίνακας 5.12	Μέσες Τιμές Κατανάλωσης Καυσίμου και Χρήσης του Εξοπλισμού Εδάφους.....	101
Πίνακας 5.13	Ετήσια Κατανάλωση Καυσίμου του Εξοπλισμού Εδάφους.....	102
Πίνακας 5.14	Δείκτες Εκπομπών του Εξοπλισμού Εδάφους.....	104
Πίνακας 5.15	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Οχήματα και τον Εξοπλισμό Εδάφους (τόνοι/έτος).....	104
Πίνακας 5.16	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Οχήματα και τον Εξοπλισμό Εδάφους (κιλά/αεροπορική κίνηση).....	104
Πίνακας 5.17	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Οχήματα και τον Εξοπλισμό Εδάφους (γραμμάρια/επιβάτη).....	105
Πίνακας 5.18	Δείγμα Αρχείου Διελεύσεων από τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.....	108
Πίνακας 5.19	Ετήσιος Αριθμός Διελεύσεων ανά Σημείο Ελέγχου.....	110
Πίνακας 5.20	Ετήσιος Αριθμός Διελεύσεων στις Κρίσιμες Διατομές Ελέγχου.....	110
Πίνακας 5.21	Αποστάσεις Ταξιδιού ανά Διαδρομή (σε μέτρα).....	112

Πίνακας 5.22	Δείγμα Ληφθέντων Δεδομένων από τη Διατομή 2 για τις Ταχύτητες των Οχημάτων.....	112
Πίνακας 5.23	Τιμές Ταχυτήτων ανά Τμήμα Διαδρομής (σε χιλιόμετρα/ώρα).....	113
Πίνακας 5.24	Ενδεικτικός Πίνακας Εκπομπών NOx από τα Επιβατικά Αυτοκίνητα ανά Τμήμα Διαδρομής (σε γραμμάρια ανά χιλιόμετρο).....	114
Πίνακας 5.25	Δείγμα του Βρετανικού Καταλόγου Δεικτών Εκπομπών Οχημάτων.....	115
Πίνακας 5.26	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων λόγω Κίνησης των Οδικών Μέσων Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (σε τόνους).....	116
Πίνακας 5.27	Δεδομένα Λειτουργίας του Προαστιακού Σιδηροδρόμου για τη Διαδρομή Σταθμός Κορωπίου – Αεροδρόμιο.....	119
Πίνακας 5.28	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Μέσα Σταθερής Τροχιάς (τόνοι/έτος).....	119
Πίνακας 5.29	Στοιχεία Στάθμευσης Επιβατών και Επισκεπτών.....	120
Πίνακας 5.30	Στοιχεία Στάθμευσης Επιβατών και Επισκεπτών.....	120
Πίνακας 5.31	Οχήματα που Στάθμευσαν στον Αερολιμένα κατά τα Έτη 2004 και 2005.....	122
Πίνακας 5.32	Μέση Διανυόμενη Απόσταση για τη Στάθμευση Οχήματος (σε m).....	122
Πίνακας 5.33	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων λόγω Στάθμευσης των Οδικών Μέσων Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (τόνοι/έτος).....	123
Πίνακας 5.34	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Μέσα Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (τόνοι/έτος).....	124
Πίνακας 5.35	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Μέσα Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (κιλά/αεροπορική κίνηση).....	124
Πίνακας 5.36	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Μέσα Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (γραμμάρια/επιβάτη).....	124
Πίνακας 5.37	Ετήσια Κατανάλωση Φυσικού Αερίου στον ΔΑΑ για Θέρμανση (σε κυβικά νιουτόμετρα).....	125
Πίνακας 5.38	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Εγκαταστάσεις Θέρμανσης (τόνοι/έτος).....	126
Πίνακας 5.39	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Ασκήσεις της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας (τόνοι/έτος).....	127
Πίνακας 5.40	Δείγμα Ληφθέντων Δεδομένων για τις Δοκιμές Κινητήρων Αεροσκαφών.....	129
Πίνακας 5.41	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Δοκιμές των Κινητήρων των Αεροσκαφών (τόνοι/έτος).....	130
Πίνακας 5.42	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από Σταθερές Πηγές (τόνοι/έτος).....	131
Πίνακας 5.43	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από Σταθερές Πηγές (κιλά/αεροπορική κίνηση).....	131
Πίνακας 5.44	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από Σταθερές Πηγές (γραμμάρια/επιβάτη).....	131
Πίνακας 5.45	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τη Λειτουργία του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών (τόνοι/έτος).....	132
Πίνακας 5.46	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τη Λειτουργία του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών (κιλά/αεροπορική κίνηση).....	132
Πίνακας 5.47	Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τη Λειτουργία του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών (γραμμάρια/επιβάτη).....	132

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΣΧΕΣΕΩΝ

Σχέση 4.1	Εκπομπές από τους Κινητήρες των Αεροσκαφών.....	54
Σχέση 4.2	Συνολικές Εκπομπές από τη Λειτουργία των Αεροσκαφών.....	54
Σχέση 4.3	Εκπομπές Βοηθητικής Μονάδας Ενέργειας Αεροσκάφους για ένα Κύκλο LTO.....	57
Σχέση 4.4	Εκπομπές Οχημάτων και Μηχανημάτων Εδάφους Συμβατικών και Εναλλακτικών Καυσίμων.....	59
Σχέση 4.5	Εκπομπές Εγκαταστάσεων Παροχής Ενέργειας για τη Λειτουργία Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων και Μηχανημάτων Εδάφους.....	60
Σχέση 4.6	Εκπομπές λόγω Καύσης των Μέσων Μετακίνησης.....	63
Σχέση 4.7	Εκπομπές λόγω Καύσης των Μέσων Μετακίνησης που βρίσκονται σε Αναμονή.....	64
Σχέση 4.8	Απώλειες Στροφαλοθάλαμου.....	66
Σχέση 4.9	Απώλειες Ανεφοδιασμού.....	67
Σχέση 4.10	Απώλειες Κίνησης.....	67
Σχέση 4.11	Απώλειες λόγω Θέρμανσης Κινητήρα.....	67
Σχέση 4.12	Ημερήσιες Απώλειες.....	68
Σχέση 4.13	Απώλειες Ηρεμίας.....	68
Σχέση 4.14	Συνολικές Εκπομπές Ρύπων για Σταθερές Πηγές Καύσης.....	70
Σχέση 4.15	Δείκτες Εκπομπών για Εγκαταστάσεις Θέρμανσης.....	70
Σχέση 4.16	Εκπομπές Ρύπων για Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης και Γεννήτριες Εκτάκτου Ανάγκης.....	71
Σχέση 4.17	Εκπομπές Ρύπων για Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης και Γεννήτριες Εκτάκτου Ανάγκης.....	71
Σχέση 4.18	Εκπομπές Ρύπων από Αποτεφρωτήρες.....	73
Σχέση 4.19	Εκπομπές από τις Ασκήσεις της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας.....	74
Σχέση 4.20	Εκπομπές από τις Δοκιμές Κινητήρων των Αεροσκαφών.....	75
Σχέση 4.21	Εκπομπές Υδρογονανθράκων από Δεξαμενές Καυσίμων.....	75
Σχέση 4.22	Εκπομπές Υδρογονανθράκων από Εργασίες Χρωματίσματος και Επίχρισης.....	76
Σχέση 4.23	Εκπομπές Υδρογονανθράκων από Εργασίες Αποπαγοποίησης.....	77
Σχέση 4.24	Εκπομπές Υδρογονανθράκων από τη Χρήση Διαλυτικών Ουσιών.....	78
Σχέση 4.25	Εκπομπές Στερεών Σωματιδίων από Σωρούς Άλατος και Αμμου.....	79
Σχέση 5.1	Εκπομπές από τη λειτουργία του κινητήρα αεροσκάφους.....	90
Σχέση 5.2	Ετήσιες εκπομπές από τη λειτουργία των βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας των αεροσκαφών.....	97
Σχέση 5.3	Ετήσια κατανάλωση καυσίμων από τη λειτουργία οχημάτων και μηχανημάτων της κατηγορίας j.....	101
Σχέση 5.4	Ετήσιες εκπομπές από τη λειτουργία οχημάτων και μηχανημάτων του εξοπλισμού εδάφους.....	102
Σχέση 5.5	Εκπομπές λόγω κίνησης των οχημάτων της κατηγορίας z προς το δεδομένο σημείο προορισμού.....	116

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1	Σύγχρονος Κινητός Σταθμός Περιβαλλοντικών Μετρήσεων.....	9
Εικόνα 2.2	Σταθερός Σταθμός Παρακολούθησης της Ποιότητας του Αέρα.....	13
Εικόνες 2.3	Σταθερός Σταθμός Παρακολούθησης της Ποιότητας του Αέρα.....	20
Εικόνες 2.4	Σταθερός Σταθμός Παρακολούθησης της Ποιότητας του Αέρα.....	20
Εικόνα 2.5	Εκπομπές Ρύπων Αεροσκαφών και Εξοπλισμού Εδάφους από Αεροδρόμια της Φινλανδίας.....	22
Εικόνα 3.1	Βοηθητική Μονάδα Παροχής Ενέργειας Αεροσκάφους.....	36
Εικόνα 3.2	Όχημα Μεταφοράς Πόσιμου Νερού.....	37
Εικόνα 3.3	Κινητή Γεννήτρια Εδάφους.....	38
Εικόνα 3.4	Ελκυστήρας Αεροσκαφών που Λειτουργεί με Φυσικό Αέριο.....	39
Εικόνα 3.5	Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης.....	42
Εικόνα 3.6	Εγκαταστάσεις Θέρμανσης.....	42
Εικόνα 3.7	Υπόστεγο Δοκιμών Κινητήρων Αεροσκαφών.....	44
Εικόνα 3.8	Εφαρμογή Υγρού Αποπαγοποίησης στα Φτερά Αεροσκάφους.....	46
Εικόνα 4.1	Επιβατικό Αεροσκάφος.....	50
Εικόνα 4.2	Εμπορικό Αεροσκάφος.....	50
Εικόνα 4.3	Αεροσκάφος Γενικής Αεροπλοΐας.....	51
Εικόνα 4.4	Αεροσκάφος επί Μισθώσει.....	51
Εικόνα 4.5	Αεροσκάφος της Πολεμικής Αεροπορίας.....	52
Εικόνα 4.6	Βοηθητική Μονάδα Εδάφους για την Παροχή Αέρα.....	56
Εικόνα 5.1	Γενικό Σχέδιο Ανάπτυξης του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.....	84
Εικόνες 5.2	Κτιριακές Εγκαταστάσεις Εταιριών Διαχείρισης Εξοπλισμού Εδάφους εντός της ιδιοκτησίας του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.....	100
Εικόνες 5.3	Κτιριακές Εγκαταστάσεις Εταιριών Διαχείρισης Εξοπλισμού Εδάφους εντός της ιδιοκτησίας του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.....	100
Εικόνα 5.4	Σημείο Έναρξης της Απογραφής Ρύπων από τα Μέσα Μετακίνησης.....	111
Εικόνα 5.5	Συρμός του Προαστιακού Σιδηροδρόμου στο Σταθμό του ΔΑΑ.....	118
Εικόνα 5.6	Χώρος Στάθμευσης Μακράς Διάρκειας του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.....	121

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 5.1	Διάγραμμα Ροής της Διαδικασίας Υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών από τα Αεροσκάφη.....	91
Γράφημα 5.2	Γραμμική Συσχέτιση Κινήσεων Αεροσκαφών και Εκπομπών NO _x (σε τόνους).....	92
Γράφημα 5.3	Λογαριθμική Συσχέτιση Κινήσεων Αεροσκαφών και Εκπομπών CO (σε τόνους).....	93
Γράφημα 5.4	Εκθετική Συσχέτιση Κινήσεων Αεροσκαφών και Εκπομπών HC _s (σε τόνους).....	93
Γράφημα 5.5	Διάγραμμα Ροής της Διαδικασίας Υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών από τις Βοηθητικές Μονάδες Παροχής Ενέργειας.....	98
Γράφημα 5.6	Διάγραμμα Ροής της Διαδικασίας Υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών από τα Οχήματα και τον Εξοπλισμό Εδάφους.....	103
Γράφημα 5.7	Διάγραμμα Ροής της Διαδικασίας Υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών λόγω Κίνησης των Οδικών Μέσων Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων.....	117
Γράφημα 6.1	Εκπομπές του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών για το Έτος 2004.....	134
Γράφημα 6.2	Εκπομπές του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών για το Έτος 2005.....	135
Γράφημα 6.3	Κατανομή των Εκπομπών του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών ανά Ρύπο για το Έτος 2004.....	139
Γράφημα 6.4	Κατανομή των Εκπομπών του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών ανά Ρύπο για το Έτος 2005.....	139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η ατμοσφαιρική ρύπανση από τις αερομεταφορές

Ο τομέας των μεταφορών αναπτύχθηκε σε μια κυρίαρχη βιομηχανία κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Πέρα από τα άμεσα οφέλη για όσους απασχολούνται στον τομέα αυτό, συνέβαλλε έντονα στην αύξηση της κοινωνικής ευημερίας, στην ταχύτερη ανάπτυξη, στην εξάπλωση του παγκόσμιου εμπορίου καθώς και στην προώθηση των ευκαιριών για ταξίδια και τουρισμό. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στις παγκόσμιες μεταφορές διαδραματίζει ο τομέας των αερομεταφορών.

Η πολιτική αεροπορία είναι ένας από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της παγκόσμιας οικονομίας, σημειώνοντας ετήσιους ρυθμούς ανάπτυξης της τάξεως του πέντε με εννέα τοις εκατό. Αυτή η διαρκής αύξηση της ζήτησης αεροπορικών ταξιδιών κατά τις τελευταίες δεκαετίες καθώς και η αντίστοιχη εξάπλωση αεροπορικών κινήσεων και αεροπορικών εγκαταστάσεων, έχουν προκαλέσει την έντονη ανησυχία της κοινής γνώμης για τις πιθανές επιπτώσεις των δραστηριοτήτων αυτών στο περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, με ιδιαίτερη έμφαση στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Παράλληλα, η συνεχής αύξηση του βιοτικού επιπέδου στις αναπτυσσόμενες και τις αναπτυγμένες χώρες, σε συνδυασμό με την τεχνολογική πρόοδο που επέτρεψε στον άνθρωπο να προσεγγίσει σε βάθος τους φυσικοχημικούς και βιολογικούς μηχανισμούς της φύσης και να

αντιληφθεί τις επιπτώσεις των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στο περιβάλλον, οδήγησαν στην ευαισθητοποίηση του ανθρώπου και τη δημιουργία περιβαλλοντικής συνειδήσεως.

Οι σύγχρονες συζητήσεις για τις αεροπορικές μεταφορές και το περιβάλλον εστιάζουν κυρίως στην παγκόσμια κλίμακα του φαινομένου και πλήθος ερευνών προσανατολίζονται στην καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών και των επιπλοκών της αεροπορικής κυκλοφορίας στην ατμόσφαιρα. Υπάρχει όμως και μια άλλη πλευρά του φαινομένου. Τα αεροδρόμια σε τοπικό επίπεδο συγκεντρώνουν ολοένα και περισσότερο την προσοχή, εξαιτίας των επιπτώσεων της αεροπορικής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή που τα περιβάλλει. Η κατανόηση του φαινομένου της ρύπανσης στη γειτονία του αεροδρομίου απασχολεί ένα μεγάλο πλήθος εμπλεκόμενων φορέων από μη κυβερνητικές οικολογικές οργανώσεις έως τους κατοίκους των γύρω περιοχών.

Οι τοπικές κοινωνίες φροντίζουν να πληροφορούνται σωστά και να ενημερώνονται συνεχώς για τις δραστηριότητες και τις επιπτώσεις των αεροδρομίων. Έχοντας συνειδητοποιήσει τη δύναμή τους και όντας πιο ενημερωμένες από ποτέ, εκφράζουν τις ανησυχίες τους, άλλοτε διαμαρτυρόμενες και άλλοτε προβάλλοντας ενστάσεις για τη λειτουργία, την επέκταση ακόμα και την κατασκευή αεροδρομίων.

Μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί για την ποιότητα του αέρα στις περιοχές γύρω από αεροδρόμια, έδειξαν ότι, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι ατμοσφαιρικοί ρύποι που εκπέμπονται από τα αεροδρόμια συνεισφέρουν πολύ λίγο στην ατμοσφαιρική ρύπανση των αστικών περιοχών που επηρεάζονται άμεσα από αυτά. Εντούτοις, έχει βρεθεί ότι σε ορισμένες περιοχές γύρω από αεροδρόμια οι συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ρύπων ξεπερνούν τα όρια ποιότητας της ατμόσφαιρας.

Μεγάλο μέρος του συνόλου των εκπεμπόμενων ρύπων στις περιοχές αυτές, όπως οι εκπομπές των οδικών μεταφορών, των βιομηχανιών και των οικιακών δραστηριοτήτων μειώνονται συνέχεια χάρη στα αυστηρά όρια ποιότητας του αέρα που εφαρμόζονται στις αναπτυγμένες χώρες. Αντιθέτως, οι απόλυτες τιμές των εκπομπών από τις αερομεταφορές αυξάνονται συστηματικά, εξαιτίας της σταθερής αύξησης της ζήτησης, που προκαλεί περισσότερες κινήσεις αεροσκαφών στα αεροδρόμια. Οι βελτιώσεις, τεχνολογικές και λειτουργικές, που έχουν εφαρμοστεί στις αεροπορικές μεταφορές για τον περιορισμό των εκπομπών, αδυνατούν να ακολουθήσουν την αύξηση των αεροπορικών κινήσεων, η οποία πραγματοποιείται με πολύ ταχύτερους ρυθμούς. Έτσι παρά τις σχετικές μειώσεις εκπομπών, που παρατηρούνται στα αεροσκάφη σε μικροκλίμακα, οι ολικές παραγόμενες εκπομπές από τα αεροδρόμια αυξάνονται. Εξαιτίας αυτής της αύξουσας συνεισφοράς των αεροδρομίων στην παγκόσμια ρύπανση κι επίσης του γεγονότος ότι η αεροπλοΐα μέχρι σήμερα έχει προσφέρει λίγα στις συνολικές προσπάθειες για τη μείωση των ατμοσφαιρικών εκπομπών, τα αρμόδια όργανα της πολιτείας αυξάνουν τις ασκούμενες πιέσεις στις εταιρίες λειτουργίας των αεροδρομίων.

Από όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι το ζήτημα της ρύπανσης που προκαλείται από τα αεροδρόμια, λαμβάνει όλο και μεγαλύτερες διαστάσεις, εμπλέκοντας όλο και μεγαλύτερο πλήθος ενδιαφερόμενων. Στόχος όλων όσων εμπλέκονται είναι η κατανόηση σε βάθος των σχετικών θεμάτων, ώστε να γίνει εφικτή η εφαρμογή αποτελεσματικών και οικονομικά βιώσιμων μέτρων περιορισμού της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τουλάχιστον σε τέτοιο βαθμό που να συμβαδίζει με την ταχύτατη ανάπτυξη του τομέα των αερομεταφορών.

1.2 Αντικείμενο και στόχος της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η εφαρμογή προτεινόμενης μεθοδολογίας για την ποσοτική εκτίμηση των αερίων ρύπων που προκαλούνται από τη λειτουργία των αεροδρομίων. Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται έχει εφαρμοστεί τμηματικά σε πληθώρα περιπτώσεων παγκοσμίως για την εκτίμηση μόνο επιμέρους εκπομπών, οι οποίες αποτελούν υποδιαιρέσεις του συνόλου των παραγόμενων ρύπων από τη λειτουργία αεροδρομίου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία συγκεντρώνονται και εξετάζονται ως σύνολο οι μέθοδοι υπολογισμού εκπομπών που εφαρμόζονται σε κάθε επιμέρους πηγή ρύπανσης ενός αεροδρομίου, για να αποτελέσουν μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία εκτίμησης των ατμοσφαιρικών εκπομπών από τη λειτουργία αεροδρομίου.

Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αρχικά εντοπισμός και καταγραφή των διαφορετικών πηγών που συνεισφέρουν στις παραγόμενες εκπομπές αερίων ρύπων από τις λειτουργίες του αεροδρομίου. Προσεγγίζονται αναλυτικά και μεμονωμένα η καθεμία, ώστε να γίνουν πιο αντιληπτοί οι μηχανισμοί της ρύπανσης. Στη συνέχεια αθροίζονται, ώστε να δώσουν το συνολικό μέγεθος των παραγόμενων εκπομπών, που αποτελεί μάλιστα το σημείο αναφοράς όλων των ενδιαφερόμενων φορέων (αεροπορικών εταιριών, υπηρεσιών και διοίκησης του αεροδρομίου, κατοίκων της γύρω περιοχής, οργανισμών κυβερνητικών και μη). Η ανωτέρω διαμορφωμένη διαδικασία εφαρμόζεται για την περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος». Γίνεται χρήση πραγματικών στοιχείων προηγούμενων ετών, με σκοπό να προκύψουν ωφέλιμα συμπεράσματα και ακόμη να γίνει πιο απτή η διαδικασία και η χρησιμότητά της.

Κύριος στόχος είναι η κατηγοριοποίηση και η καταγραφή των επιμέρους πηγών ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη λειτουργία αεροδρομίων και η ανάπτυξη μίας περιεκτικής μεθοδολογίας για την ολοκληρωμένη εκτίμηση των περιβαλλοντικών εκπομπών που εμπίπτουν στην κατηγορία αυτή. Επίσης, σημαντικό στόχο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η παρουσίαση της προτεινόμενης μεθοδολογίας και η ανάδειξη της χρησιμότητάς της μέσω της εφαρμογής αυτής για την περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.

Η παρούσα εργασία μπορεί να προσφέρει χρήσιμες γνώσεις για τη διαχείριση του φαινομένου της ρύπανσης, διευκολύνοντας στη λήψη αποφάσεων που αφορούν στη λειτουργία ενός αεροδρομίου και στην εφαρμογή μέτρων περιορισμού της ρύπανσης.

1.3 Η δομή της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία δομείται σε έξι κεφάλαια, τα οποία έχουν ως εξής:

- **Κεφάλαιο 1^ο – Εισαγωγή**

Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί τη βάση για την κατανόηση του αντικειμένου της εργασίας. Ξεκινά με μία γενική ανασκόπηση του πλαισίου των αερομεταφορών στο οποίο υπάγεται το αντικείμενο της εργασίας. Από αυτήν αναδεικνύεται σταδιακά η ανάγκη μελέτης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αεροδρόμια και προκύπτουν οι στόχοι της εργασίας. Τέλος, παρατίθεται μια συνοπτική περιγραφή των κεφαλαίων της εργασίας για να διευκολύνει τον αναγνώστη να κατανοήσει και να παρακολουθήσει καλύτερα τη ροή του κειμένου που ακολουθεί.

- **Κεφάλαιο 2^ο – Βιβλιογραφική ανασκόπηση**

Στο 2^ο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρονται και περιγράφονται συνοπτικά οι σχετικές προσπάθειες για την εκτίμηση των εκπομπών αερίων ρύπων που προκαλούνται από τη λειτουργία των αεροδρομίων που έχουν πραγματοποιηθεί έως σήμερα. Επίσης παρουσιάζονται συνοπτικά συναφείς μεθοδολογίες που έχουν επινοηθεί για την εκτίμηση ατμοσφαιρικών εκπομπών και είτε έχουν εφαρμοστεί στην πράξη είτε έχουν παραμείνει σε θεωρητικό στάδιο. Από τα παραπάνω προκύπτει η αναγκαιότητα του αντικειμένου της διπλωματικής εργασίας και αιτιολογείται η επιλογή της μεθοδολογίας που προτείνεται.

- **Κεφάλαιο 3^ο – Πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα αεροδρόμια**

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια πλήρης περιγραφή του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλεται στη λειτουργία των αεροδρομίων. Καταγράφονται οι ρύποι που παράγονται και γίνεται μια εκτενής παρουσίαση των επιπτώσεων αυτών στη δημόσια υγεία. Εν συνεχεία, περιγράφονται οι διάφορες πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε αεροδρόμιο και αναφέρονται οι μηχανισμοί δημιουργίας του εκάστοτε ρύπου για κάθε πηγή ξεχωριστά.

- **Κεφάλαιο 4^ο – Μεθοδολογικό πλαίσιο**

Το 4^ο κεφάλαιο αποτελεί πλήρη περιγραφή του μεθοδολογικού πλαισίου, στο οποίο θα στηριχθεί η εκτίμηση των ατμοσφαιρικών εκπομπών ανά πηγή ρύπου. Ξεκινά με την παρουσίαση της διαδικασίας ανάκτησης των δεδομένων και έπειτα περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που θα εφαρμοστεί σε κάθε περίπτωση για την ποσοτική εκτίμηση των εκπομπών από αληθινά στοιχεία. Στο τέλος καταγράφεται η μέθοδος μετάθεσης των

αποτελεσμάτων σε κοινή βάση και η άθροιση των ολικών τιμών, ώστε να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα με ευκολία και ακρίβεια.

- **Κεφάλαιο 5^ο – Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων για την περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών «ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ»**

Στο 5^ο κεφάλαιο εφαρμόζεται η ανωτέρω αναφερθείσα μεθοδολογία, για την ποσοτική εκτίμηση των ατμοσφαιρικών εκπομπών που οφείλονται στη λειτουργία του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών. Καθώς η προέλευση των ρύπων ποικίλλει και η μορφή των δεδομένων από κάθε πηγή διαφέρει, κάθε περίπτωση προσεγγίζεται ξεχωριστά και με ιδιαίτερα προσαρμοσμένη μεθοδολογία. Οι εκπομπές ρύπων υπολογίζονται για κάθε μία πηγή και καταλήγοντας, αθροίζονται ώστε να διευκολύνουν την εξαγωγή καθολικών συμπερασμάτων.

- **Κεφάλαιο 6^ο – Συμπεράσματα**

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται οι στόχοι, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας. Πραγματοποιείται, με βάση τα αποτελέσματα και την ερμηνεία τους, η αξιολόγηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε γενικές γραμμές και πιο συγκεκριμένα η εφαρμογή της στην περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών. Τέλος, διατυπώνονται απόψεις για περαιτέρω έρευνα και επέκταση της διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της παρούσας προσπάθειας κ. Δημήτριο Α. Τσαμπούλα, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την πολύτιμη καθοδήγηση που μου παρείχε σε όλα τα βήματα της έρευνας και για την εξαιρετική συνεργασία, μέσω της οποίας μου δόθηκε η ευκαιρία να αναπτύξω πρωτοβουλίες χωρίς στιγμή να νιώσω ότι έπαψα να έχω την πλήρη στήριξή του στις αποφάσεις μου.

Σημαντική βοήθεια για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσαν οι συμβουλές και οι εύστοχες υποδείξεις :

Του κ. Αντωνίου Σταθόπουλου, Καθηγητή του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Του κ. Αθανασίου Μπαλλή, Επίκουρου Καθηγητή του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Της κα. Αγγελικής Κοψαχείλη, Πολιτικού Μηχανικού – Συγκοινωνιολόγου, Ερευνήτριας του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

Επίσης, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους εργαζόμενους της εταιρίας του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, και κυρίως στο προσωπικό του περιβαλλοντικού τμήματος, που συνέβαλλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας. Ιδιαίτερα, θέλω να αναγνωρίσω την προσφορά του Διευθυντή του περιβαλλοντικού τμήματος Δρ. Παναγιώτη Καραμάνου, ο οποίος μου επέτρεψε να συνεργαστώ με το τμήμα και με υποδέχτηκε ως ένα ακόμα μέλος της ερευνητικής ομάδας καθώς και των αναλυτών του τμήματος κα. Αναματερού Ευδοκίας και κ. O'Connor Michael, χωρίς την αποκλειστική συνεισφορά των οποίων θα ήταν αδύνατη η αποπεράτωση της εργασίας αυτής.

Τέλος, οφείλονται ευχαριστίες:

Στον κ. Π. Ρουσσέα, ε.χ. Διευθυντή της Διεύθυνσης Έλξης του Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδος, για τη διάθεση των απαραίτητων στοιχείων που αφορούν στη λειτουργία του Προαστιακού Σιδηρόδρομου

Στον κ. Κ. Κοτρώτσο, Σύμβουλο Μηχανικό της εταιρίας ARIEXPO Engineering S.A., για την παροχή στοιχείων σχετικά με τις εκπομπές του Προαστιακού Σιδηρόδρομου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Συναφείς έρευνες για την ατμοσφαιρική ρύπανση από τις αερομεταφορές

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία των αεροδρομίων έχουν γίνει αντικείμενο ερευνών από τη δεκαετία του 60, οπότε εκδηλώθηκαν οι πρώτες αντιδράσεις για τις συνέπειες της αεροπορικής δραστηριότητας. Το πρώτο θέμα που απασχόλησε την κοινή γνώμη ήταν η ηχητική όχληση από τη λειτουργία των αεροσκαφών. Η ηχορύπανση αποτελεί την ευκολότερα αντιληπτή μορφή ρύπανσης από τις αερομεταφορές. Για το λόγο αυτό, οι περισσότερες έρευνες έχουν στραφεί προς την εκτίμηση και αντιμετώπιση της ηχητικής ρύπανσης που παράγεται από τα αεροδρόμια. Η ταχεία όμως έξαρση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε παγκόσμια κλίμακα, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη του οικολογικού κινήματος και τη θέσπιση εθνικών και διεθνών κανονισμών και προτύπων για την ποιότητα του αέρα, μετατόπισαν κατά τις 2 τελευταίες δεκαετίες το κέντρο του ενδιαφέροντος στις επιπτώσεις των αεροδρομίων στην ατμόσφαιρα.

Ιδιαίτερα γνωστές είναι οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί για το διεθνές αεροδρόμιο Χήθροου στο Λονδίνο. Ο Nichols και η επιστημονική του ομάδα (Nichols et al., 1981), στηριζόμενοι σε παρόμοιες μελέτες για το αεροδρόμιο J.F.Kennedy της Νέας Υόρκης, το διεθνές αεροδρόμιο του Λος Άντζελες και το διεθνές αεροδρόμιο της Οσάκα, πραγματοποίησαν κατά τα έτη 1974 και 1976, μια σειρά μετρήσεων των συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικών ρύπων στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου του Χήθροου. Στόχος τους ήταν η αξιολόγηση των επιπτώσεων του αεροδρομίου στην ποιότητα του αέρα και η καταγραφή της συνεισφοράς αυτού στην ατμοσφαιρική ρύπανση της περιοχής.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήσαν μετρήσεις σε οκτώ περιοχές, εκ των οποίων οι μισές βρίσκονταν κοντά στην περίμετρο του αεροδρομίου, ενώ οι υπόλοιπες ήταν διασκορπισμένες στις γύρω κατοικημένες περιοχές. Οι μετρήσεις διεξήχθησαν με τη βοήθεια ενός κινητού εργαστηρίου, που περιείχε τον απαραίτητο εξοπλισμό και κατέγραφε τις τιμές των συγκεντρώσεων υδρογονανθράκων, μεθανίου, υδρογονανθράκων άνευ μεθανίου, μονοξειδίου του άνθρακα και μολύβδου. Στην εικόνα 2.1 παρουσιάζεται ένας σύγχρονος κινητό εργαστήριο το οποίο περιέχει εξοπλισμό παρόμοιο με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε τότε. Οι τιμές που μετρήθηκαν ήταν, στην πλειονοψηφία τους, πολύ κοντά σε αυτές μιας αστικής περιοχής, όμως δεν κατορθώθηκε να διακριθεί το ποσοστό αυτών, το οποίο οφειλόταν στη λειτουργία του αεροδρομίου. Για την ακριβή εκτίμηση των εκπομπών του αεροδρομίου κρίθηκε απαραίτητη από τους ερευνητές η κατάστρωση μητρώου πηγών εκπομπών.



**Εικόνα 2.1 : Σύγχρονος Κινητός Σταθμός
Περιβαλλοντικών Μετρήσεων
(Πηγή: Munich International Airport)**

Σε μια πιο πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε για το αεροδρόμιο του Χήθρου, οι Farias και Arsimon (2005), χρησιμοποιώντας ως δείκτη τις τιμές συγκεντρώσεων των οξειδίων του αζώτου, επιχείρησαν την εκτίμηση των εκπεμπόμενων ρύπων από τη λειτουργία του αεροδρομίου και τη μοντελοποίηση της διασποράς αυτών στην ατμόσφαιρα. Σκοπός τους ήταν η διάκριση των εκπομπών από το αεροδρόμιο και την κυκλοφορία των οχημάτων στην περιοχή του δυτικού Λονδίνου κι επίσης η καταγραφή της κατανομής των ρύπων στο επίπεδο του εδάφους.

Η έρευνα βασίστηκε στο μητρώο εκπομπών που καταστρώθηκε από τη διεύθυνση του αεροδρομίου και περιείχε τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου από τα αεροσκάφη, από τα οχήματα που κυκλοφορούσαν στο οδικό δίκτυο εντός και εκτός του χώρου του αεροδρομίου, το μηχανικό εξοπλισμό του αεροδρομίου και τις σταθερές πηγές. Για την εκτίμηση της κατανομής της

ρύπανσης, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο διασποράς ADMS-Urban. Ως στοιχεία εισόδου χρησιμοποιήθηκαν οι πηγές εκπομπών σε τρισδιάστατη κατανομή και έπειτα το μοντέλο τροφοδοτήθηκε με το μητρώο των εκπομπών. Ταυτόχρονα, για να επιτευχθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου και η διάκριση των πηγών των εκπομπών, μετρήθηκαν σε προεγκατεστημένο σταθμό οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου.

Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάστηκαν με τη μορφή χαρτών της περιοχής, όπου διαφαινόταν η κατανομή της ρύπανσης, και γραφημάτων ποσοστιαίας συνεισφοράς των διαφόρων πηγών. Εξαιτίας της ασυμβατότητας των τιμών που μετρήθηκαν με τις τιμές που προέκυψαν από το μοντέλο, η διαδικασία επανεξετάστηκε και πραγματοποιήθηκε έλεγχος σφαλμάτων, ώστε να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για τη σωστή εφαρμογή της επιλεγείσας μεθοδολογίας.

Ο Olivier Herz (1993) πραγματοποίησε την καταγραφή των κυριότερων ατμοσφαιρικών ρύπων από επιλεγμένα διεθνή αεροδρόμια σε σύγκριση με τις εκπομπές άλλων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Βασιζόμενος κυρίως σε στοιχεία αεροδρομίων της Γαλλίας και των Ηνωμένων Πολιτειών, κατέληξε σε προκαταρκτικές εκτιμήσεις της συνεισφοράς των αεροδρομίων στη ρύπανση του αέρα για κάθε κατηγορία ρύπου. Βάσει αυτών εξέτασε την εξέλιξη του παγκόσμιου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος και δικαιολόγησε την τοποθέτηση των αεροδρομίων στο επίκεντρο της προσοχής. Τέλος, στην έρευνα του πρότεινε γενικές κατευθύνσεις για την παρακολούθηση και την αντιμετώπιση του φαινομένου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αεροδρόμια.

Μια παρόμοια προσπάθεια πραγματοποιήθηκε από τον Janic (1999), ο οποίος στην έρευνά του πραγματεύεται αναλυτικά τις περιβαλλοντικές συνέπειες των αερομεταφορών. Χωρίς να υπεισέρχεται σε αναλυτικούς υπολογισμούς των παραγόμενων ρύπων, περιγράφει με πλήρη τρόπο όλους τους τομείς των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία των αεροδρομίων, σκιαγραφώντας έτσι το πλαίσιο εργασίας για την αντιμετώπιση του συνολικού φαινομένου.

Στον τομέα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εστιάζει στην κατανάλωση του καυσίμου και τους μηχανισμούς δημιουργίας των διαφόρων ρύπων με βάση τις αρχές λειτουργίας των κινητήρων. Παρουσιάζει τους φυσικοχημικούς μηχανισμούς που διέπουν την εξέλιξη της ρύπανσης και οδηγούν στη γένεση περιβαλλοντικών προβλημάτων παγκόσμιας κλίμακας, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η εργασία του παρά το γεγονός ότι δεν έχει απευθείας αναφορές σε συγκεκριμένες μεθοδολογίες υπολογισμού, δίνει κάποιες χρήσιμες κατευθύνσεις για τη διερεύνηση των πηγών των ρύπων και οδηγεί στην καλύτερη κατανόηση των υφιστάμενων περιβαλλοντικών μηχανισμών.

Μια ακόμη αξιολογη έρευνα διεξήχθη από τους Clark et al. (1983). Συλλέγοντας στοιχεία μετρήσεων από πληθώρα διεθνών αεροδρομίων (Λος Άντζελες, Ουάσιγκτον, Γκάτγουικ, Στάνστεντ, κ.ά.), κατάφεραν να κάνουν μια στατιστική καταγραφή των ρύπων που εκπέμπονται

από πηγές εντός αυτών. Στη συνέχεια μελέτησαν τη συμπεριφορά καθενός από τους κυριότερους ατμοσφαιρικούς ρύπους και εντόπισαν τα τμήματα του αεροδρομίου όπου παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις ανά ρύπο. Διεξάγοντας μια έρευνα με προετοιμασμένα δεδομένα, πέτυχαν τον εντοπισμό των περιβαλλοντικά κρίσιμων σημείων κάθε αεροδρομίου, διευκολύνοντας με τη διαπίστωση τους αυτή, τους ελέγχους οριακών τιμών συγκεντρώσεων στους χώρους των αεροδρομίων.

Το συμπέρασμα που προέκυψε από την εργασία της ομάδας του Clark, ήταν ότι στις περισσότερες περιπτώσεις παραβίασης των περιβαλλοντικών ορίων από τη λειτουργία των αεροδρομίων, ήταν πολύ σημαντική η συνεισφορά των προσερχόμενων οχημάτων. Μάλιστα στις περιπτώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα, των οξειδίων του αζώτου και των αιωρούμενων σωματιδίων, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις εντοπίστηκαν στη γειτονία των κτιρίων του αεροσταθμού, εξαιτίας του υψηλού επιπέδου κυκλοφοριακής δραστηριότητας. Επομένως, κρίθηκε απαραίτητη η μελέτη όχι μόνο των αεροσκαφών, αλλά και όλων των πηγών εκπομπών εντός ή γύρω από το χώρο ενός αεροδρομίου, για την ολοκληρωμένη εκτίμηση των ρύπων που παράγονται απ' αυτό.

Στον τομέα αυτό αναφέρεται η εργασία των Peace et al (2005), οι οποίοι με αφετηρία το αεροδρόμιο του Μάντσεστερ, μελετούν τη συνεισφορά των διαφόρων πηγών ρύπων στο σύνολο των εκπομπών ενός αεροδρομίου. Χρησιμοποιώντας ως ενδεικτικό ρύπο τα οξείδια του αζώτου, το όριο των οποίων υπερβαίνεται στο συγκεκριμένο αεροδρόμιο, επιχειρούν την χωρική αποτύπωση των συγκεντρώσεων με τη βοήθεια του μοντέλου διασποράς ADMS-Urban. Η μεθοδολογία που ακολουθούν υπογραμμίζει τη θεώρηση του αεροδρομίου όχι ως μια ενιαία πηγή ρύπων, αλλά ως άθροισμα περισσότερων σημειακών, γραμμικών και χωρικών πηγών.

Το μοντέλο διασποράς τροφοδοτείται με στοιχεία από 5 κατηγορίες ρύπων: Την πτήση των αεροσκαφών σε ύψος από 0 έως 200 μέτρα, την πτήση των αεροσκαφών από 200 έως 1000 μέτρα, τις κινήσεις επίγειων οχημάτων, άλλες πηγές του αεροδρομίου και τέλος πηγές που δε συνδέονται άμεσα με το αεροδρόμιο. Οι τιμές που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου συγκρίνονται έπειτα με τις μετρήσεις σταθμών κοντά στο αεροδρόμιο και αναλύονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

Στη δεδομένη περίπτωση το μοντέλο έκανε υπερεκτίμηση των πραγματικών δεδομένων, αλλά και στις δύο περιπτώσεις (στην προσομοίωση και στις μετρηθείσες τιμές) παρατηρήθηκαν πολλές υπερβάσεις του ορίου, μάλιστα με αυξανόμενες τιμές όσο πλησιάζουμε στις θέσεις στάθμευσης των αεροσκαφών. Η ασυμβατότητα των αποτελεσμάτων, παρά τον υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης, οφείλεται στις αβεβαιότητες που υπάρχουν για τα δεδομένα των εκπομπών, την απόδοση του μοντέλου και τα σφάλματα των μετρήσεων στις πραγματικές τιμές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, υποδεικνύουν την ανάγκη για λεπτομερή διερεύνηση των συνιστωσών της ρύπανσης με αληθινά δεδομένα και επαληθεύουν τη σημασία της αντιμετώπισης της ως άθροισμα πολλών ξεχωριστών πηγών.

Η ανάγκη για πρόβλεψη των επιπτώσεων από τη μελλοντική λειτουργία ενός αεροδρομίου έχει κατά περιπτώσεις αποτελέσει το κίνητρο για τη διερεύνηση της επίδρασης των αεροδρομίων στην ποιότητα του αέρα. Σε μια από αυτές τις περιπτώσεις οι Moussiopoulos et al. (1997) προσπάθησαν να προβλέψουν την επίπτωση του νέου Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών στις γύρω αγροτικές περιοχές. Αντικείμενο τους δεν ήταν μόνο οι επιπτώσεις στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου, αλλά και στην πόλη των Αθηνών, λόγω φαινομένων διασποράς και μετάθεσης των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Για την πληρέστερη απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης, εξετάστηκαν δύο σενάρια, τα οποία συγκρίθηκαν έπειτα για να διευκολύνουν στη λήψη αποφάσεων. Το πρώτο ήταν το προϋπάρχον σενάριο της λειτουργίας του αερολιμένα Αθηνών στην παλιά του θέση (στην αστική περιοχή του Ελληνικού) ενώ το δεύτερο περιλάμβανε τη λειτουργία του νέου αερολιμένα (στην αγροτική περιοχή των Σπάτων).

Μετά την τοπογραφική εξέταση της ευρύτερης περιοχής του νομού Αττικής, ακολούθησε η εξέταση των υφιστάμενων κλιματολογικών και μετεωρολογικών συνθηκών. Έπειτα, έγινε η πρόβλεψη των παραγόμενων εκπομπών από τη λειτουργία του νέου αεροδρομίου με βάση στοιχεία μελλοντικών κινήσεων. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την εφαρμογή υπολογιστικών μοντέλων για τον άνεμο και τη διασπορά των ρύπων (Mesoscale Model – MEMO), για την τρισδιάστατη διάχυση των ρύπων (model MARS) και τον προσδιορισμό των αντιδρώντων ρύπων (model MUSE). Έτσι κατέληξαν στη χωρική κατανομή των ρύπων κατά τη διάρκεια της ημέρας, για τα δυο σενάρια που λήφθηκαν υπόψη.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, προέκυψε το συμπέρασμα ότι η επίπτωση του αεροδρομίου στην ατμόσφαιρα της πόλης των Αθηνών, θα είναι αμελητέα, λόγω των υψηλών επιπέδων ρύπανσης που επικρατούν σε αυτήν. Βέβαια, για το αγροτικό περιβάλλον της πεδιάδας των Σπάτων, η επιβάρυνση θα είναι σημαντική και μπορεί να φτάσει μέχρι και σε διπλασιασμό των συγκεντρώσεων κρίσιμων ρύπων, χωρίς όμως να γίνει υπέρβαση των ορίων ποιότητας του αέρα. Τέλος, η μεταφορά του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών από το κέντρο στην ύπαιθρο, αναμένεται να έχει θετικά περιβαλλοντικά αποτελέσματα για το λεκανοπέδιο Αττικής.

Η χρήση μοντέλων διασποράς ρύπων, όπως αποδείχθηκε, μπορεί να οδηγήσει σε πολύ σημαντικά συμπεράσματα. Αν μάλιστα τροφοδοτηθούν με πραγματικά δεδομένα, η προκύπτουσα εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης θα προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματικότητα.

Μια νέα μεθοδολογία για τη διασπορά των ρύπων, αλλά και τον εντοπισμό πηγών εκπομπών στα αεροδρόμια, αναπτύχθηκε το 2004 από τους Yu et al. Αντικείμενα εφαρμογής της μεθοδολογίας ήταν το Διεθνές Αεροδρόμιο του Λος Άντζελες και το Διεθνές Αεροδρόμιο του Χονγκ Κονγκ. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από μετρήσεις σταθμών των δύο αεροδρομίων (στην εικόνα 2.2 παρουσιάζεται ένας σταθμός μέτρησης ρύπων αυτής της κατηγορίας). Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν μη παραμετρική συσχέτιση των δεδομένων για την πρόβλεψη των αγνώστων τιμών. Έτσι, γνωρίζοντας τις ωριαίες συγκεντρώσεις των ρύπων στους σταθμούς μέτρησης και τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής, κατάφεραν να

προσδιορίσουν τη διασπορά των ρύπων στις περιοχές γύρω από τα αεροδρόμια, χωρίς τη χρήση γνωστών συναρτήσεων ή στατιστικών κατανομών.



Εικόνα 2.2 : Σταθερός Σταθμός Παρακολούθησης της Ποιότητας του Αέρα (Πηγή: 2001 New Tokyo International Airport Environmental Report)

Από τη διασπορά των ρύπων και τη λεπτομερή εξέταση των χαρτών των συγκεντρώσεων, προέκυψε ακόμη το συμπέρασμα ότι το διοξείδιο του θείου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση πηγών εκπομπών, καθώς οι τιμές του στο χώρο, προσδιόριζαν με μεγάλη ακρίβεια τις θέσεις λειτουργίας των αεροσκαφών.

Με τη διασπορά των ρύπων ασχολήθηκαν εκτενώς και οι UNAL et al. (2005), εστιάζοντας στα αιωρούμενα σωματίδια και το όζον, τα οποία δεν έχουν αποτελέσει συχνά αντικείμενο μελέτης. Εφαρμόζοντας δύο διαφορετικές μεθοδολογίες για την περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα της Ατλάντα, εξέτασαν πέντε σενάρια εκπομπών και συνέκριναν τα αποτελέσματα.

Επεκτείνοντας το έργο προγενέστερων μελετών, κατασκεύασαν μητρώα εκπομπών για τα αεροσκάφη και τα οχήματα εξοπλισμού και τοποθέτησαν τα δεδομένα αυτά σε μια έκδοση του λογισμικού EDMS (Emissions and Dispersion Modeling System), ειδικά διαμορφωμένη για την εκτίμηση εκπομπών σωματιδίων και όζοντος. Για τη διασπορά των ρύπων, διέκριναν δύο διαφορετικές θεωρήσεις: Αναγωγή των ρύπων σε επίπεδο εδάφους και διασπορά καθ' ύψος των ρύπων ανάλογα με τη φάση εκπομπής αυτών. Στην πρώτη περίπτωση οι συγκεντρώσεις που υπολογίστηκαν ήταν μεγαλύτερες και είχαν μικρότερη εξάπλωση στο χώρο, ενώ στη δεύτερη, λόγω του ύψους παραγωγής των ρύπων, υπήρχε μεγάλη διασπορά και μικρότερες συγκεντρώσεις στο επίπεδο εδάφους.

Μετά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων, κατέληξαν στο γενικό συμπέρασμα ότι τα μηχανήματα εξοπλισμού εδάφους συνεισφέρουν στη ρύπανση του αεροδρομίου, αλλά σε

μικρότερο βαθμό από τα αεροσκάφη και έχουν πιο περιορισμένο εύρος εκπομπών. Ακόμη, η πρώτη θεώρηση για τη διασπορά των ρύπων εξάγει τιμές που ξεπερνούν κατά πολύ αυτές της γύρω περιοχής, ενώ με τη δεύτερη οι τιμές που υπολογίζονται βρίσκονται κοντά στις μετρηθείσες. Παρά τη σωστή εφαρμογή της μεθοδολογίας για την εκτίμηση των ρύπων και τη διασπορά αυτών, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αβέβαια, λόγω της εφαρμογής της μεθόδου σε περιορισμένο χρονικό ορίζοντα (η έρευνα αφορά σε ένα έκτακτο περιβαλλοντικό επεισόδιο διάρκειας δέκα ημερών).

Μια σημαντική έννοια, που μελετάται τα τελευταία χρόνια στα πλαίσια της ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τα αεροδρόμια, είναι αυτή της περιβαλλοντικής χωρητικότητας. Τρεις δεκαετίες πριν είχε αρχίσει να διαφαίνεται η προοπτική ότι οι περιβαλλοντικοί περιορισμοί θα αποτελέσουν εμπόδιο στην αύξηση της χωρητικότητας ενός αεροδρομίου. Μια αρχική προσέγγιση του προβλήματος έγινε το 1974 από τον Terry Ferrar, ο οποίος σκιαγράφησε τις δράσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν από τη διεύθυνση ενός αεροδρομίου και τις αεροπορικές εταιρίες για την εξασφάλιση της λειτουργίας του αεροδρομίου υπό περιβαλλοντικούς περιορισμούς. Με τη χρήση μεθόδων γραμμικού προγραμματισμού θα μπορούσαν να βρεθούν λύσεις που να βελτιστοποιούν την χωρητικότητα με κάποιες δεσμεύσεις για την εκπεμπόμενη ρύπανση. Στο μοντέλο που πρότεινε, ήταν χαρακτηριστική η έκφραση όλων των εμπλεκόμενων όρων σε νομισματικές μονάδες, προκειμένου να κοστολογηθούν οι απαιτούμενες δράσεις και να γίνει βελτιστοποίηση με τη μορφή ανάλυσης κόστους-ωφελειών.

Μια διαφορετική προσέγγιση εξέφρασαν οι μέτοχοι και οι φορείς αεροδρομίων, αεροπορικών εταιριών και παροχών υπηρεσιών αεροπλοΐας, στην έρευνα που διεξήχθη από την EUROCONTROL το 2004. Οι ορισμοί, τους οποίους ζητήθηκαν να δώσουν οι εμπλεκόμενοι φορείς, παρά την έλλειψη ομοφωνίας, συνοψίζονται ως εξής: Περιβαλλοντική χωρητικότητα είναι ο όγκος των αεροπορικών κινήσεων, όπως αυτός περιορίζεται από τις τρέχουσες λειτουργικές απαιτήσεις και την κοινωνική και περιβαλλοντική ανεκτικότητα της άμεσης γειτονίας του αεροδρομίου, σε ισορροπία με τη βέλτιστη οικονομική λειτουργία αυτού. Στη συνεδρίαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβαλλοντικών Στρατηγικών (European Environmental Strategy Committee), την αναγνώριση του προβλήματος ακολούθησε σειρά προτάσεων για τη βέλτιστη διαχείριση της περιβαλλοντικής χωρητικότητας των αεροδρομίων. Επίσης εκπρόσωποι πέντε μεγάλων ευρωπαϊκών αεροδρομίων συνήλθαν σε συνεδρίαση με εκπροσώπους αεροπορικών εταιριών και μετόχους για να εξετάσουν την πιθανότητα δημιουργίας ενός ομοσπονδιακού ευρωπαϊκού συστήματος επιβολής ορίων περιβαλλοντικής χωρητικότητας. Η διάσταση απόψεων, όμως δεν επέτρεψε την εξαγωγή κάποιας απόφασης από κοινού, αφήνοντας το συγκεκριμένο ζήτημα να εκκρεμεί.

Η έννοια της περιβαλλοντικής χωρητικότητας, η οποία αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική, προϋποθέτει σε πρώτη φάση την ανάπτυξη υπολογιστικών μοντέλων για την ακριβή εκτίμηση των εκπεμπόμενων ρύπων από τα αεροδρόμια. Εν συνεχεία, πρέπει να εξετασθεί η εξάλπωση των ρύπων. Τέλος, οι εμπλεκόμενοι φορείς καλούνται να αποφασίσουν για τα μέτρα που θα ληφθούν,

ώστε να αρθούν οι περιορισμοί που επιβάλλουν οι κανονισμοί για την ποιότητα του περιβάλλοντος.

2.2 Συναφείς μεθοδολογίες εκτίμησης ατμοσφαιρικών ρύπων από τις αερομεταφορές και εφαρμογές αυτών

Η στροφή του παγκόσμιου ενδιαφέροντος στις ατμοσφαιρικές επιπτώσεις από τη λειτουργία των αεροδρομίων κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έδωσε ώθηση στην επιστημονική έρευνα για την κατανόηση του φαινομένου και την αντιμετώπιση αυτού. Η πορεία των ερευνητικών αυτών εργασιών σε παγκόσμιο επίπεδο, παρουσίασε μια ομαλή εξέλιξη, κατασταλάζοντας τα τελευταία έτη σε μία ευρέως αποδεκτή μεθοδολογία προσέγγισης. Τις πρώτες μεμονωμένες έρευνες στον τομέα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, διαδέχτηκαν συντονισμένες εργασίες, που προσέφεραν όλο και περισσότερα στην επιστημονική γνώση. Οι έρευνες που αναφέρθηκαν παραπάνω, αποσκοπώντας είτε στην ανάλυση μεμονωμένων περιπτώσεων, είτε στη συνολική διερεύνηση του φαινομένου, προσέγγιζαν μία ή περισσότερες πλευρές αυτού με ποικίλους τρόπους. Με την πάροδο των ετών έγινε πρόδηλο ότι και οι μεμονωμένες έρευνες και οι διεθνείς συνεργασίες, απέφεραν παρόμοιους καρπούς. Η επιστημονική σκέψη, μπορεί να είχε διαφορετική αφετηρία κατά περίπτωση, αλλά κατέληγε με λογική πορεία στο ίδιο γενικό συμπέρασμα. Για την πληρέστερη, λοιπόν, εκτίμηση και αξιολόγηση των ατμοσφαιρικών επιπτώσεων από τη λειτουργία ενός αεροδρομίου, η πιο ευρέως διαδεδομένη μεθοδολογία αποδείχθηκε από τη διεθνή εμπειρία, η εξής:

1. Εντοπισμός πηγών ρύπανσης
2. Εκτίμηση εκπομπών ρύπων ανά πηγή
3. Κατάστρωση μητρώου εκπομπών
4. Εφαρμογή μοντέλων μετεωρολογικών, διασποράς ρύπων και χημικών αντιδράσεων με τα στοιχεία του μητρώου εκπομπών
5. Εκτίμηση χωρικής και χρονικής κατανομής συγκεντρώσεων ρύπων
6. Μέτρηση πραγματικών τιμών συγκεντρώσεων ρύπων
7. Σύγκριση μετρούμενων τιμών και εκτιμήσεων
8. Αξιολόγηση μοντέλου, έλεγχος και διόρθωση σφαλμάτων
9. Εκτίμηση προβλεπόμενων μελλοντικών τιμών συγκεντρώσεων ρύπων

Όλες οι προαναφερθείσες έρευνες, άλλες σε μικρότερη και άλλες σε μεγαλύτερη κλίμακα, αποσκοπούσαν σε ένα ή περισσότερους από τους παραπάνω στόχους. Η από κοινού συμμετοχή σε ερευνητικά προγράμματα και η συνεργασία, οδήγησαν στην κατάστρωση του παραπάνω πλαισίου εργασίας, το οποίο θα αποτελέσει στο μέλλον το σημαντικότερο εργαλείο για τον έλεγχο των εκπομπών ρύπων από τα αεροδρόμια.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή της δεδομένης μεθοδολογίας, διαδραματίζει η κατάστρωση ενός ολοκληρωμένου μητρώου εκπομπών με την κατά το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια. Σε αυτό θα βασιστεί η λειτουργία του μοντέλου και από αυτό θα κριθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Για τη δημιουργία του μητρώου εκπομπών έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες έρευνες, με σκοπό άλλοτε την απλή κατάστρωσή του για κάποια συγκεκριμένη περίπτωση και άλλοτε την εύρεση της βέλτιστης διαμόρφωσης αυτού.

Μια αξιολόγηση περίπτωση είναι η έρευνα των Perl, Patterson και Perez (1997) για την κοστολόγηση των εκπομπών των αεροσκαφών στον αερολιμένα της Λυόν στη Γαλλία. Η μέθοδος που πρότειναν βασίζεται στις εκτιμώμενες εκπομπές από τη λειτουργία των αεροσκαφών και όχι στις μετρούμενες εκπομπές, οι οποίες αποτελούν άθροισμα όλων των επιμέρους εκπεμπόμενων ρύπων. Το σημαντικότερο μέρος του έργου τους ήταν η δημιουργία του μητρώου εκπομπών των αεροσκαφών και η υπέρβαση των πρακτικών δυσκολιών που προέκυπταν.

Για κάθε έτος λειτουργίας, συνέλεξαν στοιχεία αεροπορικών κινήσεων, στοιχεία για τον τύπο των αεροσκαφών και των κινητήρων τους, για τους χρόνους λειτουργίας των αεροσκαφών σε κάθε φάση και στοιχεία κατανάλωσης καυσίμων και εκπομπών ρύπων. Η πρώτη πρακτική δυσκολία που αντιμετώπισαν ήταν ο υπολογισμός εκπομπών για αεροσκάφη, για τα οποία δεν υπήρχε αρχείο των κινητήρων που χρησιμοποιούσαν κάθε φορά. Η θεώρηση που επέλεξαν για να ξεπεράσουν το κώλυμα ήταν η χρήση δύο σεναρίων τιμών, των μέγιστων και των ελάχιστων, από τις κατηγορίες κινητήρων που θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τα αεροσκάφη. Το δεύτερο σημαντικό εμπόδιο που συνάντησαν ήταν η έλλειψη στοιχείων εκπομπών για κάποιους τύπους κινητήρων. Προκειμένου να αγνοήσουν αυτά τα αεροσκάφη, επέλεξαν να συσχετίσουν γραμμικά το μέγιστο βάρος απογείωσης των αεροσκαφών (Maximum Take Off Weight – MTOW) με τις εκπομπές αυτών και να χρησιμοποιήσουν τις θεωρητικές τιμές που προέκυπταν. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την τελική άθροιση όλων των εκπομπών για κάθε τύπο αεροσκάφους και για όλες τις κινήσεις που αυτό πραγματοποίησε ετησίως. Βέβαια, τα αποτελέσματα για τα δύο σεναρία ήταν διαφορετικά, οριοθετούσαν όμως ένα εύρος τιμών μέσα στις οποίες κυμαίνονται οι πραγματικές.

Παρά το γεγονός ότι η έρευνα των Perl et al. περιορίστηκε στις εκπομπές που παράγονται από τα αεροσκάφη και όχι από τη συνολική λειτουργία του αεροδρομίου, αποτελεί μια αξιολογική εφαρμοσμένη προσέγγιση των ατμοσφαιρικών εκπομπών, προσφέροντας στην κατανόηση και υπέρβαση των κωλυμάτων της μεθοδολογίας υπολογισμού στην πράξη. Η μεθοδολογία που ακολούθησαν θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε οποιοδήποτε αερολιμένα, όπου υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία αεροπορικών κινήσεων, είτε για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από τα αεροσκάφη είτε για την κοστολόγησή της.

Οι Pison και Menut ολοκλήρωσαν το 2004 τη μελέτη τους για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών των αεροσκαφών στην τροπόσφαιρα πάνω από την ευρύτερη περιοχή του Παρισιού. Για την έρευνά τους στάθηκε απαραίτητη η γνώση των εκπομπών από τα αεροσκάφη των τριών αεροδρομίων που λειτουργούν σε απόσταση μικρότερη των 30 χιλιομέτρων από το κέντρο της

πόλης (Λε Μπουρζέ, Σαρλ-Ντε-Γκωλ, Ορλύ). Οδηγήθηκαν, επομένως, στην κατάστρωση μητρώων εκπομπών από τα αεροσκάφη των ανωτέρω αναφερθέντων αεροδρομίων. Τα ζητούμενα στοιχεία για την αεροπορική δραστηριότητα των αεροδρομίων τα έλαβαν από το δίκτυο AIRPARIF, που συγκεντρώνει στοιχεία για τα 3 κυριότερα πολιτικά αεροδρόμια της περιοχής του Παρισιού. Τα στοιχεία για τις διάφορες φάσεις του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης (Landing & Take Off Cycle – LTO Cycle), καθορίζονται από το Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας (International Civil Aviation Organization – ICAO). Με βάση αυτά και τη γνώση των εκπεμπόμενων ρύπων ανά φάση του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης, εκτίμησαν τις ζητούμενες συγκεντρώσεις παραγόμενων ρύπων. Παρότι η έρευνά τους επεκτάθηκε και στη χωροχρονική διασπορά των ρύπων, καθίσταται προφανής η πρωταρχική σημασία της κατάστρωσης του μητρώου εκπομπών για την εκπόνηση της εργασίας τους.

Σε παρόμοια έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Farias και Apsimon για το αεροδρόμιο του Χήθρου στο Λονδίνο (2005), διαφαίνεται ακόμη μια φορά η σημασία της κατάστρωσης ενός μητρώου εκπομπών. Στην προκειμένη περίπτωση έγινε καταγραφή των εκπομπών όχι μόνο από τα αεροσκάφη που λειτουργούν στον συγκεκριμένο αερολιμένα, αλλά και από τα οχήματα που εξυπηρετούν τον αερολιμένα και κινούνται στο δίκτυο εντός του αεροδρομίου και γύρω από αυτό. Ακόμη, συμπεριλήφθηκαν και άλλες πηγές ρύπανσης εντός των ορίων του αεροδρομίου, όπως βοηθητικές μονάδες ενέργειας των αεροσκαφών, δοκιμές κινητήρων αεροσκαφών και χώροι στάθμευσης οχημάτων.

Για την εκτίμηση των εκπομπών των αεροσκαφών, χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων του ICAO που περιέχει τους δείκτες εκπομπών για κάθε τύπο κινητήρα και κάθε φάση του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης. Για την καταγραφή των ρύπων από τις κινήσεις των οχημάτων που λειτουργούν στο αεροδρόμιο, λήφθηκαν υπόψη στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου και καθυστερήσεων. Για την εκπόνηση της έρευνας, χρησιμοποιήθηκαν ως αντιπροσωπευτικοί ρύποι τα οξείδια του αζώτου (NO_x).

Αφού ολοκληρώθηκε το μητρώο εκπομπών, χρησιμοποιήθηκε για να τροφοδοτήσει το μοντέλο διασποράς ρύπων ADMS-Urban. Η επαλήθευση έγινε συγκρίνοντας τις εκτιμώμενες τιμές με μετρηθείσες τιμές σε προεγκατεστημένο σταθμό. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης έδειξαν υποτίμηση της ρύπανσης από τις κυκλοφοριακές κινήσεις και υπερεκτίμηση των εκπομπών από τα αεροσκάφη. Η διαδικασία διόρθωσης σφαλμάτων υπέδειξε ως πιθανή αιτία σφαλμάτων τη λανθασμένη χρήση των δεικτών εκπομπών στα στάδια του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης. Έχει γίνει, δηλαδή, η λανθασμένη παραδοχή ότι τα αεροσκάφη απογειώνονται στο 100% της ώθησής τους, που όμως δεν αποτελεί συνήθη πρακτική. Αυτή η παραδοχή οδηγεί στη χρήση δεικτών εκπομπών που αντιπροσωπεύουν το 100% της ώθησης αντί μιας χαμηλότερης τιμής κι επομένως υπερεκτιμώνται οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Μια άλλη πιθανή αιτία που εντοπίστηκε, είναι η απαρχαιωμένη βάση δεδομένων του ICAO. Έχοντας καταστρωθεί σχεδόν 3 δεκαετίες πριν, αναγράφει χρόνους λειτουργίας σε κάθε φάση που δεν αντιπροσωπεύουν πολύ καλά τις σύγχρονες πρακτικές πτήσεων. Όσον αφορά στις τιμές συγκεντρώσεων που προέκυψαν για τα οχήματα του αεροδρομίου, οι υπολογισμοί βασίζονται σε παλαιότερες μεθόδους εκτίμησης

και σε διαφορετικό στόλο, οπότε ενδεχομένως να μην έχουν την απαιτούμενη ακρίβεια. Τέλος, ως συνήθης αιτία εσφαλμένων εκτιμήσεων εντοπίζεται η συνεισφορά ατμοσφαιρικών ρύπων από την κυκλοφορία σε κοντινές οδούς, η οποία αγνοήθηκε κατά τους υπολογισμούς. Η εργασία των Farias και Arsimon, αποτελεί μια εκτεταμένη προσπάθεια εκτίμησης ρύπων από τη λειτουργία του αεροδρομίου του Heathrow με ιδιαίτερα σημαντικές παρατηρήσεις αξιολόγησης.

Πέρα από τις ερευνητικές εργασίες, για την εκπόνηση των οποίων έχει καταστρωθεί μητρώο εκπομπών και οι οποίες αφορούν στη έρευνα συγκεκριμένων παραμέτρων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης των αεροδρομίων, τα μητρώα αυτά βρίσκουν εκτεταμένη εφαρμογή και στην αξιολόγηση που διεξάγουν οι αρχές λειτουργίας των αεροδρομίων. Μία από τις πρώτες εκκρεμότητες της εκάστοτε περιβαλλοντικής υπηρεσίας αποτελεί η συγκεντρωτική καταγραφή των πηγών ρύπανσης και των παραγόμενων εκπομπών. Η κατάστρωση μιας βάσης δεδομένων εκπομπών ρύπων που επικαιροποιείται και εμπλουτίζεται ετησίως είναι σημαντικό μέλημα, καθώς χωρίς αυτήν δεν είναι εφικτή η πλήρης αξιολόγηση των ατμοσφαιρικών εκπομπών, η εξαγωγή μελλοντικών προβλέψεων και ακόμη η αποτελεσματική εφαρμογή μέτρων περιορισμού της ρύπανσης. Η συλλογή μετρήσεων συγκεντρώσεων ρύπων, η οποία αποτελεί την πιο διαδεδομένη πρακτική, δεν μπορεί μεμονωμένα να αποτελέσει εργαλείο για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων. Πρέπει να συμπληρώνεται από θεωρητικούς υπολογισμούς και να επαληθεύεται για μεγαλύτερη ακρίβεια και καλύτερη χρήση.

Στα πλαίσια της προαναφερθείσας περιβαλλοντικής πολιτικής, οι περιβαλλοντικές υπηρεσίες πολλών αεροδρομίων διεθνώς, εργάζονται εντατικά για τη δημιουργία του δικού τους μητρώου εκπομπών, που θα αποτελέσει το θεμέλιο για την περαιτέρω δραστηριότητά τους. Μία από τις περιπτώσεις που τοποθετούνται στον ευρωπαϊκό χώρο είναι αυτή του Διεθνή Αερολιμένα του Ντίσελντορφ στη Γερμανία. Σύμφωνα με την ετήσια αναφορά της διεύθυνσης του αερολιμένα, έχει εκκινήσει η διαδικασία σύστασης μητρώου εκπομπών. Μάλιστα, οι εκπομπές των αεροσκαφών έχουν καταχωρηθεί σε βάση δεδομένων που περιλαμβάνει όλα τα έτη από το 1993 και έπειτα.

Για τη δημιουργία αυτού του αρχείου, η περιβαλλοντική υπηρεσία του αεροδρομίου χρησιμοποίησε τα ημερήσια στοιχεία αεροπορικών κινήσεων. Η εξακρίβωση των τύπων των κινητήρων των αεροσκαφών έγινε με χρήση του δημοσιευμένου καταλόγου για τους τουρμπινοκίνητους στόλους των αεροπορικών εταιριών («Turbine Engined Fleets of the World's Airlines»). Για τον υπολογισμό των εκπομπών για κάθε κινητήρα και φάση λειτουργίας, χρησιμοποιήθηκαν οι δείκτες εκπομπών της τράπεζας δεδομένων του ICAO. Οι τιμές των δεικτών αυτών είναι οι χαρακτηριστικές, δηλαδή οι μέσες τιμές που έχουν προκύψει από τις δοκιμές κινητήρων και έχουν διορθωθεί και αναχθεί σε συνθήκες αναφοράς.

Με τη βοήθεια του αρχείου εκπομπών, η περιβαλλοντική υπηρεσία του αεροδρομίου, είναι σε θέση να παρακολουθεί την εξέλιξη της παραγόμενης ρύπανσης, σε συνάρτηση με τις αλλαγές στο στόλο των αεροσκαφών και να εξάγει συμπεράσματα ή να προτείνει διορθωτικές ενέργειες για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

Ιδιαίτερα σημαντικό έργο στον τομέα της καταγραφής εκπομπών έχει προσφέρει ο Emanuel Fleuti, προϊστάμενος της περιβαλλοντικής υπηρεσίας του Διεθνή Αερολιμένα της Ζυρίχης. Με πολυετές έργο γύρω από τα μητρώα εκπομπών, έχει πραγματοποιήσει μία από τις πιο ολοκληρωμένες αρχειοθετήσεις εκπομπών ρύπων στον ευρωπαϊκό χώρο.

Οι ρύποι που συμπεριλήφθηκαν στο αρχείο του Fleuti δεν ήταν μόνο από τα αεροσκάφη. Με την εργασία του επέκτεινε το εύρος του μητρώου εκπομπών, συμπεριλαμβάνοντας και άλλες σημαντικές πηγές ρύπων. Έτσι κατόρθωσε να απεικονίσει την πραγματική φύση των εκπομπών του αεροδρομίου με μεγαλύτερη ακρίβεια και να δημιουργήσει ένα ακόμα χρησιμότερο εργαλείο αξιολόγησης της περιβαλλοντικής λειτουργίας του αερολιμένα. Το μητρώο εκπομπών που δημιούργησε περιείχε αρχικά τα στοιχεία των εκπομπών των αεροσκαφών, τα οποία προέκυψαν από τα πρότυπα του ICAO μετά από προσαρμογή στους χρόνους τροχοδρόμησης που εφαρμόζονται στο συγκεκριμένο αερολιμένα. Έπειτα προστέθηκαν τα δεδομένα εκπομπών της υποδομής του αερολιμένα. Οι εκπομπές αυτές περιλαμβάνουν τα οχήματα εξοπλισμού εδάφους που λειτουργούν στο αεροδρόμιο και τις σταθερές εγκαταστάσεις που παράγουν ρύπους (π.χ. οι εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης). Τελικά, το μητρώο συμπληρώθηκε και με τις εκπομπές των οχημάτων που προσέρχονται στο αεροδρόμιο και κινούνται εντός αυτού ή στη γειτονία του. Η περίπτωση της Ζυρίχης είναι από τις ελάχιστες στον ευρωπαϊκό χώρο που περιλαμβάνουν τα οχήματα που προσέρχονται στο αεροδρόμιο, παρά το γεγονός ότι η συνεισφορά τους στη ρύπανση από τον αερολιμένα είναι πρωτεύουσας σημασίας.

Η ερευνητική εργασία του Fleuti, όμως υπερβαίνει τα όρια του αερολιμένα της Ζυρίχης. Σε πληθώρα δημοσιεύσεων και ερευνών σκιαγραφεί τη μεθοδολογία κατάστρωσης ενός μητρώου εκπομπών. Επίσης, αναφέρει ότι με την κατάστρωση ενός μητρώου εκπομπών μπορεί να γίνει εφικτή η εύρεση της συνεισφοράς του αεροδρομίου ή των επιμέρους πηγών αυτού στη συνολική ρύπανση μιας περιοχής, για την αποτελεσματικότερη αντιμετώπισή της. Υπογραμμίζει, όμως, ότι εξαρτημένης της απαιτούμενης ακρίβειας, το μητρώο μπορεί να βασίζεται σε αληθινά στοιχεία, κάτι που καθιστά τη δημιουργία του ιδιαίτερα επίπονη ή σε παραδοχές για ταχύτερα αποτελέσματα.

Ο Διεθνής Αερολιμένας της Φρανκφούρτης έχει, επίσης, προάγει την έρευνα γύρω από την καταγραφή των παραγόμενων ρύπων από τη λειτουργία του αεροδρομίου. Αποτελώντας έναν από τους μεγαλύτερους αερολιμένες της Ευρώπης και με πολύ μεγάλη επιβατική και εμπορική κίνηση, επιφορτίζεται με την υψηλή υποχρέωση της διατήρησης της ποιότητας του αέρα εντός των επιτρεπτών ορίων. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, διαθέτει ένα ευρύ δίκτυο παρακολούθησης και μέτρησης των εκπεμπόμενων ρύπων και οσμών (βλέπε εικόνες 2.3-2.4), αλλά ταυτόχρονα διατηρεί αρχείο καταγραφής ρύπων από τις περισσότερες πηγές του αεροδρομίου.



Εικόνες 2.3-2.4 : Σταθερός Σταθμός Παρακολούθησης της Ποιότητας του Αέρα
(Πηγή: 2002 Fraport Environmental Statement)

Η βάση δεδομένων της αντίστοιχης υπηρεσίας περιβάλλοντος περιλαμβάνει εκπομπές από αεροσκάφη σε ύψη από 0 έως 300 μέτρα, ως εΐθισται και από 300 έως 600 μέτρα, όπου οι ρύποι επιδρούν σε μεγαλύτερη κλίμακα. Ακόμα, περιέχει τις εκπομπές των οχημάτων που κινούνται εντός του χώρου στάθμευσης των αεροσκαφών (airside traffic) και των άλλων οχημάτων που προσέρχονται στον αερολιμένα (landside traffic). Για τη δεύτερη κατηγορία, υπολογίζονται και οι ρύποι που εκπέμπονται από τα σταθμευμένα οχήματα. Οι σταθερές πηγές περιέχονται και αυτές στο μητρώο εκπομπών, εμπλουτισμένες με τους ρύπους που παράγονται από την εξάτμιση εκτιθέμενων καυσίμων (π.χ. κατά των εφοδιασμό των αεροσκαφών). Συμπεραΐνουμε, επομένως, ότι συμφωνώντας με το μέγεθος των υπηρεσιών που παρέχονται από τον Διεθνή Αερολιμένα της Φρανκφούρτης, η αρμόδια περιβαλλοντική υπηρεσία έχει επιτύχει υψηλό επίπεδο οργάνωσης και λειτουργίας.

Πίνακας 2.1 : Εκπομπές Ρύπων του Αερολιμένα της Φρανκφούρτης, ανά Πηγή Ρύπων, ως Ποσοστό των Συνολικών Εκπομπών του Αερολιμένα της Φρανκφούρτης για το Έτος 2000 (Πηγή: 2002 Fraport Environmental Statement)

Emission Sources	NO _x	CO	SO ₂	Soot	HC	B(a)P
Apron Traffic	8%	8%	3%	40%	18%	63%
Exhaust from road traffic in and around the airport	3%	19%	1%	13%	14%	17%
Stationary sources	<1%	1%	1%	<1%	31%	<1%
Emissions by air traffic up to 600m above the ground	81%	54%	79%	26%	32%	16%
Emissions by APU*s	6%	17%	15%	16%	3%	3%
Emissions by engine run-ups	1%	1%	1%	5%	1%	<1%

*Assuming continuous operation

Αντιστοίχως, στον Διεθνή Αερολιμένα του Λονδίνου στο Χήθροου, που έχει τη μεγαλύτερη επιβατική κίνηση στην Ευρώπη, ακολουθείται από το 1998 ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης, το οποίο περιλαμβάνει αναλυτική καταγραφή των ρύπων που εκπέμπονται από τη λειτουργία του αεροδρομίου. Στο μητρώο εκπομπών καταγράφονται ποσοτικές εκτιμήσεις όλων των εκπομπών που αποδίδονται στη λειτουργία του αεροδρομίου, συμπεριλαμβανομένων των αεροσκαφών, των οχημάτων που κινούνται εντός και εκτός των διαδρόμων και των εγκαταστάσεων θέρμανσης. Η καινοτομία που εφαρμόστηκε στο αεροδρόμιο του Χήθροου από το έτος 2002 και έπειτα, ήταν η εφαρμογή ενός μοντέλου εντοπισμού και καταγραφής των ρύπων των οχημάτων, που κινούνται στην ευρύτερη περιοχή του αερολιμένα και η ύπαρξη των οποίων οφείλεται αποκλειστικά στην ύπαρξη του αερολιμένα, καθιστώντας περισσότερο ακριβή την εκτίμηση των εκπομπών αυτών.

Πέρα, όμως από τις υπηρεσίες μεμονωμένων αεροδρομίων που δραστηριοποιούνται γύρω από την εκτίμηση και καταγραφή των παραγόμενων ρύπων, υπάρχουν και περιπτώσεις ευρύτερων φορέων που επιλέγουν αυτή τη μέθοδο για την περιβαλλοντική αξιολόγηση. Σύγχρονο παράδειγμα αποτελεί η Διεύθυνση Πολιτικής Αεροπορίας της Φινλανδίας (Finnish Civil Aviation Administration). Η υπηρεσία αυτή διαχειρίζεται την πλειοψηφία των αεροδρομίων της Φινλανδίας. Σημαντικός τομέας της περιβαλλοντικής δραστηριότητας της υπηρεσίας είναι η καταγραφή των εκπομπών από τα αεροδρόμια που υπάγονται σε αυτήν (βλέπε εικόνα 2.5). Στο μητρώο εκπομπών περιλαμβάνονται, πέρα από τα αεροσκάφη, και τα μηχανήματα εξοπλισμού εδάφους των αεροδρομίων και καταγράφεται η κατανάλωση καυσίμων και οι εκπομπές όλων των συνήθων ρύπων (μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου, άκαυστοι υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του θείου). Κατά αυτόν τον τρόπο, μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση των εκπομπών ανάμεσα στα αεροδρόμια και να επιτευχθεί καλύτερη περιβαλλοντική διαχείριση αυτών.

Airport	Aircraft emissions * (Year 2003)							Emissions from CAA ground equipment (Year 2003)						
	LTO cycle no.	CO (t)	HC (t)	NO _x (t)	SO ₂ (t)	CO ₂ (t)	Fuel (t)	CO (t)	HC (t)	NO _x (t)	Particles (t)	SO ₂ (t)	CO ₂ (t)	Fuel (t)
Enontekiö	100	1	0.1	0.8	0.1	189	61	0.3	0.1	0.4	0.02	0.001	54	17
Halli	247	2	0.1	0.0	0.0	10	3	0.3	0.1	0.4	0.02	0.001	53	17
Helsinki-Malmi	36 437	266	3.6	0.6	0.1	780	249	0.3	0.1	0.3	0.02	0.001	38	12
Helsinki-Vantaa	79 017	545	81	544	45	141 055	45 088	11.6	3.4	16.9	0.93	0.025	2 217	704
Ivalo	1 266	8	1.3	9.3	0.7	2 181	697	2.2	0.4	1.2	0.07	0.003	187	60
Joensuu	3 061	13	0.9	7.5	0.6	1 991	637	0.7	0.2	1.3	0.07	0.002	154	49
Jyväskylä	6 932	34	1.4	7.1	0.6	2 040	652	0.4	0.2	1.1	0.06	0.001	140	44
Kajaani	1 481	8	1.5	7.7	0.6	2 022	646	0.4	0.1	0.7	0.04	0.001	93	29
Kauhava	209	1	0.1	0.0	0.0	20	6	0.5	0.1	0.6	0.03	0.001	80	26
Kemi-Tornio	1 581	8	1.9	10.2	0.8	2 661	851	0.6	0.2	1.3	0.07	0.002	154	49
Kittilä	1 413	11	2.1	13.4	1.0	3 100	991	0.6	0.3	1.8	0.10	0.002	224	71
Kruunupyy	2 857	12	1.0	6.2	0.5	1 720	550	0.3	0.1	0.5	0.03	0.001	78	25
Kuopio	5 004	27	2.1	14.3	1.2	3 728	1 192	0.7	0.3	2.1	0.12	0.002	250	79
Kuusamo	1 035	6	1.4	7.0	0.6	1 756	561	0.6	0.2	1.1	0.06	0.001	130	41
Lappeenranta	3 188	14	0.7	1.1	0.2	501	160	0.8	0.2	0.7	0.04	0.001	94	30
Maarianhamina	3 101	33	3.1	1.8	0.2	688	220	0.3	0.1	0.4	0.02	0.001	51	16
Oulu	8 487	68	7.9	48.9	3.9	12 267	3 921	1.4	0.4	2.1	0.12	0.003	279	89
Pori	10 718	60	4.7	2.6	0.3	1 093	349	0.6	0.1	0.7	0.04	0.001	86	27
Rovaniemi	4 184	39	4.2	22.9	1.8	5 700	1 822	1.9	0.8	5.1	0.29	0.007	676	215
Savonlinna	1 300	3	0.3	1.1	0.1	369	118	0.6	0.1	0.5	0.03	0.001	68	22
Tampere-Pirkkala	11 445	60	2.4	13.2	1.3	4 076	1 303	0.6	0.3	1.8	0.10	0.002	221	70
Turku	12 515	83	5.6	11.8	1.3	4 168	1 332	0.6	0.3	2.1	0.11	0.002	239	76
Utti	632	5	0.1	0.0	0.0	15	5	0.3	0.1	0.2	0.01	0.000	40	13
Vaasa	6 803	33	3.3	11.6	1.1	3 520	1 125	0.8	0.2	0.6	0.03	0.001	86	27
Varkaus	1 048	2	0.2	0.6	0.1	246	79	0.2	0.1	0.3	0.02	0.000	42	13
Total	204 061	1 340	131	744	62	195 897	62 619	27.8	8.5	44.4	2.45	0.063	5 737	1 822

Εικόνα 2.5 : Εκπομπές Ρύπων Αεροσκαφών και Εξοπλισμού Εδάφους από Αεροδρόμια της Φινλανδίας (2003 Environmental Review Finnish Civil Aviation Administration)

Παρά την υψηλή οργάνωση συγκεκριμένων φορέων και υπηρεσιών για την παρακολούθηση και καταγραφή των ρύπων από τη λειτουργία αεροδρομίων, δεν υπάρχει κάποιος φορέας κεντρικής καθοδήγησης, που να συντονίζει τις περιβαλλοντικές ενέργειες σε διεθνές επίπεδο. Πέρα από τις θεσπισμένες οδηγίες σε εθνικό επίπεδο, δεν υφίσταται κάποιο ενιαίο ευρωπαϊκό σύστημα διαχείρισης της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από αεροδρόμια. Ερευνώντας τη διεθνή βιβλιογραφία, διαφαίνεται η διαφοροποίηση των εφαρμοζόμενων μεθοδολογιών ανά περίπτωση, σύμφωνα με τις εκάστοτε επικρατούσες τοπικές συνθήκες. Η έλλειψη διεθνούς συνεργασίας στον τομέα διαχείρισης της ρύπανσης, μειώνει την αποτελεσματικότητα των διαφόρων πρακτικών και μπορεί ακόμα και να προκαλέσει προβλήματα χωρητικότητας στα αεροδρόμια. Για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί ενίοτε μεθοδολογίες προς έγκριση από τις χώρες της ευρωπαϊκής ένωσης, χωρίς κάποια εξ' αυτών να έχει καταφέρει να επικρατήσει και να θεσπιστεί.

Η μόνη περίπτωση όπου απαντάται μία ενιαία μεθοδολογία εκτίμησης ρύπων από τη λειτουργία αεροδρομίων, είναι αυτή της Ομοσπονδιακής Διεύθυνσης Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών (U.S. Federal Aviation Administration – U.S. F.A.A.). Οι διαδικασίες παρακολούθησης

και αντιμετώπισης της ρύπανσης από τα αεροδρόμια, βρίσκονται καταχωρημένες στο επίσημο Εγχειρίδιο Ποιότητας του Αέρα της υπηρεσίας (F.A.A. Air Quality Handbook). Σε αυτό δίνονται οι γενικές κατευθύνσεις του πλαισίου εργασίας όσον αφορά στη διαχείριση της ρύπανσης. Στα παραρτήματα που το συνοδεύουν περιγράφονται οι διαφορετικές πηγές ρύπανσης και παρατίθενται οι προτεινόμενοι μέθοδοι για την ποσοτική εκτίμηση των αέριων εκπομπών.

Όλες οι γνωστές πηγές ρύπανσης ενός αεροδρομίου αναφέρονται στο εγχειρίδιο της F.A.A. και αντιμετωπίζονται αναλυτικά: Οι εκπομπές από τις κινήσεις, τη στάθμευση και τον ανεφοδιασμό των αεροσκαφών, από τη λειτουργία του μηχανικού εξοπλισμού και των μέσων εδάφους, από τα οχήματα που προσέρχονται στο αεροδρόμιο, από τις σταθερές πηγές, από τις διαδικασίες συντήρησης και επισκευής που πραγματοποιούνται στο χώρο του αεροδρομίου. Δίνονται βοηθητικά στοιχεία και καθοδηγήσεις για τον ολοκληρωμένο υπολογισμό των εκπομπών. Το σκεπτικό που χαρακτηρίζει τη μεθοδολογία της FAA, είναι η καταγραφή όλων των ρύπων που προκαλεί η λειτουργία ενός αεροδρομίου άμεσα ή έμμεσα, από τους ρύπους που εκπέμπουν τα αεροσκάφη έως τους ρύπους που παράγει ένα θερμοηλεκτρικό εργοστάσιο πολλά χιλιόμετρα μακριά για να τροφοδοτήσει τις εγκαταστάσεις του αεροδρομίου. Επομένως, λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο η άμεση ατμοσφαιρική επιβάρυνση στην ευρύτερη περιοχή του εκάστοτε αεροδρομίου, αλλά οι συνολικές εκπομπές που παράγονται σε παγκόσμια κλίμακα για τη λειτουργία του. Το υψηλό επίπεδο ακρίβειας που αξιώνει η περιεκτική μεθοδολογία του εγχειριδίου, απαιτεί ιδιαίτερα υψηλό επίπεδο οργάνωσης της διεύθυνσης του εκάστοτε αεροδρομίου. Ο τεράστιος όγκος απαιτούμενων δεδομένων και οι χρονοβόρες διαδικασίες υπολογισμού, καθιστούν ιδιαίτερα επίπονη την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας και ίσως οικονομικά ασύμφορη για την περίπτωση ευρωπαϊκών αεροδρομίων. Παρ' αυτά, η απόλυτη εφαρμογή της ανωτέρω αναφερθείσας μεθοδολογίας, αποτελεί την αποτελεσματικότερη διαδικασία παρακολούθησης και ελέγχου των ρύπων που εκπέμπονται από τη λειτουργία ενός αεροδρομίου και άρα το πληρέστερο εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης της ρύπανσης.

2.3 Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Με τη διαμάχη για την προστασία του παγκοσμίου κλίματος να μαίνεται μέχρι σήμερα (το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το πρωτόκολλο του Κιότο για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα), η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι κλιματικές αλλαγές που προκαλούνται από τις παγκόσμιες αερομεταφορές τίθενται ολοένα και περισσότερο στο επίκεντρο της προσοχής. Εντούτοις, οι κινήσεις των αεροσκαφών αποτελούν μόνο το 3,5 % των συνολικών ανθρωπογενών επιδράσεων στο παγκόσμιο κλίμα. Δε μπορεί όμως να αγνοηθεί και η συνεισφορά όλων των άλλων πηγών που σχετίζονται με τη λειτουργία των αεροδρομίων, όπως για παράδειγμα η δημιουργία επιπρόσθετων μετακινήσεων οχημάτων.

Για την καλύτερη κατανόηση και αντιμετώπιση του φαινομένου της ρύπανσης από τα αεροδρόμια, έχουν διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια πολλές έρευνες, άλλοτε με συγκεκριμένο πρακτικό ενδιαφέρον και άλλοτε για την εξυπηρέτηση περισσότερο θεωρητικών στόχων. Διάφορα

συστήματα για την παρακολούθηση των εκπεμπόμενων ρύπων έχουν χρησιμοποιηθεί, μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης των υφιστάμενων συνθηκών και μέθοδοι καταγραφής εκπομπών για τη δημιουργία μιας πιο ακριβούς εικόνας της πραγματικότητας. Οι ενδιαφερόμενες υπηρεσίες και φορείς, τείνουν τα τελευταία χρόνια στην ευρεία χρήση μητρώων εκπομπών, τα οποία ποικίλλουν ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια, για την καλύτερη επισκόπηση της παραγόμενης ρύπανσης και τη διευκόλυνση λήψης αποφάσεων. Η καταγραφή των εκπομπών από τις διάφορες πηγές που λειτουργούν σε ένα αεροδρόμιο, αναδεικνύεται σε ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για την πρόβλεψη της ρύπανσης και την εφαρμογή διορθωτικών ενεργειών, είτε σε τοπικό είτε σε παγκόσμιο επίπεδο.

Σύμφωνα με τις ανάγκες τις εκάστοτε υπηρεσίας, τα μητρώα διαμορφώνονται έτσι ώστε να συμπεριλάβουν περισσότερες και πιο λεπτομερείς καταχωρήσεις ή λιγότερες και πιο αδρομερείς. Μπορούν να καταστρώνονται βασιζόμενα σε πραγματικά καταγεγραμμένα δεδομένα με υψηλό δείκτη ακρίβειας ή να στηρίζονται σε παραδοχές και θεωρητικές υποθέσεις για την απλή εύρεση κάποιας τάξης μεγέθους. Φυσικά, η αναλυτική καταγραφή πραγματικών στοιχείων υπερτερεί σε χρησιμότητα, καθώς αποτυπώνει την πραγματική κατάσταση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων και προβλέψεων. Η μακροσκοπική, όμως, κατάστρωση ενός μητρώου εκπομπών είναι πιο άμεσα χρησιμοποιήσιμη και δεν απαιτεί υψηλό επίπεδο οργάνωσης ή διάθεση πολλών ανθρώπινων και χρηματικών πόρων. Γίνεται επομένως αντιληπτό το γεγονός ότι η χρησιμότητα ενός μητρώου εκπομπών είναι μεγάλη, όμως εξαρτάται από τους σκοπούς που αυτό θα εξυπηρετήσει.

Καθώς δεν υπάρχουν θεσμοθετημένες οδηγίες για την κατάστρωση των μητρώων, απαντώνται πολλές περιπτώσεις ανά τον κόσμο, στις οποίες τα μητρώα εκπομπών διαμορφώνονται με διαφορετικό τρόπο, περιλαμβάνουν διαφορετικά δεδομένα και έχουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας. Η πιο οργανωμένη καταγραφή ρύπων επιτελείται στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, όπου υπαγορεύεται από ομοσπονδιακές οδηγίες και η τήρησή της προστατεύεται από νομοθετικό πλαίσιο. Η κατάσταση στην Ευρώπη δεν είναι η ίδια, καθώς δεν υπάρχει ενιαίο πλαίσιο εργασίας, ούτε θεσμοθετημένη καθοδήγηση. Οι υπηρεσίες που επιμελούνται την κατάστρωση μητρώων εκπομπών συνήθως εφαρμόζουν διαδεδομένες πρακτικές ή επινοούν δικές τους και συνεργάζονται για την αντιμετώπιση αναδυόμενων προβλημάτων.

Οι έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στην Ελλάδα για την κατάστρωση μητρώων, όπως και οι εφαρμοσμένες μεθοδολογίες είναι λίγες. Κοινή πρακτική στον ελληνικό χώρο αποτελεί η καταγραφή εκπομπών ρύπων από απευθείας μέτρηση με κατάλληλα όργανα και σταθμούς. Η σύσταση μητρώων εκπομπών βρίσκεται ακόμα σε χαμηλό επίπεδο. Σε αυτό συντελεί και η ανεπαρκής οργάνωση των αρχών διαχείρισης των αεροδρομίων όσον αφορά στην καταγραφή πηγών εκπομπών και ρυπαντικών δραστηριοτήτων. Εξάιρεση αποτελεί η περιβαλλοντική υπηρεσία του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, η οποία έχει ολοκληρώσει την καταγραφή των εκπομπών των αεροσκαφών και έχει προγραμματίσει την επέκταση του μητρώου σε άλλες πηγές σε βραχύ χρονικό ορίζοντα. Η απουσία, όμως, εγκεκριμένου εθνικού πλαισίου εργασίας

αναστέλλει την ανάπτυξη και την εφαρμογή μεθοδολογιών εκτίμησης της ρύπανσης και καθιστά λιγότερο αποτελεσματική τη διαχείρισή της.

Από τα παραπάνω, γίνεται κατανοητή η σημασία δημιουργίας ενός ενιαίου πλαισίου καταγραφής και εκτίμησης της ρύπανσης από τη λειτουργία των αεροδρομίων στον ελληνικό χώρο. Η προτεινόμενη μεθοδολογία που αφορά τα παραπάνω, περιγράφεται λεπτομερώς στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας και εφαρμόζεται πρακτικά στο κεφάλαιο 5 για την περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΗΓΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ ΣΤΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Η διαρκής ανάπτυξη των αερομεταφορών στις μέρες μας, σε συνδυασμό με την περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση που έχει επιτελεσθεί τα τελευταία χρόνια, εξαιτίας της μαζικής διάδοσης πληροφοριών, έχουν τοποθετήσει τα αεροδρόμια και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία τους στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος. Ενώ τα βλέμματα όλων στρέφονται στη γένεση φαινομένων παγκόσμιας κλίμακας από την ατμοσφαιρική ρύπανση (φαινόμενο του θερμοκηπίου, τρύπα του όζοντος), δε μπορεί να αγνοηθεί και η τοπική διάσταση του φαινομένου. Τα αεροδρόμια αντιμετωπίζουν όλο και περισσότερο την ανησυχία και τα παράπονα των τοπικών κοινωνιών, για τις επιπτώσεις της λειτουργίας τους στην ατμόσφαιρα της ευρύτερης περιοχής όπου ανήκουν. Οι νόμοι που διέπουν τις ατμοσφαιρικές εκπομπές γίνονται ολοένα και αυστηρότεροι και ο έλεγχος της τήρησης αυτών όλο και πιο πιεστικός.

Η όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση των εκπεμπόμενων ρύπων αποτελεί πλέον κοινό στόχο για τη διοίκηση του εκάστοτε αερολιμένα και για το ενδιαφερόμενο κοινό. Για τους πρώτους είναι αναγκαία η γνώση της επιβάρυνσης που ενδεχομένως δημιουργούν στο περιβάλλον για την εφαρμογή διαδικασιών περιορισμού αυτής, ενώ το κοινό ενδιαφέρεται για τη διασφάλιση της δημόσιας υγείας μέσα στα πλαίσια της λήψης αεροπορικών υπηρεσιών.

Η θεωρητική προσέγγιση του φαινομένου έχει παρουσιάσει εμφανή εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, καθώς τα χρησιμοποιούμενα μέσα προοδεύουν τεχνολογικά. Οι χαμηλές δυνατότητες

εντοπισμού ρύπων και καταγραφής αυτών, όπως και η περιορισμένη έρευνα του θεωρητικού υποβάθρου, αρχικά οδήγησαν στην αδρομερή αντιμετώπιση της προκαλούμενης από τα αεροδρόμια ατμοσφαιρικής ρύπανσης και τη θεώρηση του αεροδρομίου ως μία ενιαία πηγή ρύπανσης. Όμως, η επιστημονική πρόοδος που επιτελέστηκε σε συνδυασμό με την επινόηση νέων μοντέλων εκτιμήσεων, κατέστησαν δυνατή την εξέταση σε βάθος των μηχανισμών ρύπανσης και έθεσαν τα θεμέλια για εξειδικευμένη αντιμετώπιση των επιμέρους πηγών ρύπανσης που συγκεντρώνονται σε ένα αεροδρόμιο.

Τα αεροδρόμια ως πολύπλοκες επιχειρήσεις και σημαντικοί πόλοι έλξης της ανθρώπινης δραστηριότητας, συγκεντρώνουν ένα μεγάλο πλήθος ετερογενών ενεργειών για τη σωστή λειτουργία τους, που με τη σειρά τους προκαλούν τη γένεση ατμοσφαιρικών εκπομπών. Καθώς, είναι μεγάλη η διαφοροποίηση των ενεργειών αυτών, μία απλή γενίκευση των μηχανισμών δημιουργίας ρύπων που τις διέπουν, δε θα συντελούσε στην αποτελεσματική αντιμετώπιση της συνολικής ρύπανσης. Πέρα από τους διαφορετικούς φυσικοχημικούς μηχανισμούς που καθορίζουν την εκπομπή των ρύπων, είναι σημαντική η διαφορά στη μορφή των πηγών ρύπανσης (σημειακές, γραμμικές, χωρικές) και η διασπορά των εκπομπών ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε πηγής.

Για το λόγο αυτό, η πρόκληση ατμοσφαιρικής επιβάρυνσης από τη λειτουργία ενός αεροδρομίου πρέπει να επιμεριστεί στις διαφορετικές πηγές γένεσης ρύπων, ώστε να αντιμετωπιστεί κατά τον αποτελεσματικότερο τρόπο. Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται αναφορά στους διαφορετικούς μηχανισμούς δημιουργίας ρύπων σε ένα αεροδρόμιο, εξετάζονται οι συνήθεις ρύποι και κατατίθενται οι επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία.

3.2 Ατμοσφαιρικοί ρύποι από τη λειτουργία των αεροδρομίων

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του παρόντος κεφαλαίου, τα αεροδρόμια αποτελούνται από πολυάριθμες διαφορετικές πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης που συνεισφέρουν, με ξεχωριστό τρόπο η καθεμία, στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος αέρα.

Οι πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, λόγω λειτουργίας των αεροδρομίων, αποτελούν τους επανομαζόμενους ρυπαντές, καθώς έτσι ονομάζονται τα αίτια που μπορούν να προκαλέσουν τη διάθεση ρύπων στο περιβάλλον (Καββαδάς & Πανταζίδου, 2004). Οι κυριότεροι ρυπαντές της ατμόσφαιρας, εξαιτίας της λειτουργίας ενός αεροδρομίου είναι οι εξής (Ashford & Wright – Peace et al., 2005):

- Οι κινητήρες των αεροσκαφών (Aircraft Engines)
- Οι βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας (Auxiliary Power Units – APUs)
- Τα οχήματα και ο εξοπλισμός εδάφους που λειτουργούν στον αερολιμένα (Ground Support Equipment – GSE)

- Τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων (Ground Access Vehicles – GAVs)
- Οι σταθερές πηγές ρύπανσης του αεροδρομίου (Stationary Sources)

Η φυσιολογική λειτουργία των ανωτέρω έχει ως αποτέλεσμα τη γένεση ρύπων. Ρύπος, είναι η ουσία, ενέργεια ή μικροοργανισμός στον οποίο οφείλεται η ρύπανση (Καββαδάς & Πανταζίδου, 2004). Κάθε ένας από τους παραπάνω ρυπαντές μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία διαφόρων κατηγοριών ρύπων. Σε γενικές γραμμές οι συνήθεις παραγόμενοι ρύποι από τη λειτουργία ενός αεροδρομίου μπορούν να ταξινομηθούν σε 2 κατηγορίες με βάση τους μηχανισμούς δημιουργίας αυτών. Είναι οι ρύποι που δημιουργούνται από την καύση υλών για ποικίλες λειτουργίες και αυτοί που διαχέονται στο περιβάλλον από την έκθεση πτητικών υλών στην ατμόσφαιρα και εξάτμιση αυτών.

Οι ρύποι που δημιουργούνται από καύση προέρχονται από τους κινητήρες αεροσκαφών, από τους κινητήρες οχημάτων και μηχανημάτων και από τις εγκαταστάσεις θέρμανσης και τις γεννήτριες του αεροδρομίου (Ashford & Wright). Η δημιουργία τους οφείλεται στην ατελή καύση των καυσίμων υλών. Η καύση υλών, που αποτελούνται από υδρογονάνθρακες, με τη βοήθεια του ατμοσφαιρικού αέρα, παράγει κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και νερό (H_2O). Μολοταύτα, οι μηχανές εσωτερικής καύσης δεν αποδίδουν τέλεια, οπότε μέρος των καυσίμων δεν καίγεται ή καίγεται μερικώς, με αποτέλεσμα την παρουσία στα καυσαέρια άκαυστων υδρογονανθράκων (HCs) και άλλων οργανικών ουσιών, μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και οργανικών σωματιδίων. Επιπρόσθετα, στις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις που απαντώνται στο θάλαμο του κινητήρα, μέρος του αζώτου του αέρα και του καυσίμου οξειδώνεται, σχηματίζοντας κυρίως μονοξείδιο του αζώτου (NO) και σε μικρότερο ποσοστό διοξείδιο του αζώτου (NO_2). Ακόμα, προκειμένου να απομακρυνθούν κάποια συστατικά των καυσίμων από τους κινητήρες, προστίθενται σε αυτούς ουσίες που αντιδρούν με αυτά σχηματίζοντας πτητικά αλογονοπαράγωγα και άλλα ανόργανα συστατικά που αποβάλλονται μαζί με τα καυσαέρια. Οι χημικές ουσίες που αναφέρθηκαν παραπάνω αποτελούν τους κυριότερους ρύπους που εκπέμπονται από τους κινητήρες των α/φ και των οχημάτων (Bristow & Tight, 2001). Όταν όμως οι ανωτέρω ουσίες ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, λαμβάνουν χώρα κάποιες χημικές αντιδράσεις, με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας, που οδηγούν στο σχηματισμό δευτερευόντων ρύπων, των οποίων οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι μερικές φορές σημαντικότερες.

Οι ρύποι που διαχέονται στην ατμόσφαιρα ευθέως χωρίς να προηγούνται αντιδράσεις καύσης, δημιουργούνται κατά τη λειτουργία και τη στάθμευση οχημάτων, καθώς και από τη διαρροή καυσίμων ή την έκθεση στον αέρα πτητικών ουσιών (FAA Air Quality Handbook, 1997). Υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις εξάτμισης καυσίμων από τη δεξαμενή καυσίμων οχημάτων. Μία από αυτές είναι λόγω μετατόπισης του καυσίμου εντός της δεξαμενής κατά την κίνηση του οχήματος. Μία άλλη είναι η διαφυγή ατμών ή η διαρροή καυσίμου κατά τον ανεφοδιασμό της δεξαμενής. Ακόμα, κατά τη λειτουργία ή στάση του οχήματος, οι υψηλές θερμοκρασίες του κινητήρα οδηγούν στην εξάτμιση και διαφυγή καυσίμου από τη δεξαμενή. Παρόμοιο αποτέλεσμα μπορεί να επιφέρει και η απότομη αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας (θερμοκρασία

περιβάλλοντος). Τέλος, η κατάσταση του κινητήρα και της δεξαμενής καυσίμων, που σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι άριστη, μπορεί να οδηγήσει στη διαρροή καυσίμων λόγω διαπερατότητας των εσωτερικών τοιχωμάτων. Όσον αφορά στις εκπομπές λόγω εξάτμισης από σταθερές πηγές, αυτές περιλαμβάνουν τις διαφυγές ατμών από εγκαταστάσεις αποθήκευσης καυσίμων, την εξάτμιση ουσιών που χρησιμοποιούνται για την επίχριση και το βάψιμο επιφανειών, την εξάτμιση λιπαντικών ουσιών και ουσιών για την προστασία εγκαταστάσεων, εξοπλισμού και αεροσκαφών από παγετό.

Συγκεντρωτικά, οι πιο αξιοσημείωτοι ρύποι που εκπέμπονται από τις παραπάνω διαδικασίες καύσης και εξάτμισης στην ευρύτερη περιοχή ενός αεροδρομίου, είναι οι εξής (Ashford & Wright – Bristow & Tight, 2001):

- Στερεά σωματίδια (Particulate Matter - PM)

Τα καυσαέρια, που προκύπτουν από την ατελή καύση που λαμβάνει χώρα στους κινητήρες, είναι πλούσια σε άνθρακα, στον οποίο εύκολα προσκολλώνται οργανικές και ανόργανες ουσίες από το περιβάλλον, σχηματίζοντας στερεά συσσωματώματα. Περιέχουν μια μεγάλη ποικιλία ουσιών, όπως διάφορες οργανικές ύλες. Τα στερεά σωματίδια σχηματίζονται επίσης μέσω χημικών αντιδράσεων, οι οποίες αρχικά οδηγούν στη δημιουργία δευτερευόντων σωματιδίων, όπως τα νιτρικά και τα θειικά άλατα. Τα άλατα αυτά, όπως και τα σωματίδια, θεωρούνται υψηλής επικινδυνότητας, καθώς μπορούν να μετατρέψουν τα υδάτινα αποθέματα σε οξέα με όλους τους κινδύνους που αυτό συνεπάγεται.

Οι επιπτώσεις των στερεών σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία είχαν αρχικά εντοπιστεί στη χημική τους σύσταση, αλλά πλέον οι έρευνες έχουν δώσει έμφαση στην αναγνώριση των συνεπειών που οφείλονται στο φυσικό μέγεθος των σωματιδίων. Μετά την είσοδο ενός σωματιδίου στον οργανισμό, το μέγεθός του καθορίζει πόσο βαθιά αυτό θα διεισδύσει και άρα πόσο τοξικές επιδράσεις θα έχει. Έρευνες που έλαβαν χώρα στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής έδειξαν συσχέτιση της συγκέντρωσης των λεπτόκοκκων σωματιδίων με το ρυθμό θανάτων και το ρυθμό ανάπτυξης ασθενειών, που είναι μάλιστα ανεξάρτητοι από τη σύσταση των σωματιδίων.

Τα λεπτόκοκκα σωματίδια διεισδύουν βαθιά στο αναπνευστικό σύστημα ερεθίζοντας τους ιστούς των πνευμόνων και επιδεινώνοντας ασθένειες όπως η χρόνια βρογχίτιδα, το άσθμα και η γρίπη. Επίσης κάποια μικρά σωματίδια μπορούν να βοηθήσουν στην απορρόφηση καρκινογόνων ουσιών. Αυξημένη ανησυχία έχει δημιουργηθεί ιδιαίτερα για τα σωματίδια PM₁₀ και PM_{2.5} (σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 10 και 2,5 μικρόμετρα αντίστοιχα), καθώς νεότερες έρευνες υποδεικνύουν ότι ένας σημαντικά μεγάλος αριθμός ατόμων (8100) πεθαίνει πρόωρα κάθε χρόνο εξαιτίας της δράσης αυτών των σωματιδίων.

Όσον αφορά στις εκπομπές των κινητήρων των αεροσκαφών, συγκεκριμένα, υπάρχουν κάποιες επιπρόσθετες επιπτώσεις. Η εκπομπή σωματιδίων σε μεγάλα ύψη, στα οποία πλέον συνήθως τα αεροσκάφη, διευκολύνει το σχηματισμό νεφών συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο

στην αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Επίσης, οι εκπομπές που παράγονται από τα αεροσκάφη στα ύψη αυτά παρουσιάζουν έντονη διασπορά στο περιβάλλον. Έρευνες που έχουν διεξαχθεί με τις τελευταίες μεθόδους για τον εντοπισμό της σύστασης των σωματιδίων που εκπέμπονται από τους κινητήρες των αεροσκαφών, σημείωσαν την ύπαρξη βαρέων μετάλλων σε αυτά. Η ανακάλυψη αυτή σε συνδυασμό με τη μεγάλη διασπορά των ρύπων των καυσαερίων αυτών προκαλεί μεγάλη ανησυχία για τις επιπτώσεις των στερεών σωματιδίων τόσο στο περιβάλλον όσο και στη δημόσια υγεία.

Μια άλλη αιτία εκπομπής σωματιδίων, που απαντάται συχνά στα αεροδρόμια, είναι η μεταφορά και εναπόθεση, στους εξωτερικούς χώρους του αεροδρομίου, λεπτόκοκκων υλικών. Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι δομικά υλικά που προορίζονται για διάφορους σκοπούς ή σωροί αλάτων που χρησιμεύουν για την προστασία επιφανειών από το σχηματισμό παγετού. Κατά τη μετατόπιση των υλικών αυτών λόγω μεταφοράς τους ή κατά τη διάβρωση σωρών αυτών από τον άνεμο, διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα λεπτόκοκκα σωματίδια, που αποτελούν κίνδυνο για την υγεία του ανθρώπου, όπως επισημαίνεται παραπάνω.

- Υδρογονάνθρακες (HC)

Ο όρος υδρογονάνθρακες χρησιμοποιείται ευρέως για να περιλάβει όλα τα οργανικά συστατικά που εκπέμπονται από τους κινητήρες (και στα καυσαέρια και λόγω της εξάτμισης από το σύστημα καυσίμων) και περιλαμβάνει πολλά διαφορετικά είδη. Ένας συνήθης διαχωρισμός που πραγματοποιείται είναι σε υδρογονάνθρακες χωρίς μεθάνιο (Non Methane Hydrocarbons – NMHCs) και στο φωτοχημικά μη αντιδρών μεθάνιο (CH_4). Κάποιοι από αυτούς είναι τοξικοί ή καρκινογόνοι (για παράδειγμα το βενζένιο και το 1,3-βουταδιένιο). Η αντιδραστικότητά τους ποικίλλει, για πολλούς από αυτούς όμως, έχει αποδειχθεί ότι συνεισφέρουν στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους ή λειτουργούν ως όξινα ή οξειδωτικά συστατικά. Επίσης, βοηθούν άμεσα ή έμμεσα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, με εξέχουσα τη συμβολή του μεθανίου. Το μεθάνιο μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα από 9 έως 15 έτη και είναι 20 φορές πιο αποτελεσματικό στη δέσμευση της θερμότητας από το διοξείδιο του άνθρακα.

Η σύνθεση των εκπομπών υδρογονανθράκων εξαρτάται κυρίως από τη σύνθεση του καυσίμου κι επομένως αλλαγές στα χαρακτηριστικά των καυσίμων επιφέρουν αλλαγές στις επενέργειές τους. Οι αέριοι υδρογονάνθρακες προέρχονται επίσης από την οποιαδήποτε χρήση, μεταφορά, κτλ. υγρών καυσίμων και φυσικού αερίου, λόγω των διαφυγών που συμβαίνουν.

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα σχηματίζεται από την ατελή οξείδωση των οργανικών ενώσεων του καυσίμου στον κινητήρα. Η επιβλαβής του δράση οφείλεται στο γεγονός ότι απορροφάται πολύ γρήγορα από το αίμα, αντικαθιστώντας το δεσμευμένο οξυγόνο, με αποτέλεσμα τη μείωση της περιεκτικότητάς του σε οξυγόνο. Αυτό μπορεί να επιφέρει συμπτώματα όπως πονοκεφάλους, ζαλάδες, λιποθυμίες, προβλήματα στην όραση, μόνιμες βλάβες στα έμβρυα, διανοητική

καθυστέρηση, καρδιακές και κυκλοφορικές παθήσεις και σε μεγάλο ποσοστό ακόμα και θάνατο. Είναι σχετικά σταθερή ένωση και παίρνει μέρος σε αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα με πολύ αργούς ρυθμούς. Επίσης συνεισφέρει έμμεσα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, μειώνοντας τα ατμοσφαιρικά επίπεδα σε ρίζες υδροξυλίου, και ως εκ τούτου καθυστερώντας τη διάσπαση του μεθανίου, που είναι από τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου.

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)

Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το κύριο προϊόν της καύσης των οργανικών ουσιών και η παρουσία του στον αέρα δε βλάπτει την ανθρώπινη υγεία, τουλάχιστον για τις συνηθισμένες χαμηλές συγκεντρώσεις του. Είναι το πιο άφθονο αέριο του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, και συνεισφέρει κατά 80% περίπου στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης. Ο χρόνος ζωής του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι 50 με 100 χρόνια. Για το λόγο αυτό, το πλήθος των εκπομπών του δεν έχει καμία επιρροή στην αλλαγή του κλίματος.

- Οξείδια του αζώτου (NO_x)

Οι συνήθεις μηχανές καύσης παράγουν κυρίως μονοξείδιο του αζώτου (NO) ως αποτέλεσμα χημικής αντίδρασης οξυγόνου (O_2) και αζώτου (N_2) του ατμοσφαιρικού αέρα, υπό τις συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον κινητήρα. Μπορεί να παραχθεί όμως και από καύση αζώτου που περιέχεται στον ορυκτό άνθρακα ή στο πετρέλαιο, καθώς και από άλλες καύσεις, όπως για παράδειγμα του φυσικού αερίου. Όταν βρεθεί στην ατμόσφαιρα, οξειδώνεται σταδιακά σε διοξείδιο του αζώτου (NO_2), το οποίο μειώνει την ορατότητα και δίνει στον αέρα μία χαρακτηριστική καφεκίτρινη απόχρωση. Αυτό είναι πιο τοξικό από το μονοξείδιο του αζώτου και μπορεί να επιδρά στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου, να επιβαρύνει τη λειτουργία των πνευμόνων και ακόμη να μειώνει την ανθεκτικότητα του οργανισμού σε μολύνσεις.

Τα οξείδια του αζώτου (NO_x) είναι σημαντικά για την ατμοσφαιρική χημεία, καθώς συνεισφέρουν στη δημιουργία του φωτοχημικού νέφους και της όξινης βροχής. Ακόμα, κάποια προϊόντα αντιδράσεων των οξειδίων του αζώτου είναι ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου. Βέβαια, οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου μπορούν είτε να επιταχύνουν είτε να επιβραδύνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, σε ύψη 8 έως 12 χιλιομέτρων, όπου πλέουν συνήθως τα αεροσκάφη, τα παραγόμενα οξείδια του αζώτου συντελούν στο σχηματισμό όζοντος, που βοηθάει στη θέρμανση της ατμόσφαιρας, ενώ ταυτόχρονα αντιδρούν με το μεθάνιο, αναστέλλοντας τη δράση του ως αέριο του θερμοκηπίου.

- Οξείδια του θείου (SO_x)

Το σημαντικότερο από τα οξείδια του θείου είναι το διοξείδιο του θείου (SO_2). Παράγεται κατά την καύση και προέρχεται από το θείο που περιέχεται ως πρόσμειξη στα στερεά και υγρά καύσιμα. Ως εκ τούτου, η συγκέντρωση του στις αέριες εκπομπές εξαρτάται από την περιεκτικότητα του καυσίμου σε θειικά. Η έκθεση στο διοξείδιο του θείου ερεθίζει τη μύτη, το λαιμό και τους πνεύμονες και μεγεθύνει τα συμπτώματα του άσθματος. Μπορεί, επίσης, να

οξειδωθεί στην ατμόσφαιρα σε SO_3 , που στη συνέχεια αντιδρά με τους υδρατμούς σχηματίζοντας θειικό οξύ (H_2SO_4), το οποίο είναι εξαιρετικά επικίνδυνο.

- Όζον (O_3)

Το όζον διαφέρει από τους άλλους ρύπους στο ότι δεν παράγεται απευθείας από τους ρυπαντές, αλλά δημιουργείται από φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα, οι οποίες περιλαμβάνουν οξειδία του αζώτου, υδρογονάνθρακες και άλλα συστατικά. Εκτός από τη συμβολή του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, το όζον σε επίπεδο εδάφους μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα και μόνιμες βλάβες στους πνεύμονες.

- Μόλυβδος (Pb)

Οι ενώσεις του μολύβδου αποτελούν υποπροϊόντα της καύσης καυσίμων που περιέχουν μόλυβδο. Η μείωση της χρήσης καυσίμων με μόλυβδο έχει μειώσει τη συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα κάτω από τα επιτρεπτά όρια. Εν τούτοις, ο μόλυβδος αποτελεί μια αναγνωρισμένη νευροτοξίνη με μεγάλη σταθερότητα και μικρή διασπασιμότητα, με αποτέλεσμα να συσσωρεύεται στον οργανισμό και κυρίως στα οστά. Επιδρά στην παραγωγή και λειτουργία ποικιλίας ενζύμων, επηρεάζοντας πολλές λειτουργίες του μεταβολισμού. Τα αποτελέσματα της χρόνιας τοξικότητας του μολύβδου είναι ευρύτατα και εκδηλώνονται κυρίως με αυξημένη αρτηριακή πίεση, ανωμαλίες στη σύνθεση του αίματος, υπερκινητικότητα και βλάβες στον εγκέφαλο, ιδιαίτερα δε στα παιδιά παρατηρείται μείωση της διανοητικής ικανότητας. Κλινικά συμπτώματα μπορεί να εμφανιστούν για συγκεντρώσεις 0,5 ppm (parts per million) και 0,8 ppm στο αίμα παιδιών και ενηλίκων αντίστοιχα, αλλά τα όρια αυτά είναι απλώς ενδεικτικά, επειδή η επίδραση του μολύβδου ποικίλλει από άτομο σε άτομο. Πάντως τα επίπεδα που μετρώνται συνήθως στους ανθρώπινους ιστούς είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με τα επίπεδα που μπορούν να αρχίσουν να προκαλούν βλάβες, γι' αυτό η οποιαδήποτε επιβάρυνση από μόλυβδο πρέπει να αποφεύγεται.

3.3 Ατμοσφαιρικές επιπτώσεις μεγάλης κλίμακας

Οι εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα, πέρα από τις μεμονωμένες άμεσες επιπτώσεις που έχουν στα οικοσυστήματα και τον ανθρώπινο οργανισμό, προκαλούν και την εμφάνιση περιβαλλοντικών φαινομένων μεγάλης κλίμακας (Χατζημπίρος & Ανδρεαδάκης, 2000), τα οποία αναλύονται στη συνέχεια:

- Το φωτοχημικό νέφος

Οι υψηλές συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου σε συνδυασμό με υψηλές συγκεντρώσεις αέριων υδρογονανθράκων και υπό την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας οδηγούν στον σχηματισμό φωτοχημικού νέφους. Η παρουσία του προκαλεί ερεθισμό των ματιών και του λαιμού

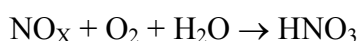
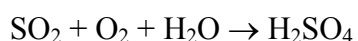
και αναπνευστικά προβλήματα στον άνθρωπο, διάφορες βλάβες στα φυτά και μειωμένη ορατότητα.

Η ύπαρξη θερμοκρασιακής αναστροφής που εγκλωβίζει και συσσωρεύει τους αέριους ρύπους, σε συνδυασμό με έντονη ηλιακή ακτινοβολία, αποτελούν αναγκαίες προϋποθέσεις για τις πολύπλοκες αντιδράσεις που οδηγούν στο φωτοχημικό νέφος. Υπό κανονικές συνθήκες, η θερμοκρασία ελαττώνεται με το ύψος από την επιφάνεια της γης, οπότε δημιουργούνται ανοδικά ρεύματα αέρα, που διευκολύνουν τη διαφυγή των ρύπων προς τα ανώτερα στρώματα. Κατά τη θερμοκρασιακή αναστροφή σχηματίζεται ένα στρώμα θερμότερου και συνεπώς ελαφρότερου αέρα σε ύψος συνήθων μερικών εκατοντάδων μέτρων από το έδαφος, πράγμα που εμποδίζει τη διαφυγή των ρύπων, με αποτέλεσμα την αύξηση των συγκεντρώσεών τους κοντά στο έδαφος.

Το φωτοχημικό νέφος αποτελεί προϊόν πολύπλοκων φωτοχημικών αντιδράσεων. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει την ενέργεια για τη διάσπαση χημικών δεσμών των οξειδίων του αζώτου και πτητικών υδρογονανθράκων, με αποτέλεσμα την παραγωγή ατομικού οξυγόνου και στη συνέχεια όζοντος, διοξειδίου του αζώτου και δραστικών ελεύθερων ριζών, που στη συνέχεια συνθέτουν την ποικιλία ρύπων του φωτοχημικού νέφους.

- Η όξινη βροχή

Ένα σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα που συνδέεται άμεσα με την ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η όξινη βροχή. Το φαινόμενο της όξινης βροχής παρατηρείται κυρίως στην Κεντρική και Δυτική Ευρώπη και στην Ανατολική Βόρεια Αμερική, οφείλεται δε κατά κύριο λόγο στις ανθρωπογενείς εκπομπές SO_2 και NO_x στην ατμόσφαιρα, που έχουν ως συνέπεια την παρουσία θειικού και νιτρικού οξέος στις σταγόνες της βροχής. Οι εκπεμπόμενοι ρύποι οξειδώνονται στην ατμόσφαιρα, αντιδρούν με τους υδρατμούς και σχηματίζουν θειικό και νιτρικό οξύ αντίστοιχα:



Η παρουσία των οξέων αυτών έχει ως συνέπεια τη μικρότερη ή μεγαλύτερη μείωση του pH της βροχής. Η όξινη βροχή μπορεί να εμφανιστεί σε περιοχές που απέχουν δεκάδες χιλιόμετρα από τον τόπο εκπομπής, λόγω της αερομεταφοράς των ρύπων.

Τα βλαβερά αποτελέσματα της όξινης βροχής στα οικοσυστήματα έχουν περισσότερο ή λιγότερο τεκμηριωθεί από πολλές έρευνες. Σε λίμνες και ποτάμια της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης η μείωση του pH έχει προκαλέσει σοβαρές βλάβες σε πολλούς πληθυσμούς υδρόβιων οργανισμών. Σε παράκτια θαλάσσια οικοσυστήματα η εισροή αζώτου στο νερό με την όξινη βροχή αποτελεί σοβαρό παράγοντα ευτροφισμού. Εξάλλου, η όξινη βροχή έχει κατηγορηθεί για την υποβάθμιση δασών της Κεντρικής Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής, κυρίως λόγω της ταπείνωσης του εδαφικού pH την οποία προκαλεί. Ανάλογες βλάβες μπορεί να προκαλέσει και στις γεωργικές καλλιέργειες. Έχουν διατυπωθεί φόβοι ότι η μείωση του pH του εδάφους μπορεί

να διευκολύνει την πρόσληψη ορισμένων βαρέων μετάλλων από τα φυτά σε βαθμό επικίνδυνο για τους καταναλωτές τους, ζώα ή ανθρώπους.

Εκτός από τις βλάβες στα οικοσυστήματα, η όξινη βροχή μπορεί να προκαλέσει σοβαρότατες υλικές ζημιές. Επιταχύνει τη διάβρωση του σιδήρου, του ψευδάργυρου, του χαλκού και του αλουμινίου, με αποτέλεσμα να προκαλούνται σοβαρές βλάβες σε πολλές ανθρώπινες κατασκευές και ειδικά σε ιστορικά μνημεία.

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Παρόλο που κινείται μέσα στις εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες του διαστήματος, η επιφάνεια της γης διατηρεί μία θερμοκρασία ήπια και ευνοϊκή για τη ζωή, με μέση τιμή περίπου 15°C. Η άμεση θέρμανσή της από τον ήλιο, μαζί με μια μικρή συνεισφορά θερμότητας από το εσωτερικό του πλανήτη δε θα μπορούσαν να υψώσουν τη μέση θερμοκρασία πάνω από τους -18°C. Η διαφορά των 33°C οφείλεται στη φυσική διεργασία που ονομάζεται «φαινόμενο θερμοκηπίου», και η οποία θερμαίνει την κατώτερη ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα), συμβάλλοντας στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος πιο φιλικού για τη ζωή. Συντελεστές του φαινομένου είναι ορισμένα ιχνοαέρια της γήινης ατμόσφαιρας που συχνά αναφέρονται ως «αέρια θερμοκηπίου» και τα οποία είναι σχετικά διαφανή για την προσπίπτουσα ορατή και υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία, αλλά απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη θερμαινόμενη επιφάνεια της γης.

Ενδεχόμενη αύξηση της παρουσίας των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα θα προκαλούσε αλλαγή στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας και συνακόλουθη διατάραξη της υφιστάμενης θερμικής ισορροπίας, με συνέπεια να αυξηθεί η ποσότητα ενέργειας που παγιδεύεται στην τροπόσφαιρα και να μεταβληθεί το κλίμα του πλανήτη. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η ρύπανση της ατμόσφαιρας από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, προκαλώντας τέτοιες αλλαγές, μεγαλώνει την ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο, ενώ στο παρελθόν ήταν ένα φυσικό φαινόμενο, τώρα αποτελεί ένα πολύ σοβαρό περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H₂O). Ο ρόλος τους όμως στη θέρμανση της ατμόσφαιρας είναι πολύπλοκος, διότι αφ' ενός μεν ενδυναμώνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αφ' ετέρου δε σχηματίζουν τα νέφη, τα οποία αυξάνουν την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας προς το διάστημα. Εξάλλου η ανθρώπινη δραστηριότητα δεν ασκεί μεγάλη επίδραση στη μέση υγρασία της ατμόσφαιρας. Έτσι, μεταξύ των αερίων θερμοκηπίου των οποίων η αύξηση είναι ανθρωπογενής, την πρώτη θέση κατέχει το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), τη δεύτερη οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), ενώ ακολουθούν το μεθάνιο (CH₄), το οξείδιο του αζώτου (N₂O) και το όζον (O₃) της τροπόσφαιρας.

3.4 Ρύπανση από τις επί μέρους πηγές αεροδρομίου

3.4.1 Ρύπανση από τα αεροσκάφη

Η προκαλούμενη ρύπανση από τα αεροσκάφη χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: Στη ρύπανση από τη λειτουργία των κινητήρων και στις εκπομπές λόγω διαφυγών από το σύστημα καυσίμων.

Οι ρύποι που περιέχονται στα καυσαέρια των αεροσκαφών, αποτελούνται κυρίως από διοξείδιο του άνθρακα, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου και στερεά σωματίδια. Επίσης, περιέχουν επιβλαβή οργανικά οξέα και ενώσεις του θείου (Herz Olivier, 1993). Η ποσότητα των συστατικών που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα είναι συνάρτηση του τύπου του κινητήρα που φέρει το αεροσκάφος, της φάσης λειτουργίας του κινητήρα και της διάρκειας λειτουργίας του κινητήρα ανά φάση.

Το σύνολο των φάσεων λειτουργίας του κινητήρα του αεροσκάφους, ορίζεται από τον ICAO ως κύκλος προσγείωσης-απογείωσης (Landing & Take Off cycle – LTO cycle). Περιλαμβάνει τις διαφορετικές φάσεις λειτουργίας ενός αεροσκάφους όταν αυτό βρίσκεται στο αεροδρόμιο ή κοντά σε αυτό. Ο κύκλος προσγείωσης-απογείωσης ξεκινά όταν το αεροσκάφος πραγματοποιεί την τελική προσέγγιση κατά τη διαδικασία της προσγείωσης. Τελική προσέγγιση είναι η φάση καθόδου του αεροσκάφους από τα 1000m ύψος μέχρι την επαφή του ριναίου συστήματος τροχών με το διάδρομο προσγείωσης. Η επόμενη φάση του κύκλου είναι η τροχοδρόμηση ή αναμονή και περιλαμβάνει την πορεία ή στάση του αεροσκάφους από τη στιγμή που ακουμπά στο διάδρομο μέχρι την άφιξη του στη θέση στάθμευσης, όπου ακινητοποιείται και απενεργοποιείται ο κινητήρας. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται ακόμα μία φορά στον κύκλο, κατά την πορεία του αεροσκάφους από το δάπεδο όπου σταθμεύει μέχρι τη θέση έναρξης της απογείωσης στο διάδρομο απογείωσης. Ακολουθεί η φάση της απογείωσης που ολοκληρώνεται όταν το αεροσκάφος, μετά την αποκόλληση των τροχών από το διάδρομο, φτάσει σε κάποιο μικρό καθορισμένο ύψος (από 150 ως 300 μέτρα). Τελευταία είναι η φάση ανόδου, η οποία έπεται της απογείωσης και ορίζεται μέχρι την άφιξη του αεροσκάφους σε ύψος 1000m. Αυτή είναι η διαδοχή των φάσεων στον κύκλο προσγείωσης-απογείωσης, όπως ορίζεται από τον ICAO. Είναι δε μια διάκριση κοινώς αποδεκτή από την επιστημονική κοινότητα (αν και στους τελευταίους κανονισμούς της FAA περιλαμβάνεται ως επίσημη φάση και αυτή της αντίστροφης ώθησης κατά την προσγείωση του αεροσκάφους).

Οι εκπομπές που περιέχονται στα καυσαέρια των αεροσκαφών, διαφέρουν για κάθε φάση λειτουργίας, λόγω της διαφορετικής ροής καυσίμου στον κινητήρα, του διαφορετικού ρυθμού καύσεων και των διαφορετικών συνθηκών που επικρατούν σε αυτόν (Herz, 1993 – Janic, 1999). Έτσι, κατά τη φάση τροχοδρόμησης ή αναμονής των αεροσκαφών, όπου ο ρυθμός ροής του καυσίμου είναι υψηλός, γίνεται κατά κύριο λόγο η δημιουργία του μονοξειδίου του άνθρακα και η μεγαλύτερη παραγωγή υδρογονανθράκων. Όσον αφορά στα οξείδια του αζώτου, τα οποία αποτελούν τον κρισιμότερο ρύπο που εκπέμπεται από τους κινητήρες των αεροσκαφών, αυτά

σχηματίζονται όταν οι κινητήρες λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες, δηλαδή κατά την προσέγγιση, τη φάση ανόδου και κυρίως κατά την απογείωση του αεροσκάφους. Το ίδιο ισχύει και για τα στερεά σωματίδια, τα οποία εκπέμπονται κατά την απογείωση και τη φάση ανόδου, όπου οι κινητήρες λειτουργούν σε μεγάλη ισχύ και η απόδοση της καύσης είναι χαμηλότερη.

Η εξάτμιση καυσίμων από τον κινητήρα και η διαφυγή καυσίμων κατά τη διαδικασία ανεφοδιασμού των αεροσκαφών, αποτελούν μία ακόμα αιτία ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που οφείλεται στη λειτουργία των αεροσκαφών. Οι ρύποι που εκπέμπονται με αυτό τον τρόπο είναι πτητικοί υδρογονάνθρακες, που απελευθερώνονται στο χώρο του αεροδρομίου.

3.4.2. Ρύπανση από τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας

Οι βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας αποτελούν εξαρτήματα των μεγάλων αεροσκαφών. Είναι τουρμπινοκίνητες γεννήτριες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και συμπιεσμένο αέρα για τη λειτουργία των οργάνων, του φωτισμού, του εξαερισμού και άλλων συστημάτων του αεροσκάφους, ενώ οι κύριες μηχανές του βρίσκονται εκτός λειτουργίας. Μια άλλη συνήθης χρήση τους είναι η παροχή ενέργειας για το ξεκίνημα των κυρίων μηχανών. Οι βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας καταναλώνουν καύσιμα αεροσκαφών, παράγοντας ρύπους με τον ίδιο τρόπο που παράγουν και οι κινητήρες των αεροσκαφών (FAA Air Quality Handbook, 1997).



Εικόνα 3.1 : Βοηθητική Μονάδα Παροχής Ενέργειας Αεροσκάφους (Πηγή: 2001 New Tokyo International Airport Environmental Report)

Κατά τη διάρκεια ενός κύκλου προσγείωσης-απογείωσης, οι βοηθητικές μονάδες τίθενται σε λειτουργία στην τροχοδρόμηση του αεροσκάφους από το διάδρομο ως τα δάπεδα στάθμευσης. Παραμένουν σε λειτουργία καθώς το αεροσκάφος είναι σταθμευμένο, εκτός αν μία εναλλακτική πηγή ενέργειας και αέρα τις αντικαταστήσει. Σε αυτή την περίπτωση οι βοηθητικές μονάδες τίθενται και πάλι σε λειτουργία, τουλάχιστον πέντε με δέκα λεπτά πριν την αναχώρηση του αεροσκάφους από το δάπεδο στάθμευσης, ώστε να μπορέσουν να παράσχουν ενέργεια για το

ξεκίνημα των κυρίων μηχανών. Τυπικά, οι βοηθητικές μονάδες απενεργοποιούνται μετά το ξεκίνημα των κινητήρων του αεροσκάφους, πριν από την απογείωση.

Οι βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας αποτελούν σημαντική πηγή ρύπανσης των αεροδρομίων και για το λόγο αυτό λαμβάνονται υπόψη στις περισσότερες καταγραφές εκπομπών. Οι ρύποι που παράγονται από τη λειτουργία τους είναι οι ίδιοι με αυτούς που εκπέμπουν τα αεροσκάφη. Ανάλογα με την ισχύ λειτουργίας τους παράγονται περισσότεροι ή λιγότεροι υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, στερεά σωματίδια, οξείδια του αζώτου και του θείου.

3.4.3 Ρύπανση από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους

Τα οχήματα και τα μηχανήματα αυτής της κατηγορίας εξυπηρετούν τις λειτουργικές ανάγκες των αεροσκαφών, όπως τον ανεφοδιασμό τους, την φόρτωση και εκφόρτωση των επιβατών, των αποσκευών και των εμπορευμάτων, κ.ά.. Ακολουθεί ένας συνοπτικός κατάλογος με τους κυριότερους τύπους των οχημάτων αυτών και τις διάφορες χρήσεις τους (Πηγή: FAA Air Quality Handbook, 1997 – Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών):

- Βυτιοφόρα – Είναι οχήματα για τη μεταφορά υγρών καυσίμων και νερού (υδροφόρες) για τον ανεφοδιασμό των αεροσκαφών.



Εικόνα 3.2 : Όχημα Μεταφοράς Πόσιμου Νερού (Πηγή: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών)

- Ελκυστήρες αεροσκαφών – Έλκουν τα αεροσκάφη στο διάδρομο και τα δάπεδα στάθμευσης. Επίσης τα έλκουν στα υπόστεγα συντήρησης (εικόνα 3.4).
- Κινητές γεννήτριες εδάφους – Είναι κινητές μονάδες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα σταθμευμένα αεροσκάφη.



Εικόνα 3.3 : Κινητή Γεννήτρια Εδάφους (Πηγή: 2001 New Tokyo International Airport Environmental Report)

- Κλίμακες επιβατών – Είναι κινητές μονάδες ή οχήματα που φέρουν κλίμακες για την είσοδο των επιβατών στα αεροσκάφη.
- Μεταφορικές ταινίες – Είναι κινητοί μηχανισμοί με μεταφορικές ταινίες για τη μεταφορά αποσκευών.
- Μονάδες κλιματισμού – Παρέχουν καθαρό αέρα για τον αερισμό και τον κλιματισμό των αεροσκαφών.
- Μονάδες παροχής συμπιεσμένου αέρα – Παρέχουν μεγάλες ποσότητες συμπιεσμένου αέρα στους κινητήρες των αεροσκαφών, ώστε να τεθούν σε λειτουργία. Ονομάζονται και αεροκινητές.
- Οχήματα αποπαγοποίησης – Είναι οχήματα για τη μεταφορά, αποθήκευση και τον ψεκασμό υγρού για την προστασία από παγετό.
- Οχήματα επισκευής – Είναι ειδικά διαμορφωμένα οχήματα για τη συντήρηση και την επισκευή των αεροσκαφών στις εγκαταστάσεις συντήρησης.
- Οχήματα θέρμανσης – Είναι κινητές μονάδες παροχής θερμού αέρα για τη θέρμανση των αεροσκαφών.
- Οχήματα μεταφοράς αποσκευών – Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά αποσκευών από τον αεροσταθμό στα αεροσκάφη και αντίστροφα.
- Οχήματα μεταφοράς επιβατών με ειδικές ανάγκες – Είναι οχήματα μεταφοράς επιβατών, κατάλληλα τροποποιημένα ώστε να εξυπηρετούν επιβάτες με ειδικές ανάγκες.
- Οχήματα μεταφοράς λυμάτων – Χρησιμοποιούνται για την ασφαλή μεταφορά και εναπόθεση των στερεών και υγρών λυμάτων.
- Οχήματα μεταφοράς προσωπικού – Εκτελούν μεταφορικές υπηρεσίες του προσωπικού εντός του αερολιμένα. Περιλαμβάνουν αυτοκίνητα, μικρά ή μεγαλύτερα φορτηγά και μικρά λεωφορεία.

- Οχήματα φορτοεκφόρτωσης εμπορευμάτων – Χρησιμοποιούνται για την μεταφορά, ανύψωση και φορτοεκφόρτωση αποσκευών, εμπορευμάτων και εμπορευματοκιβωτίων (containers). Περιλαμβάνουν οχήματα ανύψωσης καλαθιού, οχήματα ανύψωσης πλατφόρμας, περionoφόρα οχήματα και κάθε είδους φορτωτή.
- Οχήματα φωτισμού – Είναι οχήματα που παρέχουν φωτισμό.
- Φορτηγά τροφοδοσίας – Είναι φορτηγά μεταφοράς προϊόντων που χρειάζονται για τη διεξαγωγή των πτήσεων, όπως τρόφιμα, ποτά, είδη προς πώληση, κτλ.

Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και οχήματα που εξυπηρετούν άλλες ανάγκες του αεροδρομίου, όπως οχήματα της διεύθυνσης, οχήματα εκτάκτου ανάγκης (αστυνομικά, πυροσβεστικά, ασθενοφόρα), διάφορα οχήματα των υπηρεσιών που λειτουργούν στο χώρο του αεροδρομίου, μηχανήματα χωματουργικών εργασιών, οχήματα των υπηρεσιών συντήρησης και καθαρισμού, απορριμματοφόρα, οχήματα κηπουρικής, κ.ά. Τέλος, ανάλογα με τις τοπικές κλιματικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται και οχήματα για τη συντήρηση του αεροδρομίου, με εποχιακή ή τοπική χρησιμότητα, όπως εκχιονιστικά μηχανήματα.

Τα οχήματα αυτά στην πλειοψηφία τους λειτουργούν με υγρά καύσιμα, δηλαδή πετρέλαιο ή βενζίνη, με αποτέλεσμα να εκπέμπονται οι συνήθεις ρύποι από καύση, λόγω της λειτουργίας των κινητήρων. Τα τελευταία χρόνια, βέβαια, ο εξοπλισμός εδάφους των αεροδρομίων εμπλουτίζεται όλο και περισσότερο με οχήματα που χρησιμοποιούν εναλλακτικές πηγές ενέργειας ή ηλεκτρισμό και με οχήματα που μπορούν να χρησιμοποιούν είτε συμβατικά καύσιμα είτε εναλλακτικές μορφές ενέργειας (υβριδικά). Παραδείγματα εναλλακτικών καυσίμων είναι το συμπιεσμένο ή υγροποιημένο φυσικό αέριο και το προπάνιο, τα οποία παράγουν λιγότερο επιβλαβείς εκπομπές.



Εικόνα 3.4 : Ελκυστήρας Αεροσκαφών που Λειτουργεί με Φυσικό Αέριο (Πηγή: 2001 New Tokyo International Airport Environmental Report)

3.4.4 Ρύπανση από τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων

Ο δεύτερος σημαντικότερος παράγοντας ρύπανσης λόγω της λειτουργίας των αεροδρομίων είναι συνήθως τα προσερχόμενα στον αερολιμένα οχήματα (Farias & Apsimon, 2005), για την εξυπηρέτηση των επιβατών, των επισκεπτών και των εργαζομένων του αερολιμένα (πλην των οχημάτων που ανήκουν στον εξοπλισμό του αερολιμένα). Η λειτουργία των αεροδρομίων, λόγω της φύσης των παρεχόμενων υπηρεσιών, αποτελεί ένα πολύ σημαντικό πόλο έλξης μετακινήσεων. Οι μετακινήσεις αυτές, που πραγματοποιούνται είτε με οχήματα ιδιωτικής χρήσεως είτε με μέσα μαζικής μεταφοράς, εξαιτίας του ιδιαίτερα μεγάλου αριθμού τους καθημερινά, συνεισφέρουν σημαντικά στην παραγόμενη από το αεροδρόμιο ρύπανση. Καθώς, λοιπόν οι μετακινήσεις αυτές, όπως και η γεννώμενη από αυτές ρύπανση, δε θα υφίσταντο χωρίς τη λειτουργία του αεροδρομίου, συγκαταλέγουμε τις εκπομπές που παράγουν στη γενικότερη επιβάρυνση που προκαλεί το αεροδρόμιο στο περιβάλλον.

Οι εκπομπές που προκύπτουν από τα μέσα μετακίνησης διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: Εκπομπές από τη λειτουργία των μέσων στη διαδρομή τους προς και από το αεροδρόμιο καθώς και εντός της ιδιοκτησίας του αερολιμένα και εκπομπές που γεννώνται κατά τη διαδικασία της στάθμευσης στους χώρους στάθμευσης του αεροδρομίου.

Τα οχήματα που μεταφέρουν όλους τους ενδιαφερόμενους προς το αεροδρόμιο, εκκινούν από ένα σημείο προέλευσης κατευθυνόμενα προς τον αερολιμένα, εισδύουν στην ευρύτερη περιοχή του αερολιμένα (αυτή είναι η συμβατικά ορισμένη περιοχή γύρω από τον αερολιμένα, για την οποία μας ενδιαφέρει η καταγραφή ρύπων) και μετά από κάποιο χρόνο ταξιδιού μέσα σε αυτή τη ζώνη, εισέρχονται στην ιδιοκτησία του αεροδρομίου. Κατά την αποχώρηση από τον αερολιμένα επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία με αντίστροφη διαδοχή των επιμέρους βημάτων. Η καταγραφή εκπομπών εκτελείται από τη στιγμή που το όχημα εισέρχεται στην ορισμένη ζώνη ενδιαφέροντος και παύει τη στιγμή που εξέρχεται από αυτήν. Κατά την προσέγγιση του αερολιμένα, τα οχήματα (εκτός των μέσων σταθερής τροχιάς) κινούνται σε αυτοκινητόδρομους ή σε κεντρικές οδούς με μεγάλη ταχύτητα. Αφού εισέλθουν στον χώρο του αεροδρομίου, η ταχύτητα μειώνεται σημαντικά καθώς αναζητείται σημείο προσωρινής στάσης ή στάθμευσης. Η διάκριση αυτή γίνεται επειδή η διαφορά στη μέση ταχύτητα και επομένως και στη λειτουργία του κινητήρα, έχει ως αποτέλεσμα τη γένεση διαφορετικών ποσοτήτων εκπομπών, όπως περιγράφεται παραπάνω και για τα αεροσκάφη.

Για τον ίδιο λόγο, η δεύτερη κατηγορία διάκρισης των εκπομπών από τα μέσα μετακίνησης προς και από το αεροδρόμιο, είναι η στάθμευση των οχημάτων. Η κίνηση των οχημάτων εντός των χώρων στάθμευσης για την αναζήτηση θέσης στάθμευσης, εκτελείται με πολύ μικρές ταχύτητες (γύρω στα 20 km/h) και περιλαμβάνει και περιόδους αναμονής. Η λειτουργία του κινητήρα σε αυτές τις συνθήκες θέτει σε διαφορετική λειτουργία τους μηχανισμούς γένεσης ρύπων απ' ότι η κίνηση των οχημάτων επί των οδών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφορετικών εκπομπών.

Τα οχήματα που εξυπηρετούν τις ανάγκες για μετακίνηση χωρίζονται σε κατηγορίες, σύμφωνα με τις εκπομπές που παράγουν για μια δεδομένη μετακίνηση. Οι πιο ευρέως διαδεδομένες κατηγορίες είναι οι εξής:

- Δίκυκλα και τρίκυκλα οχήματα
- Επιβατικά αυτοκίνητα
- Ημιφορτηγά
- Φορτηγά αυτοκίνητα
- Λεωφορεία
- Μέσα σταθερής τροχιάς

Για την ακριβέστερη απεικόνιση της πραγματικότητας, τα οχήματα μπορούν να διακριθούν και σε περισσότερες επιμέρους κατηγορίες με βάση τον κυβισμό, την κατανάλωση καυσίμου ή το μεικτό βάρος.

Τα οχήματα που προαναφέρθηκαν, είναι στη συντριπτική πλειοψηφία τους βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα. Η λειτουργία τους έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα, μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και του θείου, υδρογονανθράκων, στερεών σωματιδίων και ενώσεων του μολύβδου. Οι εκπομπές, βέβαια, διαφέρουν για κάθε κατηγορία, εφόσον αλλάζει ο κινητήρας του οχήματος. Τα λεωφορεία και πολύ σπάνια και τα επιβατικά αυτοκίνητα, χρησιμοποιούν και εναλλακτικά καύσιμα, όπως φυσικό αέριο, εκπέμποντας σημαντικά μικρότερες ποσότητες ρύπων από τα αντίστοιχα με συμβατικά καύσιμα. Τα μέσα σταθερής τροχιάς είναι είτε ηλεκτροκίνητα είτε πετρελαιοκίνητα. Στην πρώτη περίπτωση δεν εκπέμπουν ρύπους στην ευρύτερη περιοχή του αερολιμένα και ως εκ τούτου δεν προκαλούν καμία επιβάρυνση στην ατμόσφαιρα της περιοχής με τη λειτουργία τους. Όταν όμως λειτουργούν με πετρέλαιο, τα μέσα σταθερής τροχιάς παράγουν ρύπους, εξαιτίας των καύσεων που πραγματοποιούνται στον κινητήρα, οι οποίοι δε μπορούν να αγνοηθούν.

Μια πιο ενδελεχής εξέταση των μηχανισμών γένεσης ρύπων από τη λειτουργία των κινητήρων, μας οδηγεί στον εντοπισμό και μιας άλλης αιτίας ρύπανσης, πέρα από την καύση. Αυτή είναι η εξάτμιση των καυσίμων από τον κινητήρα, κατά τις διάφορες φάσεις λειτουργίας του οχήματος. Η διάχυση πτητικών ρύπων στην ατμόσφαιρα συντελείται κατά τη λειτουργία του κινητήρα, αμέσως μετά την ακινητοποίηση του οχήματος και κατά τη στάθμευσή του για ορισμένο χρονικό διάστημα. Οι εκπομπές αυτές στη συνήθη πρακτική αμελούνται, λόγω του σημαντικού όγκου πληροφοριών που απαιτείται για τον υπολογισμό τους και της μικρής συνεισφοράς τους στο σύνολο.

3.4.5 Ρύπανση από τις σταθερές πηγές

Εκτός από τις προαναφερθείσες κατηγορίες πηγών ρύπανσης, οι οποίες έχουν το κοινό χαρακτηριστικό ότι είναι κινητές και προκαλούν γραμμική ή χωρική διασπορά των ρύπων, στο

χώρο του αεροδρομίου λειτουργούν και σταθερές σημειακές πηγές εκπομπών, των οποίων η συνεισφορά είναι αρκετά σημαντική. Στις σταθερές πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων των αεροδρομίων περιλαμβάνονται πηγές καύσης και απλής έκθεσης (FAA Air Quality Handbook, 1997). Οι κυριότερες σταθερές πηγές καύσης είναι:

- Εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης

Σε περιπτώσεις μεγάλων αεροδρομίων, όπου οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια είναι υψηλές και δεν επαρκεί η ηλεκτροδότηση από το εθνικό δίκτυο, κατασκευάζονται ξεχωριστές εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης, για αποκλειστική χρήση από τον αερολιμένα. Οι εγκαταστάσεις αυτές συνήθως λειτουργούν με στερεά καύσιμα (για παράδειγμα λιγνίτη).



Εικόνα 3.5 : Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης (Πηγή: 2001 New Tokyo International Airport Environmental Report)

- Εγκαταστάσεις θέρμανσης

Στις διάφορες υπηρεσίες ενός αεροδρομίου λειτουργούν εγκαταστάσεις θέρμανσης του νερού και εγκαταστάσεις για τη θέρμανση των εσωτερικών χώρων. Οι σταθερές αυτές πηγές καύσης καταναλώνουν διάφορα είδη καυσίμων, όπως πετρέλαιο, φυσικό αέριο και κατά περιπτώσεις καύσιμα αεροσκαφών.



Εικόνα 3.6 : Εγκαταστάσεις Θέρμανσης (Πηγή: 2001 New Tokyo International Airport Environmental Report)

- Γεννήτριες εκτάκτου ανάγκης

Σε περιόδους εκτάκτου ανάγκης, για παράδειγμα σε βλάβη του δικτύου ηλεκτροδότησης, δεν είναι εφικτή η κάλυψη των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων ενός αερολιμένα. Η φύση, όμως των παρεχόμενων υπηρεσιών ενός αερολιμένα δεν επιτρέπει τη διακοπή της λειτουργίας του για οποιοδήποτε λόγο. Έτσι, είναι απαραίτητη η ύπαρξη αυτόνομου συστήματος ηλεκτροδότησης για την κάλυψη των στοιχειωδών αναγκών του αεροδρομίου, ώστε να συνεχιστεί η λειτουργία του μέχρι την πλήρη αποκατάσταση της ηλεκτροδότησης. Προβλέπεται, λοιπόν, η ύπαρξη γεννητριών ηλεκτρισμού για την έκτακτη υποστήριξη του συστήματος. Οι γεννήτριες αυτές λειτουργούν συνήθως με υγρά καύσιμα ή φυσικό αέριο.

- Αποτεφρωτήρες

Σε ορισμένες περιπτώσεις αεροδρομίων χρησιμοποιούνται ειδικές εγκαταστάσεις αποτέφρωσης για την καταστροφή και ασφαλέστερη διάθεση στο περιβάλλον των αποβλήτων του αεροδρομίου. Καθώς δε συνηθίζεται η εγκατάσταση στο χώρο του αερολιμένα μεγάλων αποτεφρωτήρων για την καταστροφή σημαντικών ποσοτήτων δημοτικών αποβλήτων, τα απόβλητα συνίστανται κυρίως από οργανικά απορρίμματα των πτήσεων (τρόφιμα για παράδειγμα) και η καύση τους παράγει τις συνήθεις εκπομπές ρύπων.

- Ασκήσεις πυροσβεστικής υπηρεσίας

Η πυροσβεστική υπηρεσία που φροντίζει για την προστασία του αερολιμένα, αλλά και των γύρω περιοχών συνήθως, πραγματοποιεί σε τακτά χρονικά διαστήματα ασκήσεις προσομοίωσης καταστάσεων ανάγκης. Στις ασκήσεις αυτές δημιουργούνται τεχνητές εστίες πυρκαγιάς, τις οποίες οι πυροσβέστες καλούνται να κατασβέσουν. Οι ρύποι που εκπέμπονται από τις ασκήσεις αυτές εξαρτώνται από το είδος της άσκησης, τον τύπο και την ποσότητα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.

- Δοκιμές κινητήρων αεροσκαφών

Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη, δοκιμάζονται πριν τη χρήση τους σε ειδικές εγκαταστάσεις ελέγχου, όπου παρακολουθείται η απόδοσή τους (εικόνα 3.7). Οι εγκαταστάσεις αυτές βρίσκονται στο χώρο των αεροδρομίων και ως εκ τούτου οι εκπομπές που παράγονται από τη διαδικασία αυτή, εμπίπτουν στις εκπομπές του αεροδρομίου. Οι κινητήρες τίθενται σε λειτουργία και λειτουργούν σε διάφορες στάθμες ισχύος, προσομοιάζοντας τις διάφορες φάσεις πραγματικής λειτουργίας (LTO cycle). Κατά τη λειτουργία τους εκπέμπουν ρύπους με τον ίδιο τρόπο που εκπέμπουν και τα αεροσκάφη. Οι ρύποι αυτοί επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα της ευρύτερης περιοχής και επομένως δε μπορούν να αγνοηθούν.

Από τις ανωτέρω δραστηριότητες εκπέμπονται τα συνήθη προϊόντα και υποπροϊόντα των αντιδράσεων καύσης, η σύσταση και η ποσότητα των οποίων διαφέρει για κάθε δραστηριότητα. Από όλες τις πηγές παράγονται μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, ως κύριο προϊόν των πραγματοποιούμενων καύσεων, το οποίο αποτελεί το σημαντικότερο αέριο του θερμοκηπίου. Οι σημαντικότερες ποσότητες παράγονται από τις εγκαταστάσεις θέρμανσης και ηλεκτροδότησης, λόγω του μεγάλου όγκου καυσίμων που χρησιμοποιούν. Από τις καύσεις που πραγματοποιούνται

σε αυτές, παράγεται επίσης μονοξείδιο του άνθρακα, στερεά σωματίδια, άκαυστοι υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου και σε κάποιες περιπτώσεις οξείδια του θείου. Η μείωση του ποσοστού του μολύβδου στα καύσιμα και η σταδιακή υποσκέλισή του, οδηγούν στη δημιουργία εκπομπών με ολοένα και πιο μικρό ποσοστό μολύβδου. Ένα σημαντικό ποσοστό των ρύπων που παράγονται από τις εγκαταστάσεις αυτές, δεσμεύεται από κατάλληλες διατάξεις, οι οποίες είναι ενσωματωμένες στις θέσεις εξόδου των καυσαερίων, μη επιτρέποντάς την απελευθέρωσή του στην ατμόσφαιρα. Το ποσοστό αυτό δεν είναι σταθερό, καθώς εξαρτάται από τον τύπο της εγκατάστασης, του καυσίμου και τη διάταξη ελέγχου, αλλά η ύπαρξη των διατάξεων κατακράτησης ρύπων είναι υποχρεωτική.



Εικόνα 3.7 : Υπόστεγο Δοκιμών Κινητήρων Αεροσκαφών (Πηγή: 2000 Munich International Airport Report)

Στους αποτεφρωτήρες, όπου τα υλικά προς απόρριψη είναι κυρίως οργανικά, απαντώνται οι συνήθεις εκπομπές λόγω καύσης. Και σε αυτή την περίπτωση προβλέπονται διατάξεις περιορισμού των εκπεμπόμενων ρύπων ή μετακαυστήρες, οι οποίοι συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση της ατμοσφαιρικής επιβάρυνσης. Η ποσότητα των εκπομπών εξαρτάται από τη συνολική μάζα των αποβλήτων που αποτεφρώνονται, ενώ η σύσταση αυτών καθορίζει το είδος των παραγόμενων ρύπων.

Σε αντίθεση με τις προαναφερθείσες κλειστές εγκαταστάσεις, οι ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας, που περιλαμβάνουν την κατάσβεση τεχνητών εστιών πυρκαγιάς, εκπέμπουν απευθείας στον αέρα, καθώς πραγματοποιούνται σε ανοιχτούς χώρους και οι εκπομπές δεν περνούν από διατάξεις κατακράτησης ρύπων. Από τις ασκήσεις αυτές απελευθερώνονται κυρίως μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογονάνθρακες και δευτερευόντως άλλα υποπροϊόντα λόγω καύσης. Η σύσταση των εκπομπών εξαρτώνται από το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Συνήθως επιλέγεται προπάνιο και σπανιότερα πετρέλαιο, βενζίνη ή καύσιμο αεροσκαφών (JP-4,

JP-8, κ.ά.). Το πρώτο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο, καθώς δεν απελευθερώνει μεγάλες στήλες καπνού (με κύριο ρύπο τα στερεά σωματίδια), όπως η καύση των άλλων καυσίμων.

Οι κινητήρες των αεροσκαφών εκπέμπουν ρύπους κατά τη διάρκεια δοκιμών, ακριβώς όπως τα αεροσκάφη που λειτουργούν στον αερολιμένα. Η πλειοψηφία των δοκιμών πραγματοποιείται σε κλειστές εγκαταστάσεις για τον περιορισμό της ηχητικής όχλησης. Σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν ειδικές διατάξεις απαγωγής των καυσαερίων, οι οποίες φιλτράρουν τις εκπομπές προτού διοχετευτούν στην ατμόσφαιρα. Οι ρύποι που παράγονται από τις δοκιμές των κινητήρων είναι αντίστοιχοι σε ποσότητα και σύσταση με αυτούς που παράγονται από τη λειτουργία των αεροσκαφών κι επομένως κυρίαρχο ρόλο έχουν τα οξείδια του αζώτου.

Αρκετά μικρότερη είναι η συνεισφορά των σταθερών πηγών που εκπέμπουν ρύπους λόγω έκθεσης ουσιών στον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο αριθμός αυτών των πηγών εντός αεροδρομίου ποικίλλει και μπορεί να οδηγήσει σε μη αμελητέα αύξηση των συγκεντρώσεων των ρύπων στην ατμόσφαιρα της ευρύτερης περιοχής του αερολιμένα, γι' αυτό και δεν πρέπει να αγνοούνται. Το χαρακτηριστικό των εκπομπών αυτής της κατηγορίας είναι ότι κάθε πηγή απελευθερώνει συνήθως ένα τύπο ρύπου, σε αντίθεση με την ποικιλία των εκπομπών που παράγονται λόγω καύσης. Οι κυριότερες πηγές αυτής της κατηγορίας είναι οι εξής:

- Δεξαμενές καυσίμων

Σε μερικές περιπτώσεις αεροδρομίων, τα καύσιμα που εξυπηρετούν τη λειτουργία των αεροσκαφών και του αερολιμένα, αποθηκεύονται σε δεξαμενές. Οι δεξαμενές έχουν πρακτικά μηδενική διαπερατότητα, όμως εξαιτίας της τάσης ατμών των καυσίμων και της διαφοράς πίεσης εντός και εκτός της δεξαμενής, πραγματοποιείται απελευθέρωση μικρών ποσοτήτων αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα, όταν πραγματοποιούνται διαδικασίες εξίσωσης πιέσεων. Για το λόγο αυτό οι δεξαμενές με κυλιόμενο τοίχωμα έχουν μικρότερες διαφυγές, εφόσον εξαλείφουν τον ελεύθερο χώρο ανάμεσα στην ελεύθερη επιφάνεια του καυσίμου και το τοίχωμα της δεξαμενής. Οι κυριότερες απώλειες, βέβαια, σημειώνονται κατά τη χρήση των δεξαμενών. Το άνοιγμα των βαλβίδων για τη μεταφορά καυσίμων ή το άδειασμα των δεξαμενών για καθαρισμό ή αντικατάσταση του περιεχομένου αυτών, επιτρέπουν τη διαφυγή ατμών του καυσίμου και ακόμα εισέρχεται αέρας, ο οποίος εμπλουτίζεται με πτητικούς υδρογονάνθρακες και τους μεταφέρει έξω, λόγω διαφοράς πίεσης.

- Χρωμάτισμα και επίχριση επιφανειών

Κατά τη λειτουργία ενός αεροδρομίου, λαμβάνουν χώρα πολλές διαδικασίες χρωματισμού και επιχρίσματος, με κύριο σκοπό τη συντήρηση των διαδρόμων, τροchioδρόμων και κάποιων εγκαταστάσεων. Η χρήση των απαραίτητων χημικών ουσιών για αυτές τις εργασίες (μπογιές, κόλλες, επιχρίσματα, κ.ά.) έχει ως αποτέλεσμα την εξάτμιση πτητικών υδρογονανθράκων που περιέχονται σε αυτές. Οι υδρογονάνθρακες που απελευθερώνονται εξαρτώνται από το είδος της χημικής ουσίας και την περιεκτικότητά της σε πτητικά συστατικά.

- Υγρά αποπαγοποίησης

Στα αεροδρόμια, όπου επικρατούν άσχημες καιρικές συνθήκες, επιβάλλεται η συχνή χρήση υγρών αποπαγοποίησης στα αεροσκάφη και τους διαδρόμους για την προστασία από παγετό. Ακόμα, μερικοί τύποι αεροσκαφών, όπως για παράδειγμα τα DC-9, πρέπει να αποπαγώνονται πριν από κάθε κίνησή τους, καθώς οι γραμμές των καυσίμων τους βρίσκονται πολύ κοντά στο περίβλημα του αεροσκάφους και υπάρχει κίνδυνος παγώματος αυτών κατά την πτήση. Τα συνήθη υγρά αποπαγοποίησης αποτελούν μίγμα νερού και προπυλενικής ή αιθυλικής γλυκόλης. Τα συστατικά αυτά είναι ιδιαίτερα πτητικά με αποτέλεσμα μια ποσότητα υδρογονανθράκων να εξατμίζεται με την εφαρμογή τους σε επιφάνειες, επιβαρύνοντας την ατμόσφαιρα. Η ποσότητα των εκπεμπόμενων ρύπων εξαρτάται από την περιεκτικότητα της ουσίας σε υδρογονάνθρακες.



Εικόνα 3.8 : Εφαρμογή Υγρού Αποπαγοποίησης στα Φτερά Αεροσκάφους (Πηγή: 2002 Dusseldorf International Airport Environmental Report)

- Διαλυτικές ουσίες

Οι διαλυτικές ουσίες χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη και τον εξοπλισμό εδάφους για την αφαίρεση γράσων, λαδιών, κεριού ή σκόνης από πλαστικές, μεταλλικές και γυάλινες επιφάνειες. Για τις διαδικασίες αυτές χρησιμοποιούνται 2 είδη καθαριστικών ουσιών: οι κρύοι διαλύτες και οι διαλύτες ατμού. Οι πρώτοι είναι κυρίως αλκοόλες, κετόνες και πετρελαιοειδή για τον καθαρισμό εξαρτημάτων με εμβάπτιση, βούρτσισμα ή ψεκασμό. Στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν αναβράζοντες διαλύτες που καθαρίζουν κατά την υγροποίησή τους πάνω στις επιφάνειες. Σε όλες αυτές τις εργασίες, μέρος των πτητικών υδρογονανθράκων που περιέχονται στις διαλυτικές ουσίες, απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, ρυπαίνοντας τη.

- Σωροί άλατος και άμμου

Σε πολλούς αερολιμένες συνηθίζεται η αποθήκευση σωρών άμμου και άλατος, σε ανοιχτούς χώρους, για χρήση σε συντήρηση δρόμων και διαδρόμων, σε περίπτωση κακοκαιρίας. Κατά τη

φορτοεκφόρτωση των υλικών αυτών αλλά και λόγω της διάβρωσης από τον άνεμο, εκπέμπονται στερεά σωματίδια που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα.

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώνεται η αναλυτική παρουσίαση των επιμέρους πηγών ρύπανσης που προκύπτουν λόγω της λειτουργίας αεροδρομίου. Ακολουθεί η περιγραφή της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την ποσοτική εκτίμηση των εκπομπών κάθε μίας από τις πηγές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 3 αναπτύχθηκαν αναλυτικά οι μηχανισμοί γένεσης ρύπων που δρουν σε ένα αεροδρόμιο. Αναφέρθηκαν οι διάφορες πηγές εκπομπών και ο τρόπος απελευθέρωσης των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Στην περιγραφή των εκπεμπόμενων ρύπων, σημειώθηκε η επίπτωση του κάθε ρύπου μεμονωμένα, καθώς και η συνεργητική δράση τους σε κάποια περιβαλλοντικά φαινόμενα μεγάλης κλίμακας (φαινόμενο του θερμοκηπίου, όξινη βροχή, φωτοχημικό νέφος).

Από τις επιπτώσεις των ρύπων στο περιβάλλον και τον ανθρώπινο οργανισμό, διαφαίνεται ξεκάθαρα η σημασία της τήρησης των κανονισμών που αφορούν στην ποιότητα του αέρα. Οι εθνικοί κανονισμοί, οι ευρωπαϊκές και διεθνείς οδηγίες προβλέπουν ανώτατες τιμές συγκεντρώσεων ρύπων, οι οποίες δεν πρέπει να υπερβαίνονται, ώστε να εξασφαλίζονται μη επιβλαβείς ατμοσφαιρικές συνθήκες. Οι τιμές που αναγράφονται στους κανονισμούς αφορούν μια ποικιλία χωρικών και χρονικών κλιμάκων αναφοράς, ανάλογα με τη χρησιμότητα του ελέγχου και τα υπό εξέταση φαινόμενα. Για την περίπτωση περιβαλλοντικών φαινομένων μεγάλης κλίμακας εξετάζονται οι συνολικές εκπομπές από ένα πλήθος πηγών που αντιστοιχούν σε πόλεις, κράτη ή ακόμα και σε παγκόσμια κλίμακα. Από την άλλη πλευρά, όταν αναζητείται η συνεισφορά κάποιας επιχείρησης ή δραστηριότητας στη ρύπανση του αέρα της περιοχής, επικεντρώνεται η έρευνα στη συγκεκριμένη πηγή. Αντίστοιχα με τις χωρικές κλίμακες, η επιλογή του χρονικού διαστήματος παρακολούθησης των εκπομπών εξαρτάται από τη χρήση των αποτελεσμάτων. Αν, για παράδειγμα, μας ενδιαφέρει η μελέτη των μηχανισμών εκπομπής και η εξέλιξη των ρύπων στην

ατμόσφαιρα, λαμβάνουμε τις στιγμιαίες ή ωριαίες τιμές και παρακολουθούμε τη μεταβολή τους, ακριβώς μετά τη δημιουργία των ρύπων και για κάποια περίοδο. Αν ενδιαφερόμαστε για την τελική επιβάρυνση του περιβάλλοντος, χωρίς να μας απασχολεί η εξέλιξη της ρύπανσης ή οι φυσικοχημικές αντιδράσεις των ρύπων, παρακολουθούμε τις ετήσιες τιμές συγκεντρώσεων που αποτυπώνουν το τελικό αποτέλεσμα.

Η προσέγγιση του αεροδρομίου ως πηγή γένεσης ρύπων, αποτελεί μια σύνθετη περίπτωση και γι' αυτό η τοποθέτηση κλιμάκων χώρου και χρόνου στην παρακολούθηση εκπομπών καθίσταται περίπλοκη. Τα αεροδρόμια άλλοτε αντιμετωπίζονται ως υποσύνολα πηγών ρύπανσης, όταν μελετάται η επίδραση της ρύπανσης σε μεγάλη κλίμακα και άλλοτε ως πηγές εκπομπών που επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα της γύρω περιοχής. Για παράδειγμα, η Ομοσπονδιακή Διεύθυνση Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών, εξετάζει το σύνολο των εκπομπών που παράγει η αεροπορική δραστηριότητα, χωρίς χωρικούς περιορισμούς, περιλαμβάνοντας τους άμεσα δημιουργούμενους ρύπους (παραδείγματος χάρη τις εκπομπές των αεροσκαφών) και τους έμμεσα παραγόμενους (όπως για παράδειγμα τους ρύπους που εκπέμπουν τα κρατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας τα οποία ηλεκτροδοτούν κάποιο αερολιμένα). Από την άλλη, οι κάτοικοι των περιοχών που γειτνιάζουν με κάποιο αερολιμένα, ενδιαφέρονται για την επιβάρυνση που προκαλεί η λειτουργία του στη γύρω περιοχή και λαμβάνουν υπόψη μονάχα τις άμεσες εκπομπές ρύπων.

Η παρούσα διπλωματική δεν πραγματοποιεί κάποια από τις δύο προαναφερθείσες προσεγγίσεις. Μας ενδιαφέρουν οι καθαυτές παραγόμενες εκπομπές από τις επιμέρους πηγές ενός αεροδρομίου ως αίτιο και όχι ως αποτέλεσμα για τη σύγκριση με κάποιες θεσπισμένες τιμές. Σκοπός της εργασίας είναι η καλύτερη κατανόηση των πηγών εκπομπών ρύπων ενός αεροδρομίου και η πρόταση κατάλληλης μεθοδολογίας για τη θεωρητική ποσοτικοποίηση των συγκεντρώσεων αυτών. Επομένως η προσέγγιση που επιχειρούμε, εστιάζει στη δημιουργία των ρύπων από τη λειτουργία ενός αεροδρομίου και δεν πραγματεύεται την έμμεση συνολική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας.

Όσον αφορά στη χρονική κλίμακα που θα χρησιμοποιηθεί, εξετάζοντας το αντικείμενο υπό το ίδιο πρίσμα, δε μας απασχολεί η σύγκριση με κάποιες οριακές τιμές συγκεντρώσεων. Για την προσέγγιση που επιχειρούμε δεν έχουν νόημα οι στιγμιαίες τιμές και οι μέγιστες συγκεντρώσεις. Μας ενδιαφέρει η ποσότητα ρύπων που εκλύεται ανά περίπτωση και όχι η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα, ώστε να εντοπιστεί η συνεισφορά κάθε επιμέρους πηγής στην υποβάθμιση του αέρα. Εντούτοις, χρειάζεται μια ενδεικτική κλίμακα αναφοράς, για την καλύτερη συνειδητοποίηση των μεγεθών. Έτσι, επιλέγεται η χρήση μέσων τιμών (όσο το δυνατόν ακριβέστερων, για να προσεγγίζεται καλύτερα η πραγματικότητα) σε ετήσια κλίμακα, ώστε να γίνει αντιληπτή η συνεισφορά, σε απόλυτα και σχετικά μεγέθη, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλεί η λειτουργία ενός αεροδρομίου.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφεται η διαδικασία ποσοτικής εκτίμησης των ρύπων που εκπέμπει κάθε επιμέρους πηγή ενός αεροδρομίου, αναπτύσσονται οι αντίστοιχες

εξισώσεις υπολογισμού και αναφέρονται τα απαραίτητα δεδομένα για την εκτίμηση των ρύπων. Στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου περιγράφεται η διαδικασία άθροισης των επιμέρους τιμών για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

4.2 Μεθοδολογία εκτίμησης ατμοσφαιρικών ρύπων από τις δραστηριότητες αεροδρομίου

4.2.1 Εκτίμηση ρύπων από τα αεροσκάφη

Οι κατηγορίες αεροσκαφών που ενδεχομένως λειτουργούν σε κάποιον αερολιμένα είναι τα επιβατικά, τα εμπορικά, τα αεροσκάφη γενικής αεροπλοΐας (general aviation aircrafts), τα επί μισθώσει επιβατικά και εμπορικά και τέλος τα αεροσκάφη της πολεμικής αεροπορίας. Στην ίδια κατηγορία ρυπαντών συγκαταλέγονται και τα ελικόπτερα, καθώς εκπέμπουν ρύπους με παρόμοιο τρόπο. Τα επιβατικά (εικόνα 4.1) και εμπορικά (εικόνα 4.2) αεροσκάφη, ανήκουν σε εταιρίες παροχής αεροπορικών υπηρεσιών (αερομεταφορείς) και πραγματοποιούν συνήθως προγραμματισμένες πτήσεις. Πολύ συχνά βέβαια, εκτελούνται και μη προγραμματισμένες πτήσεις (charter flights) για την έκτακτη εξυπηρέτηση επιβατών.



Εικόνα 4.1 : Επιβατικό Αεροσκάφος (Πηγή: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών)



Εικόνα 4.2 : Εμπορικό Αεροσκάφος (Πηγή: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών)

Τα αεροσκάφη γενικής αεροπλοΐας (εικόνα 4.3) ανήκουν σε ιδιώτες και λειτουργούν και αυτά σε μη τακτική βάση, ανάλογα με τις ανάγκες των ιδιοκτητών τους. Τα αεροσκάφη επί μισθώσει (εικόνα 4.4) είναι μικρά επιβατικά ή εμπορικά αεροσκάφη που ανήκουν σε μεμονωμένους διαχειριστές και όχι σε κάποιον αερομεταφορέα και εκτελούν προγραμματισμένες πτήσεις.



Εικόνα 4.3 : Αεροσκάφος Γενικής Αεροπλοΐας (Πηγή: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών)



Εικόνα 4.4 : Αεροσκάφος επί Μισθώσει (Πηγή: Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών)

Τη διαχείριση των αεροσκαφών της πολεμικής αεροπορίας (εικόνα 4.5) την έχει το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας κάθε χώρας ή κάποιοι διεθνείς οργανισμοί όπως το NATO. Τέλος, τα ελικόπτερα είναι είτε ιδιωτικά είτε ανήκουν σε κάποιον αερομεταφορέα είτε διαχειρίζονται από την πολεμική αεροπορία. Η μεθοδολογία εκτίμησης των ρύπων που παράγονται από τα αεροσκάφη είναι η ίδια για όλες τις παραπάνω κατηγορίες.



Εικόνα 4.5 : Αεροσκάφος της Πολεμικής Αεροπορίας (Πηγή: Lockheed Martin)

Για την καταγραφή των εκπομπών από τα αεροσκάφη είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η ιδιαιτερότητά τους ως πηγή ρύπων, να εκπέμπουν ρύπους και κατά τη λειτουργία τους στο έδαφος και κατά την πτήση τους στον αέρα. Όπως αναφέρθηκε και στο 3^ο κεφάλαιο το σύνολο των φάσεων λειτουργίας των αεροσκαφών ορίζεται διεθνώς ως κύκλος προσγείωσης-απογείωσης (Landing & Take Off cycle – LTO cycle). Οι ρύποι που παράγονται κατά τη διάρκεια όλων αυτών των φάσεων, επηρεάζουν την επιφάνεια του εδάφους εξαιτίας της ανάμειξης των αερίων ουσιών, που πραγματοποιείται στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το τμήμα της τροπόσφαιρας (το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας), όπου συντελείται αυτή η διαδικασία, ξεκινάει από την επιφάνεια της γης και εκτείνεται σε ύψος λίγων χιλιομέτρων και ονομάζεται «ζώνη μίξης». Η ζώνη μίξης δεν έχει σταθερό ύψος καθώς οι τοπικές συνθήκες επηρεάζουν την ανάμειξη των αερίων και μεταβάλλουν τα όριά της από περιοχή σε περιοχή. Η ζώνη μίξης φτάνει σε ύψη από 300 μέχρι 2500 μέτρα και για το λόγο αυτό λαμβάνεται διεθνώς ως άνω όριο το μέσο ύψος των 1000 μέτρων.

Οι εκπομπές των αεροσκαφών μέσα στη ζώνη μίξης λαμβάνονται, κατά τη συνήθη σύμβαση, ξεχωριστά για κάθε φάση του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης. Στο σημείο αυτό οφείλουμε να περιγράψουμε αναλυτικά τις φάσεις αυτές, για την κατανόηση των χωροχρονικών ορίων των φάσεων, για τις οποίες θα γίνει η καταγραφή των εκπομπών. Ο καθιερωμένος κύκλος LTO ξεκινάει με την είσοδο του αεροσκάφους στη ζώνη μίξης, καθώς αυτό προσεγγίζει το αεροδρόμιο. Στην πρώτη φάση του κύκλου, αυτή της προσέγγισης, το αεροσκάφος μειώνει το ύψος πτήσης, εισέρχεται στη ζώνη μίξης, προσεγγίζει το διάδρομο και προσγειώνεται. Ακολουθεί η φάση της τροχοδρόμησης, όπου το αεροσκάφος αφού αγγίξει το διάδρομο, τροχοδρομεί μειώνοντας ταχύτητα απομακρυνόμενο από αυτόν προς τις θέσεις στάθμευσης, εκεί ακινητοποιείται και απενεργοποιούνται οι μηχανές. Σε ένα κύκλο η φάση της τροχοδρόμησης επαναλαμβάνεται ακόμα μια φορά καθώς επανενεργοποιείται το αεροσκάφος, τροχοδρομεί προς το διάδρομο και παίρνει θέση σε αυτόν προτού ξεκινήσει τη φάση της απογείωσης. Η επόμενη φάση είναι αυτή της απογείωσης, κατά την οποία οι κινητήρες του αεροσκάφους ενεργοποιούνται μέχρι μέγιστης ώθησης, το αεροσκάφος τροχοδρομεί στο διάδρομο, αποκολλάται και φτάνει στα 150 με 300 μέτρα ύψος. Από το ύψος αυτό και ώσπου να εξέλθει το αεροσκάφος από τη ζώνη

μίζης είναι η φάση ανόδου, στην οποία το αεροσκάφος κινείται ανοδικά αλλά χωρίς να χρησιμοποιεί τους κινητήρες σε μέγιστη ώθηση.

Κάθε φάση του κύκλου, περιλαμβάνει διαφορετικό τρόπο λειτουργίας του κινητήρα και γι' αυτό οι εκπομπές που παράγονται σε κάθε μία εξ' αυτών, διαφέρουν από τις υπόλοιπες. Για τον παραπάνω λόγο, έχει αποφασιστεί διεθνώς ο διαχωρισμός των φάσεων λειτουργίας των αεροσκαφών και η ξεχωριστή εκτίμηση των εκπομπών που παράγονται από κάθε φάση. Τα περισσότερα αεροσκάφη ακολουθούν λεπτομερώς την παραπάνω διαδικασία για την εκτέλεση μιας προγραμματισμένης αεροπορικής κίνησης. Βέβαια, σε μερικές περιπτώσεις η διαδικασία μπορεί να διαφοροποιείται λίγο, απαλείφοντας ή περιλαμβάνοντας περισσότερες φάσεις. Για παράδειγμα, στα ελικόπτερα η φάση ανόδου ταυτίζεται με τη φάση της απογείωσης.

Για την κατάστρωση μητρώου εκπομπών από τα αεροσκάφη, αρχικά καταγράφονται τα αεροσκάφη που λειτούργησαν στο αεροδρόμιο για δεδομένη χρονική περίοδο. Τα στοιχεία αυτά λαμβάνονται από το σύστημα πτήσεων του αερολιμένα, το οποίο καταγράφει ένα πλήθος πληροφοριών για τις αεροπορικές κινήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο αεροδρόμιο. Τα στοιχεία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με τη χρήση του αεροσκάφους (επιβατικό, εμπορικό, κ.ο.κ.), την υπηρεσία ή τον αερομεταφορέα στον οποίο ανήκει και τον τύπο του, για την καλύτερη επεξεργασία των δεδομένων. Τα στοιχεία αυτά δεν επαρκούν για τον εντοπισμό της ρυπογόνου δραστηριότητας κάθε αεροσκάφους, καθώς είναι πιθανό να υπάρχει μεγάλη διαφορά στις εκπομπές αεροσκαφών ίδιου τύπου και ίδιας χρήσης του ίδιου αερομεταφορέα. Το σημαντικότερο δεδομένο για τους υπολογισμούς του μητρώου είναι ο αριθμός νηολόγησης (registration number) κάθε αεροσκάφους, από τον οποίο βρίσκονται όλα τα ζητούμενα στοιχεία, καθώς αντιστοιχεί μοναδικός αριθμός σε κάθε αεροσκάφος. Από αυτόν τον αριθμό βρίσκουμε το πλήθος και τον τύπο των κινητήρων που χρησιμοποίησε το συγκεκριμένο αεροσκάφος για μια δεδομένη αεροπορική κίνηση. Για να ολοκληρωθεί, λοιπόν, το πρώτο σκέλος της διαδικασίας υπολογισμού, τα αεροσκάφη ταξινομούνται σε κατηγορίες με ίδιους κινητήρες και αθροίζονται οι κινήσεις ή οι κύκλοι που έχουν πραγματοποιηθεί για κάθε τύπο κινητήρα (Athens International Airport Report, 2005).

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι η εύρεση των εκπομπών που παράγονται από κάθε τύπο κινητήρα. Για το σκοπό αυτό υπάρχουν βάσεις δεδομένων που αντιστοιχίζουν σε κάθε τύπο κινητήρα δείκτες κατανάλωσης καυσίμου και δείκτες εκπομπών ρύπων για δεδομένη κατανάλωση. Οι τιμές αυτές βρίσκονται στο ευρετήριο του Διεθνή Οργανισμού Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) ή σε άλλους κοινοποιημένους επίσημους καταλόγους εταιριών κατασκευής αεροσκαφών. Συχνά διαθέτουν στοιχεία και οι εταιρίες αερομεταφορέων ή οι αρχές διοίκησης των αεροδρομίων, ενώ αν πρόκειται για αεροσκάφη της πολεμικής αεροπορίας τα στοιχεία λαμβάνονται σε συνεργασία με το εκάστοτε κέντρο επιχειρήσεων. Οι δείκτες αναφέρονται ξεχωριστά σε κάθε μία από τις 4 φάσεις του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης (η τροχοδρόμηση θεωρείται ως μία φάση που πραγματοποιείται 2 φορές στον ίδιο κύκλο) και σε κάθε ένα ρύπο.

Για να γίνει όμως η σύνδεση των πραγματικών στοιχείων των πτήσεων με τους δείκτες κατανάλωσης και εκπομπών πρέπει να είναι γνωστοί οι χρόνοι λειτουργίας των αεροσκαφών στις διάφορες φάσεις του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης. Οι χρόνοι αυτοί μπορεί να ποικίλλουν ανά περίπτωση αεροσκάφους, τοπικών συνθηκών και λόγω προσωπικών επιλογών του εκάστοτε κυβερνήτη. Στους υπολογισμούς όμως υιοθετούνται κοινοί χρόνοι για όλες τις αεροπορικές κινήσεις ενός αεροδρομίου. Οι χρόνοι αυτοί υποδεικνύονται από τον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας, αλλά συνηθίζεται να τροποποιούνται για κάθε αεροδρόμιο, λόγω των ιδιαίτερων τεχνικών χαρακτηριστικών των διαδρόμων, του ύψους της ζώνης μίξης στην περιοχή και της πολιτικής πτήσεων που ακολουθεί η διοίκηση του εκάστοτε αερολιμένα. Η φάση της τροχοδρόμησης είναι αυτή που διαφέρει κυρίως ανά περιοχή και ανά περίπτωση. Σύμφωνα με το χρόνο λειτουργίας του αεροσκάφους σε μία φάση του κύκλου, εξάγεται η κατανάλωση καυσίμου και οι εκπομπές για ένα δεδομένο ρύπο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις φάσεις και όλους τους εξεταζόμενους ρύπους οπότε και προκύπτει το μητρώο εκπομπών ενός δεδομένου κινητήρα (σχέση 4.1).

$$E_{ix} = \sum (TM_j \times FF_j \times EI_{ij}) \quad (\text{σχέση 4.1})$$

Όπου : E_{ix} - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία του κινητήρα αεροσκάφους με αριθμό νηολόγησης x
 TM_j - διάρκεια λειτουργίας (Time in Mode) του κινητήρα στη φάση λειτουργίας j , σε λεπτά ανά δοκιμή
 FF_j - ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow rate), σε τόνους ανά λεπτό, κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας j
 EI_{ij} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i και τη φάση λειτουργίας j , σε χιλιόγραμμα ανά τόνο χρησιμοποιούμενου καυσίμου
 i - είδος ρύπου (CO , SO_x , PM , NO_x , HC)
 j - φάση λειτουργίας του κινητήρα (κατά LTO cycle)
 x - αριθμός νηολόγησης του αεροσκάφους (π.χ. SXBSR)

Οι τιμές που ευρέθησαν ολοκληρώνονται για όλους τους κινητήρες που φέρει ένα αεροσκάφος και για όλες τις κινήσεις που πραγματοποίησε με αυτόν τον τύπο κινητήρα, ώστε να προκύψουν οι συνολικές εκπομπές κάθε ρύπου από την αεροπορική δραστηριότητα του αεροσκάφους με τον συγκεκριμένο αριθμό νηολόγησης (υποδηλώνει τύπο αεροσκάφους, αριθμό και τύπο κινητήρων) κατά την περίοδο απογραφής. Η ολική ρυπαντική δραστηριότητα από τις αεροπορικές κινήσεις του αεροδρομίου προκύπτει αθροίζοντας τις εκπομπές για όλους τους αριθμούς νηολόγησης που αντιστοιχούν σε αεροπορικές κινήσεις κατά την περίοδο απογραφής (σχέση 4.2).

$$TE_i = \sum (E_{ix} \times NE_x \times N_x) \quad (\text{σχέση 4.2})$$

Όπου : TE_i - συνολικές εκπομπές (Total Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία των αεροσκαφών

E_{ix} - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία του κινητήρα αεροσκάφους με αριθμό νηολόγησης x

NE_x - αριθμός κινητήρων (Number of Engines) που φέρει το αεροσκάφος με αριθμό νηολόγησης x

N_x - αριθμός (Number) κύκλων LTO που πραγματοποιήθηκαν από αεροσκάφος με αριθμό νηολόγησης x κατά την περίοδο απογραφής

i - είδος ρύπου (CO, SO_x, PM, NO_x, HC)

x - αριθμός νηολόγησης του αεροσκάφους (π.χ. SXBSR)

Οι ρύποι που μπορούν να υπολογιστούν από αυτή τη μέθοδο είναι θεωρητικά όσοι παράγονται από τη λειτουργία των κινητήρων των αεροσκαφών. Επομένως, θα μπορούσαν να υπολογιστούν οι εκπομπές στερεών σωματιδίων, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου, υδρογονανθράκων και ενδεχομένως οξειδίων του θείου. Δεν υπάρχουν όμως καταγεγραμμένα στοιχεία στις υπάρχουσες βάσεις δεδομένων για όλα τα είδη ρύπων, με αποτέλεσμα στην πράξη να είναι εφικτός ο υπολογισμός του μονοξειδίου του άνθρακα, των υδρογονανθράκων και των οξειδίων του αζώτου και μονάχα σε ελάχιστες περιπτώσεις των στερεών σωματιδίων, του διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου.

Συνηθίζεται μια πλήρης καταγραφή των ρύπων που παράγονται από κινητήρες να περιέχει εκτός των εκπομπών λόγω καύσης και αυτές που δημιουργούνται λόγω εξάτμισης. Στην περίπτωση των κινητήρων αεροσκαφών οι εκπομπές αυτές είναι πολύ μικρές εξαιτίας της χαμηλής τάσης ατμών των καυσίμων και των ταχέως συνδεόμενων ακροφυσίων ανεφοδιασμού που χρησιμοποιούνται, οπότε και δεν υπολογίζονται.

Η μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω, εφαρμόζεται στις περιπτώσεις προγραμματισμένων πτήσεων. Για τις έκτακτες πτήσεις (charter flights) ή τις κινήσεις αεροσκαφών γενικής αεροπλοΐας (general aviation aircrafts), κατά τις οποίες η ακολουθούμενη διαδικασία προσγείωσης-απογείωσης μπορεί να διαφέρει, κάθε περίπτωση αντιμετωπίζεται ξεχωριστά. Ακόμα, λόγω της φύσης της κατηγορίας γενικής αεροπλοΐας, συμβαίνει συχνά να μην υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τους κινητήρες και τις εκπομπές αυτών. Για τις περιπτώσεις αυτές λαμβάνονται από ειδικά διαμορφωμένους καταλόγους μέσες τιμές δεικτών εκπομπών που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένη σύσταση στόλου αεροσκαφών γενικής αεροπλοΐας.

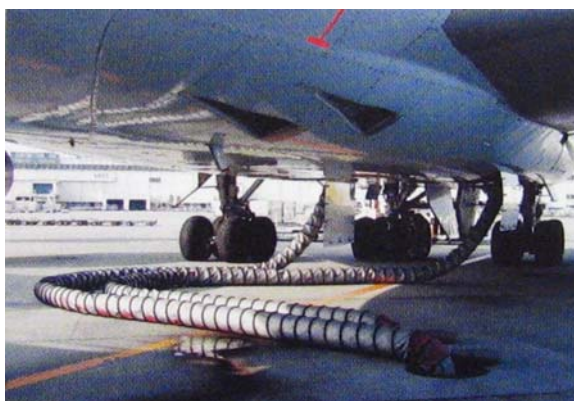
Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που καθιστά την καταγραφή των εκπομπών πολύπλοκη διαδικασία, αποτελεί το γεγονός ότι δεν ακολουθείται σε όλες τις περιπτώσεις η διαδοχή των φάσεων του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης (FAA Air Quality Handbook, Appendix D, 1997). Για μη συνηθισμένες πρακτικές χειρισμού εφαρμόζεται η παραπάνω διαδικασία υπολογισμού, επιμερίζοντας την εκάστοτε αεροπορική κίνηση και λαμβάνοντας υπόψη κάθε φάση που πραγματοποιήθηκε μεμονωμένα. Παράδειγμα μη συνηθισμένης λειτουργίας αποτελεί η πρακτική touch-and-go (αγγίζω και φεύγω). Στην πρακτική αυτή δεν υφίσταται φάση τροχοδρόμησης του αεροσκάφους, οι φάσεις προσέγγισης και ανόδου συντομεύουν και προστίθεται μια φάση «πτήσης επιστροφής» (“reverse flight” mode) για να στρίψει το αεροσκάφος και να επαναλάβει τη

διαδικασία. Στους υπολογισμούς, βέβαια, αντί να μειωθούν οι χρόνοι προσέγγισης και ανόδου και να προστεθεί η πτήση επιστροφής, συνηθίζεται η διατήρηση των προβλεπόμενων χρόνων προσέγγισης και ανόδου και δεν εφαρμόζεται κάποια ξεχωριστή προσθήκη (υποθέτοντας ότι αντικαθίσταται ο χρόνος της πτήσης επιστροφής εντός της ζώνης μίξης).

4.2.2 Εκτίμηση ρύπων από τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας

Η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών από τη λειτουργία των βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας, προκύπτει από την αντίστοιχη μεθοδολογία για τα αεροσκάφη. Όπως ειπώθηκε στο κεφάλαιο 3, οι μονάδες παροχής ενέργειας αποτελούν βοηθητικούς κινητήρες του αεροσκάφους για τη λειτουργία κάποιων συστημάτων αυτού όταν βρίσκεται στο έδαφος. Δε διαφέρουν στον τρόπο λειτουργίας και δημιουργίας ρύπων από τους κύριους κινητήρες του αεροσκάφους.

Η διαδικασία ξεκινάει με τη λήψη στοιχείων από το σύστημα πτήσεων του αερολιμένα, για όλες τις κινήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην χρονική περίοδο που εξετάζουμε. Σημειώνονται οι πτήσεις στις οποίες έγινε χρήση των βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας και η διάρκεια λειτουργίας τους για κάθε φάση του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων χρησιμοποιούνται οι βοηθητικές μονάδες των αεροσκαφών. Στον εξοπλισμό του αερολιμένα υπάρχουν και μηχανήματα εδάφους για την παροχή αέρα (εικόνα 4.6) και ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία κατά περιπτώσεις αντικαθιστούν τη χρήση των βοηθητικών μονάδων. Στις μικρές κατηγορίες αεροσκαφών, όπως τα μικρά επιβατικά, τα αεροσκάφη γενικής αεροπλοΐας και τα αεροσκάφη επί μισθώσει, δε συνηθίζεται η χρήση των βοηθητικών μονάδων. Αφού βρεθούν οι κινήσεις στις οποίες έγινε χρήση των βοηθητικών μονάδων των αεροσκαφών, ταξινομούνται με βάση τον τύπο του αεροσκάφους και της βοηθητικής μονάδας, για τη διευκόλυνση των υπολογισμών.



Εικόνα 4.6 : Βοηθητική Μονάδα Εδάφους για την Παροχή Αέρα (Πηγή: 2001 New Tokyo International Airport Environmental Report)

Η διαδικασία συνεχίζεται με τον υπολογισμό της ποσότητας και του είδους των ρύπων που αντιστοιχούν σε έναν πλήρη κύκλο προσγείωσης-απογείωσης δεδομένου αεροσκάφους με

συγκεκριμένο τύπο και αριθμό βοηθητικών μονάδων. Αναζητείται αρχικά ο χρόνος λειτουργίας της μονάδας κατά τη διάρκεια του κύκλου. Το δεδομένο αυτό, όπως αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο, λαμβάνεται από το επεξεργασμένο αρχείο του συστήματος πτήσεων. Από δημοσιευμένους καταλόγους, βρίσκουμε τα στοιχεία κατανάλωσης καυσίμου και παραγωγής εκπομπών της συγκεκριμένης μονάδας. Από τα δεδομένα αυτά, σύμφωνα με τη σχέση 4.3 (FAA Air Quality Handbook, Appendix E, 1997), υπολογίζεται η ποσότητα καυσίμου που καταναλώθηκε από τη μονάδα και οι ρύποι που εκπέμφθηκαν.

$$E_{ij} = T \times FF_j \times EI_{ij} \quad (\text{σχέση 4.3})$$

Όπου : E_{ij} - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, που παράγονται από τη βοηθητική μονάδα ενέργειας αεροσκάφους τύπου j κατά τη διάρκεια ενός κύκλου LTO
 T - χρόνος λειτουργίας (operating Time) της βοηθητικής μονάδας ανά κύκλο LTO, σε λεπτά
 FF_j - ρυθμός κατανάλωση καυσίμου (Fuel Flow rate), σε τόνους ανά λεπτό, για κάθε βοηθητική μονάδα αεροσκάφους τύπου j
 EI_{ij} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα ανά τόνο χρησιμοποιούμενου καυσίμου, για κάθε βοηθητική μονάδα ενέργειας αεροσκάφους τύπου j
 i - είδος ρύπου (CO , SO_x , NO_x , HC)
 j - τύπος αεροσκάφους (π.χ. B-737)

Για να βρεθούν οι ρύποι που παράγονται από ένα αεροσκάφος οι τιμές που υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζονται με τον αριθμό των βοηθητικών μονάδων που αυτό χρησιμοποιεί. Οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται για όλες τις κατηγορίες βοηθητικών μονάδων και τους τύπους των αεροσκαφών και τα προκύπτοντα ποσά ολοκληρώνονται για όλες τις αεροπορικές κινήσεις. Τα τελικά αποτελέσματα εμφανίζουν τις εκπομπές κάθε ρύπου που απελευθερώθηκε από τη λειτουργία των βοηθητικών μονάδων των αεροσκαφών στην περίοδο απογραφής.

4.2.3 Εκτίμηση ρύπων από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους

Η λειτουργία των οχημάτων και του εξοπλισμού εδάφους ενός αεροδρομίου, προκαλεί τη γένεση ατμοσφαιρικών ρύπων, οι οποίοι λόγω της εκπομπής τους σε επίπεδο εδάφους, έχουν περιορισμένη διασπορά και απελευθερώνονται κυρίως στην ευρύτερη περιοχή του αερολιμένα. Τα οχήματα αυτά στην πλειονοψηφία τους είναι βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα, αλλά και ηλεκτροκίνητα σε ποσοστό που ολοένα αυξάνει. Τα πρώτα παράγουν ρύπους, λόγω των καύσεων που λαμβάνουν χώρα στους κινητήρες τους, ενώ η λειτουργία των ηλεκτροκίνητων οχημάτων επιβαρύνει το περιβάλλον έμμεσα, απελευθερώνοντας ρύπους στα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από τα οποία τροφοδοτούνται τα οχήματα αυτά. Σύμφωνα με τη θεώρηση του φαινομένου της ρύπανσης, που υιοθετείται στην παρούσα έρευνα και αναπτύχθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, οι έμμεσες εκπομπές δεν υπόκεινται στο αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας και για το λόγο αυτό παραλείπονται από τους υπολογισμούς. Η μεθοδολογία

υπολογισμού των ρύπων αυτών διαφοροποιείται σε λίγα μόνο σημεία από την εφαρμοζόμενη για τα οχήματα συμβατικών καυσίμων.

4.2.3.1 Οχήματα και μηχανήματα εδάφους συμβατικών ή εναλλακτικών καυσίμων

Οι εκπομπές που επισημαίνονται στο παρόν υποκεφάλαιο, προέρχονται από την καύση είτε συμβατικών (βενζίνη και πετρέλαιο) είτε εναλλακτικών (φυσικό αέριο, κ.ά.) καυσίμων στους κινητήρες των οχημάτων και των μηχανημάτων εδάφους. Καθώς πρόκειται για εκπομπές λόγω καύσης, η μεθοδολογία υπολογισμού δε μπορεί να διαφέρει πολύ από αυτή που εφαρμόζεται για τους κινητήρες των αεροσκαφών και τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας.

Τα οχήματα και ο εξοπλισμός εδάφους που εξασφαλίζουν τη λειτουργία του αερολιμένα και των αεροσκαφών ανήκουν συνήθως σε εταιρίες παροχής αεροπορικών υπηρεσιών, σε μεγάλους αερομεταφορείς και στη διεύθυνση του αερολιμένα. Από τις εταιρίες διαχείρισης του εξοπλισμού αυτού μπορούμε να προμηθευτούμε τα απαραίτητα στοιχεία για τους υπολογισμούς που θα διεξάγουμε. Η εκάστοτε εταιρία λειτουργίας των οχημάτων διατηρεί αρχείο λειτουργίας για τα οχήματα που βρίσκονται υπό την κατοχή της, έστω και αν αυτά μισθώθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για εργασίες άλλης εταιρίας. Τα αρχεία περιέχουν στοιχεία για το είδος του οχήματος (για παράδειγμα ελκυστήρας αεροσκαφών) και τη χρήση του, δηλαδή τις ημερομηνίες και ώρες που αυτό τέθηκε σε λειτουργία για την εκτέλεση συγκεκριμένης εργασίας. Λεπτομερή στοιχεία για τους κινητήρες των οχημάτων μπορούν να αναζητηθούν στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή που συνοδεύει κάθε μηχανήμα.

Ανάλογα με το είδος του αρχείου καταγραφής των χρήσεων του εξοπλισμού χρησιμοποιείται η καταλληλότερη από τις δύο επικρατέστερες μεθοδολογίες υπολογισμού (FAA Air Quality Handbook, Appendix F, 1997). Η πρώτη χρησιμοποιείται για τον μεμονωμένο υπολογισμό των ρύπων από τη λειτουργία κάποιου τύπου μηχανήματος, για έναν κύκλο προσγείωσης-απογείωσης δεδομένου τύπου αεροσκάφους με συγκεκριμένους κινητήρες. Αυτή επιλέγεται όταν στο αρχείο χρήσεων καταγράφεται ο χρόνος λειτουργίας του μηχανήματος ανά κύκλο αεροσκάφους. Οι τιμές που βρίσκονται ολοκληρώνονται για όλα τα είδη μηχανημάτων που συμμετέχουν στον ανεφοδιασμό του αεροσκάφους και για όλους τους τύπους των αεροσκαφών και τους κύκλους που έχουν πραγματοποιηθεί. Η προσέγγιση αυτή είναι ιδιαίτερα ευέλικτη και εύχρηστη, καθώς οι αρχικοί χρόνοι λειτουργίας ανά κύκλο μπορούν με ευκολία να χρησιμοποιηθούν για οποιοδήποτε αριθμό αεροσκαφών και αεροπορικών κινήσεων και για οποιαδήποτε χρονική περίοδο επιθυμούμε. Αν τα δεδομένα καταγράφονται για τη συνολική περίοδο απογραφής ανεξάρτητα από τον κύκλο LTO, η μεθοδολογία που εφαρμόζεται δε συνδέει καθόλου τις κινήσεις των αεροσκαφών και προσδιορίζει τις εκπομπές ολοκληρώνοντας τις ποσότητες ρύπων για όλο το πλήθος και για κάθε είδος μηχανήματος που χρησιμοποιήθηκε. Αυτή η προσέγγιση είναι ευκολότερη και πιο σύντομη, καθώς απαιτεί μικρότερο αριθμό βημάτων και δεν εμπλέκει μεγάλο πλήθος παραμέτρων προς υπολογισμό.

Γνωρίζοντας από τη βάση δεδομένων των εταιριών λειτουργίας τα στοιχεία του εκάστοτε οχήματος και τον τύπο του κινητήρα που φέρει, ανατρέχουμε σε επίσημους καταλόγους που αφορούν σε μηχανήματα εξοπλισμού εδάφους και εντοπίζουμε τους δείκτες εκπομπών ρύπων, λαμβάνοντας υπόψη και το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Συνήθως οι δείκτες αυτοί είναι συνάρτηση της μέσης υποδύναμης πέδησης του μηχανήματος (Brake Horsepower – BHP), η οποία αναγράφεται στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή.

Για την εύρεση των συνολικών εκπομπών του μηχανήματος για ένα κύκλο LTO ή για όλη την περίοδο απογραφής (ανάλογα με την επιλεγείσα μεθοδολογία υπολογισμού) πολλαπλασιάζονται οι ώρες χρήσης του μηχανήματος με τους δείκτες εκπομπών και τα αποτελέσματα ολοκληρώνονται για όλους τους τύπους μηχανημάτων και τους κύκλους που πραγματοποιήθηκαν στην πρώτη περίπτωση, ενώ στη δεύτερη για το σύνολο των μηχανημάτων που χρησιμοποιήθηκε ανεξάρτητα από τις κινήσεις των αεροσκαφών. Για ορισμένες κατηγορίες μηχανημάτων, οι τιμές που βρίσκονται για κάθε μηχανήμα πολλαπλασιάζονται έπειτα με τη μέση υποδύναμη πέδησης του μηχανήματος και το συντελεστή φορτίου (Load Factor – LF), ο οποίος καταγράφεται στο αρχείο χρήσεων και διαφέρει ανά περίπτωση.

Συνοπτικά, οι ποσότητες των ρύπων από τη λειτουργία των οχημάτων και του εξοπλισμού εδάφους, προκύπτουν στη γενική περίπτωση από την ακόλουθη μαθηματική σχέση (FAA Air Quality Handbook, Appendix F, 1997):

$$E_{it} = BHP_t \times LF_t \times U_t \times EI_{it} \quad (\text{σχέση 4.4})$$

Όπου: E_{it} - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, που παράγονται από όχημα τύπου t
 BHP_t - μέση υποδύναμη πέδησης (Break HorsePower), σε ίππους, του κινητήρα οχήματος τύπου t
 LF_t - συντελεστής φορτίου (Load Factor) για όχημα τύπου t
 U_t - ώρες χρήσης (Use) οχήματος τύπου t (για λειτουργία σε ένα κύκλο LTO δεδομένου αεροσκάφους ή για ολόκληρη την περίοδο απογραφής)
 EI_{it} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά ίππο και ώρα, για δεδομένο τύπο κινητήρα οχήματος τύπου t και συγκεκριμένο τύπο καυσίμου
 i - είδος ρύπου (για παράδειγμα μονοξείδιο του άνθρακα)
 t - τύπος οχήματος ή μηχανήματος (για παράδειγμα πετρελαιοκίνητος ελκυστήρας αεροσκαφών)

Τα συνολικά αποτελέσματα προκύπτουν από την άθροιση των ρύπων που εκπέμφθηκαν από όλα τα μηχανικά μέσα και οχήματα κατά την περίοδο απογραφής. Οι ρύποι που καταγράφονται συνήθως από τη λειτουργία των οχημάτων και των μηχανημάτων εδάφους συμβατικών και εναλλακτικών καυσίμων είναι μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, στερεά σωματίδια, οξείδια του αζώτου και του θείου.

4.2.3.2 Ηλεκτροκίνητα οχήματα και μηχανήματα εδάφους

Η χρήση ηλεκτροκίνητων οχημάτων και μηχανημάτων δεν απελευθερώνει εκπομπές στο αεροδρόμιο, αλλά η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που χρειάζεται για να λειτουργήσουν απελευθερώνει. Όταν σε ένα αεροδρόμιο καταναλώνεται ηλεκτρική ενέργεια για τη φόρτιση ενός ηλεκτροκίνητου μηχανήματος, τα εργοστάσια που ηλεκτροδοτούν τον αερολιμένα παράγουν επιπλέον ενέργεια για την κάλυψη αυτής της ανάγκης. Στην περίπτωση που οι ενεργειακές ανάγκες του αερολιμένα καλύπτονται από υποσταθμό παραγωγής ενέργειας αποκλειστικής χρήσης εντός της ιδιοκτησίας του, οι ρύποι που γεννώνται από αυτή τη δραστηριότητα πρέπει να συμπεριληφθούν στο μητρώο εκπομπών.

Εφόσον οι εκπομπές που σχετίζονται με τη λειτουργία των οχημάτων και των μηχανημάτων εδάφους, δημιουργούνται στις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας και όχι στα ίδια τα οχήματα, η μεθοδολογία υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε για τα συμβατικά και εναλλακτικά καύσιμα πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα. Για κάθε τύπο ηλεκτροκίνητου οχήματος και μηχανήματος, οι ρύποι υπολογίζονται με βάση τους δείκτες εκπομπών της εγκατάστασης ηλεκτρισμού, αλλά αφορούν στην ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε από τα μηχανήματα ή στις ώρες λειτουργίας αυτών.

Η μαθηματική σχέση 4.5 (FAA Air Quality Handbook, Appendix F, 1997) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπομπών ενός ηλεκτροκίνητου μηχανήματος συγκεκριμένου τύπου. Όπως με τα συμβατικά και τα εναλλακτικά καύσιμα, η σχέση αυτή μπορεί να εφαρμοστεί για τον υπολογισμό είτε των εκπομπών του μηχανήματος που αντιστοιχούν σε ένα κύκλο LTO δεδομένου αεροσκάφους είτε για ολόκληρη την περίοδο απογραφής.

$$E_i = MWH_t \times EI_i$$

ή

(σχέση 4.5)

$$E_i = BHP_t \times LF_t \times U_t (EI_i \times CFBHP)$$

Όπου: E_i - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, λόγω λειτουργίας ηλεκτροκίνητου μηχανήματος

MWH_t - ηλεκτρική ενέργεια, σε μεγαβατώρες (MegaWatt Hours), που καταναλώθηκε από τη λειτουργία μηχανήματος τύπου t (για λειτουργία σε ένα κύκλο LTO δεδομένου αεροσκάφους ή για ολόκληρη την περίοδο απογραφής)

EI_i - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά μεγαβάτώρα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε

BHP_t - μέση ιπποδύναμη πέδησης (Break HorsePower), σε ίππους, του κινητήρα μηχανήματος τύπου t

LF_t - συντελεστής φορτίου (Load Factor) για μηχανήματα τύπου t

U_t - ώρες χρήσης (Use) μηχανήματος τύπου t (για λειτουργία σε ένα κύκλο LTO δεδομένου αεροσκάφους ή για ολόκληρη την περίοδο απογραφής)

i - είδος ρύπου (για παράδειγμα μονοξείδιο του άνθρακα)

t - τύπος οχήματος ή μηχανήματος (για παράδειγμα πετρελαιοκίνητος ελκυστήρας αεροσκαφών)

CFBHP - συντελεστής μετατροπής (Conversion Factor to Break HorsePower) από ιπποώρες σε μεγαβατώρες, ίσος με 0,000746

Οι εκπομπές που παράγονται από τη λειτουργία των εγκαταστάσεων ηλεκτρισμού ποικίλλουν για κάθε αερολιμένα, λόγω της διαφορετικής τεχνολογίας παραγωγής ενέργειας, του τύπου της γεννήτριας, των καταναλισκόμενων καυσίμων και των διατάξεων περιορισμού εκπομπών που χρησιμοποιούνται ανά περίπτωση. Για την εκτίμηση των δεικτών εκπομπών που θα χρησιμοποιηθούν, πολλές φορές λαμβάνονται συνολικά στοιχεία ευρύτερων περιοχών και υιοθετούνται μέσες τιμές. Στον πίνακα 4.1 παρουσιάζονται κάποιες τιμές που έχουν προκύψει για περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και για το σύνολο της χώρας.

Πίνακας 4.1 : Εκπομπές από την Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας (Πηγή: www.faa.gov)

Περιοχή	Δείκτες Εκπομπών (lbs/MWh)		
	HC	CO	NO _x
Ozone Transport Region	0,03	0,33	0,88
California	0,04	0,44	0,31
Other U.S.	0,03	0,34	3,97
Total U.S	0,03	0,36	3,52

Οι ρύποι που γεννώνται από την παραγωγή ενέργειας για τη λειτουργία των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και μηχανημάτων του αερολιμένα, παράγονται από τις αντιδράσεις καύσεις που εκτελούνται στις γεννήτριες των εγκαταστάσεων ηλεκτρισμού και ως εκ τούτου είναι μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, στερεά σωματίδια, οξείδια του αζώτου και του θείου.

4.2.4 Εκτίμηση ρύπων από τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων

Σύμφωνα με όσα αναφέρονται στο κεφάλαιο 3, η λειτουργία των μέσων μετακίνησης των επιβατών, των επισκεπτών και των εργαζόμενων του αερολιμένα οδηγεί στη γένεση ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω δύο διαφορετικών μηχανισμών: της καύσης και της εξάτμισης.

4.2.4.1 Ρύπανση λόγω κίνησης προς και από τον αερολιμένα

Η εκτίμηση των εκπεμπόμενων ρύπων λόγω των καύσεων των κινητήρων των οχημάτων, εντάσσεται σε γενικές γραμμές στο πλαίσιο της μεθοδολογίας υπολογισμού αυτού του είδους των

εκπομπών, το οποίο εξετάσαμε στις προηγούμενες περιπτώσεις των αεροσκαφών και των μηχανημάτων εδάφους. Το δυσκολότερο τμήμα της διαδικασίας υπολογισμού είναι η εύρεση ακριβών στοιχείων μετακινήσεων των ενδιαφερόμενων. Τα δεδομένα που πρέπει να συγκεντρωθούν αφορούν στον αριθμό των κινήσεων εντός της περιοχής ενδιαφέροντος (συνήθως η περιοχή αυτή επηρεάζει άμεσα την ποιότητα της «τοπικής ατμόσφαιρας» και εκτείνεται σε όρια ευρύτερα από την ιδιοκτησία του αερολιμένα), στους διαφορετικούς τύπους οχημάτων, στα σημεία προέλευσης και προορισμού των μετακινούμενων (εντός της περιοχής ενδιαφέροντος πάντα), ώστε να εντοπιστούν οι διανυόμενες αποστάσεις ταξιδιού και στη μέση ταχύτητα μετακίνησης ανά περίπτωση.

Τα απαραίτητα στοιχεία των μετακινήσεων διατίθενται κατά κύριο λόγο από τη διεύθυνση του αερολιμένα. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται με την τοποθέτηση φωρατών εγκάρσια στις διατομές των προς εξέταση οδών (επί ή υπό της ασφάλτου). Οι διατάξεις αυτές αποτελούν κλειστά κυκλώματα είτε αερίου σε λεπτούς σωλήνες είτε μαγνητικού πεδίου. Κατά τη διέλευση ενός οχήματος πάνω από τη διάταξη, οι τροχοί του ασκούν πίεση στον σωλήνα μεταβάλλοντας τη ροή του αερίου στο εσωτερικό του ή αντίστοιχα το κάτω μέρος του μεταλλικού αμαξώματος προκαλεί μεταβολή του μαγνητικού πεδίου. Η ένδειξη αυτή καταγράφεται και μετά από επεξεργασία του συνόλου των μετρήσεων μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για τον τύπο και την ταχύτητα των καταγεγραμμένων οχημάτων. Άλλη πηγή για την εύρεση των οχημάτων που κινούνται προς και από τον αερολιμένα είναι στατιστικές μετρήσεις που πραγματοποιούνται από τη διεύθυνση του αεροδρομίου, από εταιρίες που λειτουργούν στον αερολιμένα και από επιστημονικά ιδρύματα. Οι μετρήσεις αυτές είναι είτε απευθείας στην ύπαιθρο είτε έμμεσες με χρήση ερωτηματολογίων προς εργαζόμενους, επιβάτες και επισκέπτες.

Αφού ολοκληρωθεί η απογραφή των κινήσεων προς και από το αεροδρόμιο, η βάση των δεδομένων πρέπει να τροποποιηθεί για την εξαγωγή τιμών που θα χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό των εκπομπών. Αθροίζονται οι διελεύσεις των οχημάτων ανά κατηγορία για όλη την περίοδο απογραφής, αντιστοιχίζονται οι διελεύσεις με τις αποστάσεις ταξιδιού και υπολογίζονται μέσες τιμές ταχύτητας για τις επιμέρους διανυόμενες αποστάσεις.

Η αναζήτηση των απαραίτητων στοιχείων ολοκληρώνεται με την εύρεση αντιπροσωπευτικών δεικτών εκπομπών για κάθε κατηγορία οχήματος, ανάλογα με την ταχύτητα ταξιδιού του οχήματος. Καθώς στην πραγματικότητα οι τύποι των κινητήρων των οχημάτων είναι πάρα πολλοί, είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν παραδοχές για την εκτίμηση μέσων δεικτών εκπομπών που θα αναφέρονται στις επιλεγμένες κατηγορίες οχημάτων αντιπροσωπεύοντας όμως το σύνολο αυτών. Δείκτες εκπομπών για του κινητήρες των οχημάτων μπορούν να βρεθούν από επίσημους επιστημονικούς καταλόγους (για παράδειγμα από τον διεθνή κατάλογο CORINAIR), από μετρήσεις και έρευνες επιστημονικών ιδρυμάτων, από τα αρμόδια υπουργεία (στην Ελλάδα αρμόδιο είναι το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων) και από άλλους εθνικούς φορείς, όπως η εκάστοτε υπηρεσία περιβάλλοντος (όπως για παράδειγμα η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών – U.S. E.P.A.). Στην περίπτωση χρήσης διεθνών τιμών πρέπει να εφαρμόζεται έλεγχος ανταπόκρισης με τις εκάστοτε επικρατούσες

συνθήκες και να πραγματοποιείται τροποποίηση των τιμών για την καλύτερη προσαρμογή στα εθνικά δεδομένα.

Έχοντας ολοκληρώσει το πιο απαιτητικό μέρος της μεθοδολογίας, τη συλλογή των στοιχείων, δε μένει παρά ο τελικός υπολογισμός των εκπεμπόμενων ρύπων. Η διαδικασία υπολογισμού μπορεί να περιγραφεί απλοποιητικά ως ο πολλαπλασιασμός του δείκτη εκπομπών ενός ρύπου για συγκεκριμένη μέση ταχύτητα δεδομένου τύπου οχήματος με τη διανυόμενη απόσταση (FAA Air Quality Handbook, Appendix G, 1997). Οι συνολικές εκπομπές προκύπτουν ολοκληρώνοντας τις τιμές για κάθε κατηγορία οχήματος και για το συνολικό φόρτο οχημάτων. Η διαδικασία για κάθε κατηγορία οχήματος συνοψίζεται στη μαθηματική σχέση 4.6.

$$E_i = EI_{is} \times D \times T \quad (\text{σχέση 4.6})$$

Όπου : E_i - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, λόγω λειτουργίας των οχημάτων στην περίοδο απογραφής

EI_{is} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά χιλιόμετρο, που αντιστοιχεί σε ταχύτητα οχήματος s

D - απόσταση ταξιδιού (Distance travelled), σε χιλιόμετρα

T - αριθμός διελεύσεων (vehicle Trips)

i - είδος ρύπου (για παράδειγμα μονοξείδιο του άνθρακα)

s - μέση ταχύτητα ταξιδιού (vehicle Speed), σε χιλιόμετρα ανά ώρα

Παρατήρηση: Το γινόμενο ($D \times T$) της απόστασης ταξιδιού (D) και των διελεύσεων (T) είναι γνωστό ως διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα.

Η παραπάνω μεθοδολογία περιγράφει τον υπολογισμό εκπομπών που παράγονται από οχήματα που κινούνται επί των οδών προς τον αερολιμένα και εντός αυτού. Περιλαμβάνει, επομένως, τα επιβατικά οχήματα, τα δίκυκλα και τρίκυκλα, τα λεωφορεία, τα ημιφορτηγά και τα φορτηγά. Η εκτίμηση των εκπομπών από τα μέσα σταθερής τροχιάς δε διαφέρει στην εφαρμογή. Μεταβάλλονται μόνο οι πηγές συλλογής των αντίστοιχων στοιχείων καθώς τα οχήματα αυτά δεν κινούνται επί των οδών. Η εταιρία διαχείρισης του εκάστοτε μέσου μπορεί να μας προμηθεύσει με τα απαραίτητα για τους υπολογισμούς δεδομένα. Οι δείκτες εκπομπών είναι γνωστοί από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή, οι διελεύσεις του μέσου εντοπίζονται από τον πίνακα των δρομολογίων, ενώ η απόσταση και η ταχύτητα ταξιδιού μπορούν να αναζητηθούν στο τμήμα λειτουργίας της εταιρίας διαχείρισης του μέσου.

4.2.4.2 Ρύπανση λόγω στάσης και στάθμευσης στον αερολιμένα

Τα οχήματα που εισέρχονται στον αερολιμένα, για να εξυπηρετήσουν τον σκοπό των μετακινούμενων προσώπων, πραγματοποιούν υποχρεωτικά κάποια στάση (προσωρινή ακινητοποίηση του οχήματος με τον κινητήρα σε λειτουργία) ή σταθμεύουν σε κάποιο χώρο στάθμευσης (το όχημα ακινητοποιείται και ο κινητήρας τίθεται εκτός λειτουργίας). Κατά τη διαδικασία της στάθμευσης, δηλαδή κατά την αναζήτηση ελεύθερης θέσης, τα οχήματα κινούνται

εντός προκαθορισμένων διαδρόμων, καθώς οι χώροι στάθμευσης στα αεροδρόμια είναι συγκεκριμένοι, με τους κινητήρες να λειτουργούν σε χαμηλή ισχύ, παράγοντας συγκεκριμένες εκπομπές.

Ο υπολογισμός των εκπομπών πραγματοποιείται σύμφωνα με τη σχέση 4.6 της προηγούμενης παραγράφου. Όμως, στην προκειμένη περίπτωση οι δείκτες εκπομπών αναφέρονται σε χαμηλότερες ταχύτητες. Για παράδειγμα, σε πολλές περιπτώσεις χώρων στάθμευσης ορίζεται ως μέγιστη ταχύτητα κίνησης τα 20 χιλιόμετρα/ώρα. Οι δείκτες εκπομπών μπορούν να βρεθούν από επίσημους καταλόγους, από αντίστοιχες έρευνες, από τα αρμόδια υπουργεία ή από άλλους εθνικούς φορείς. Οι διελεύσεις των οχημάτων υπάρχουν καταχωρημένες στο σύστημα καταγραφής των χώρων στάθμευσης με κόμιστρο, ενώ για τους ελεύθερους χώρους στάθμευσης (για παράδειγμα τους χώρους στάθμευσης των εργαζόμενων) μπορούν να εκτιμηθούν με βάση στοιχεία ή στατιστικές έρευνες της διεύθυνσης του αεροδρομίου. Οι διανυόμενες αποστάσεις στους χώρους στάθμευσης ορίζονται από την είσοδο του χώρου έως τη θέση όπου τελικά σταθμεύει το όχημα. Στην πράξη χρησιμοποιούνται μέσες αποστάσεις, οι οποίες μπορούν να υπολογιστούν από στοιχεία της διεύθυνσης του αερολιμένα για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των χώρων στάθμευσης και από έρευνες για τη στάθμευση των οχημάτων στο αεροδρόμιο.

Κατά τη στάση των οχημάτων, όπου δεν εκτελούν κάποια κίνηση, αλλά ο κινητήρας τους βρίσκεται σε λειτουργία, παράγονται ρύποι από τον κινητήρα με τρόπο που ελάχιστα διαφέρει από την περίπτωση του οχήματος που σταθμεύει. Βέβαια, δε συνηθίζεται η καταγραφή όλων των οχημάτων που βρίσκονται σε αναμονή, καθώς οι δείκτες εκπομπών για την κίνηση των οχημάτων περιλαμβάνουν τις συνήθεις μικρές στάσεις. Λαμβάνονται υπόψη μόνο οι περιπτώσεις οχημάτων που ακινητοποιούνται για εκτεταμένους χρόνους, όπως τα ταξί και τα οχήματα των επιβατών, που αποβιβάζουν ή υποδέχονται κάποιον επιβάτη. Οι εκπομπές λόγω αναμονής προκύπτουν από τη χρήση δεικτών εκπομπών για το χρονικό διάστημα που τέθηκε ο κινητήρας σε αυτή την κατάσταση. Οι δείκτες εκπομπών συσχετίζονται με τη διάρκεια της αναμονής μέσω του δείκτη κατανάλωσης καυσίμου του οχήματος στη φάση αυτή. Αυτό παρουσιάζεται αναλυτικά στη μαθηματική σχέση 4.7, η οποία προσδιορίζει τον τρόπο υπολογισμού των εκπομπών λόγω αναμονής ενός οχήματος.

$$E_i = EI_{if} \times FCI \times IT \quad (\text{σχέση 4.7})$$

Όπου : E_i - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, λόγω αναμονής των οχημάτων στην περίοδο απογραφής

EI_{if} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά λίτρο καυσίμου f , που αντιστοιχεί στη φάση αναμονής

FCI - δείκτης κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Consumption Index) των οχημάτων, σε λίτρα ανά λεπτό, για τη λειτουργία του κινητήρα σε κατάσταση αναμονής

IT - διάρκεια αναμονής (Idle Time) του οχήματος, σε λεπτά, για την περίοδο απογραφής

f - είδος καυσίμου (για παράδειγμα πετρέλαιο)

i - είδος ρύπου (για παράδειγμα μονοξείδιο του άνθρακα)

Αθροίζοντας τις τιμές που προκύπτουν από τη σχέση 4.7, για όλο το πλήθος και τις κατηγορίες αυτοκινήτων που τέθηκαν σε αναμονή, εξάγουμε τις συνολικές εκπομπές ρύπων λόγω αναμονής των οχημάτων στον αερολιμένα. Οι δείκτες εκπομπών και κατανάλωσης καυσίμου μπορούν να βρεθούν από δημοσιευμένους καταλόγους, επιστημονικές έρευνες ή από το αρμόδιο υπουργείο. Οι χρόνοι αναμονής των οχημάτων είναι διαθέσιμοι αν έχουν πραγματοποιηθεί σχετικές έρευνες από τη διεύθυνση του αερολιμένα, άλλες εταιρίες ή επιστημονικά ιδρύματα.

Παρά τη διαφορετική λειτουργία του κινητήρα κατά την κίνηση επί των οδών και κατά τη στάση ή στάθμευση, οι παραγόμενοι ρύποι είναι οι ίδιοι. Κύριο προϊόν της καύσης που λαμβάνει χώρα στους κινητήρες των οχημάτων είναι το διοξείδιο του άνθρακα. Ακολουθούν το μονοξείδιο του άνθρακα, οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες, τα στερεά σωματίδια, τα οξείδια του αζώτου και κατά περιπτώσεις ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα τα οξείδια του θείου. Καθώς πληθαίνουν τα οχήματα που λειτουργούν με αμόλυβδη βενζίνη και πετρέλαιο, καύσιμα στα οποία το ποσοστό μολύβδου είναι αμελητέο, θεωρείται ότι οι εκπομπές μολύβδου από τους κινητήρες των οχημάτων είναι επίσης αμελητέες. Η διαφοροποίηση των εκπομπών, που παράγονται από τις δύο φάσεις λειτουργίας του κινητήρα, εντοπίζεται στην ποσότητα κάθε ρύπου.

Οι δείκτες εκπομπών που υιοθετούνται για τον υπολογισμό των ρύπων που παράγονται από τις καύσεις των κινητήρων των οχημάτων, προέρχονται, όπως προαναφέρθηκε, από επίσημους καταλόγους υπηρεσιών ή εθνικών φορέων. Οι τιμές που αναγράφονται στους καταλόγους αυτούς είναι μέσες τιμές υπολογισμένες από δείγματα που μπορεί να διαφέρουν από τα πραγματικά και για το λόγο αυτό η ακρίβεια των αποτελεσμάτων δεν είναι η μέγιστη δυνατή. Οι δείκτες εκπομπών εξαρτώνται από πλήθος παραγόντων που μεταβάλλονται διαρκώς κατά τη λειτουργία του οχήματος. Εκτός από την ταχύτητα κίνησης του οχήματος, το είδος του καυσίμου και τον τύπο του κινητήρα, σημαντικό ρόλο παίζει η παλαιότητα του οχήματος και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Ακόμα και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή λειτουργίας του οχήματος επηρεάζουν τους συντελεστές εκπομπών. Γίνεται, επομένως κατανοητό ότι για να επιτευχθεί μεγάλη ακρίβεια στους υπολογισμούς των εκπομπών των οχημάτων πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες ταυτόχρονα, οι οποίοι μεταβάλλονται διαρκώς. Η πλήρης, όμως, εκτίμηση των εκπομπών με χρήση όλων των πιθανών συνιστωσών είναι εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία και απαιτεί τη συγκέντρωση μεγάλου όγκου δεδομένων και την επεξεργασία αυτών. Για μεμονωμένες περιπτώσεις όπου είναι διαθέσιμα όλα ή αρκετά από τα απαραίτητα στοιχεία, υπάρχουν υπολογιστικά μοντέλα εκπομπών, τα οποία χρησιμοποιούν όλες τις διαθέσιμες παραμέτρους. Η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών συνιστά τη χρήση του μοντέλου MOBILE 5 για την εκτίμηση δεικτών εκπομπών υδρογονανθράκων, μονοξειδίου του άνθρακα και οξειδίων του αζώτου, ενώ για τα στερεά σωματίδια και το διοξείδιο του θείου συστήνει το μοντέλο PART 5.

4.2.4.3 Ρύπανση λόγω εξάτμισης ρύπων από τους κινητήρες των οχημάτων

Εκτός από τους ρύπους λόγω καύσης, που εκπέμπονται από τους κινητήρες των οχημάτων, τα μέσα μετακίνησης των επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων απελευθερώνουν πτητικούς υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα λόγω εξάτμισης των καυσίμων από τον κινητήρα και τη δεξαμενή καυσίμου. Υπάρχουν έξι τύποι εκπομπών λόγω εξάτμισης (FAA Air Quality Handbook, Appendix G, 1997): Απώλειες στροφαλοθάλαμου, απώλειες ανεφοδιασμού, απώλειες κίνησης, απώλειες λόγω θέρμανσης κινητήρα, ημερήσιες απώλειες και απώλειες ηρεμίας. Οι τύποι αυτοί μπορούν να χωριστούν σε εκπομπές εν κινήσει και εκπομπές εν στάση, σύμφωνα με τον πίνακα 4.2. Οι πρώτες παράγονται κατά την κίνηση του οχήματος και υπολογίζονται σε κάθε πραγματοποιούμενο ταξίδι επί οδού ή εντός χώρου στάθμευσης. Οι εκπομπές εν στάση παράγονται όταν το όχημα ακινητοποιείται και επομένως λαμβάνονται υπόψη μόνο για οχήματα που σταματούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή σταθμεύουν. Η περιγραφή και η εκτίμηση των εκπομπών κάθε κατηγορίας αναφέρονται με λεπτομέρεια παρακάτω.

Πίνακας 4.2 : Εκπομπές Οχημάτων λόγω Εξάτμισης Καυσίμων

Εκπομπές εν κινήσει	Εκπομπές εν στάση
Απώλειες Στροφαλοθάλαμου	Απώλειες λόγω Θέρμανσης Κινητήρα
Απώλειες Ανεφοδιασμού	Ημερήσιες Απώλειες
Απώλειες Κίνησης	Απώλειες Ηρεμίας

- **Απώλειες Στροφαλοθάλαμου** – Συμβαίνουν κατά την κίνηση ενός οχήματος και επομένως εξαρτώνται από τα πραγματοποιημένα οχηματοχιλιόμετρα. Είναι αποτέλεσμα του εκτοπισμού καυσίμου από τον κινητήρα κατά τη λειτουργία αυτού.

$$ET = EI \times D \times T \quad (\text{σχέση 4.8})$$

Όπου :

- ET** - συνολικές εκπομπές (Emissions Total) υδρογονανθράκων, σε χιλιόγραμμα, που προκύπτουν λόγω απωλειών του στροφαλοθάλαμου του οχήματος, καθ' όλη την περίοδο αναφοράς
- EI** - δείκτης εκπομπών (Emission Index), σε χιλιόγραμμα ανά χιλιόμετρο ταξιδιού
- D** - απόσταση ταξιδιού (Distance travelled), σε χιλιόμετρα
- T** - αριθμός διελεύσεων (vehicle Trips)

- **Απώλειες Ανεφοδιασμού** – Είναι οι ατμοί καυσίμου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από τη δεξαμενή καυσίμων του οχήματος κατά τον ανεφοδιασμό του. Υπολογίζονται για τα οχήματα που ανεφοδιάζονται στα πρατήρια καυσίμων που λειτουργούν εντός του αεροδρομίου. Από τα πρατήρια αυτά μπορούν να ληφθούν τα απαραίτητα στοιχεία για την εκτίμηση των εκπομπών ανεφοδιασμού, συνήθως από τις πωλήσεις καυσίμων.

$$ET = EIL \times L$$

ή

(σχέση 4.9)

$$ET = EID \times D \times T$$

Όπου : **ET** - συνολικές εκπομπές (Emissions Total) υδρογονανθράκων, σε χιλιόγραμμα, που προκύπτουν λόγω απωλειών κατά τον ανεφοδιασμό του οχήματος, καθ' όλη την περίοδο αναφοράς

EIL - δείκτης εκπομπών (Emission Index), σε χιλιόγραμμα ανά λίτρο καυσίμου που πωλήθηκε από τα πρατήρια εντός του αερολιμένα

EID - δείκτης εκπομπών (Emission Index), σε χιλιόγραμμα ανά χιλιόμετρο ταξιδιού

L - ποσότητα καυσίμου, σε λίτρα (Liters), που πωλήθηκε από τα πρατήρια εντός του αερολιμένα

D - απόσταση ταξιδιού (Distance travelled), σε χιλιόμετρα

T - αριθμός διελεύσεων (vehicle Trips)

- **Απώλειες Κίνησης** – Οφείλονται στην εξάτμιση καυσίμων λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στον κινητήρα κατά τη λειτουργία του οχήματος. Οι απώλειες κίνησης είναι αμελητέες στην αρχή, αλλά αυξάνουν σημαντικά καθώς επιμηκύνεται η διάρκεια ταξιδιού. Η μαθηματική σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπομπών αυτών είναι η ίδια με τη σχέση υπολογισμού των απωλειών στροφαλοθάλαμου, έχει όμως διαφορετικούς δείκτες εκπομπών.

$$ET = EI \times D \times T$$

(σχέση 4.10)

Όπου : **ET** - συνολικές εκπομπές (Emissions Total) υδρογονανθράκων, σε χιλιόγραμμα, που προκύπτουν λόγω απωλειών από την κίνηση του οχήματος, καθ' όλη την περίοδο αναφοράς

EI - δείκτης εκπομπών (Emission Index), σε χιλιόγραμμα ανά χιλιόμετρο ταξιδιού

D - απόσταση ταξιδιού (Distance travelled), σε χιλιόμετρα

T - αριθμός διελεύσεων (vehicle Trips)

- **Απώλειες λόγω Θέρμανσης Κινητήρα** – Μοιάζουν με τις απώλειες κίνησης, αλλά συμβαίνουν μετά το πέρας κάθε ταξιδιού, καθώς η υψηλή θερμοκρασία που έχει αναπτυχθεί στον κινητήρα, λόγω λειτουργίας του οχήματος, προκαλεί την εξάτμιση καυσίμου ακόμα και μετά την θέση του εκτός λειτουργίας.

$$ET = EI \times T \quad (\text{σχέση 4.11})$$

Όπου : **ET** - συνολικές εκπομπές (Emissions Total) υδρογονανθράκων, σε χιλιόγραμμα, που προκύπτουν λόγω απωλειών από την θέρμανση του κινητήρα, καθ' όλη την περίοδο αναφοράς

EI - δείκτης εκπομπών (Emission Index), σε χιλιόγραμμα ανά διέλευση

T - αριθμός διελεύσεων (vehicle Trips), για τις οποίες αναπτύχθηκε στον κινητήρα υψηλή θερμοκρασία (δηλ. διελεύσεις που περιλαμβάνουν στάση και απενεργοποίηση του οχήματος)

- **Ημερήσιες Απώλειες** – Οι ημερήσιες απώλειες συμβαίνουν κατά την ακινητοποίηση του οχήματος σε περιόδους αυξανόμενης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

$$ET = EI \times N \times T \quad (\text{σχέση 4.12})$$

Όπου : **ET** - συνολικές εκπομπές (Emissions Total) υδρογονανθράκων, σε χιλιόγραμμα, που προκύπτουν λόγω ημερησίων απωλειών, καθ' όλη την περίοδο αναφοράς

EI - δείκτης εκπομπών (Emission Index), σε χιλιόγραμμα ανά όχημα και ημέρα

N - αριθμός (Number) ημερών κατά τις οποίες το όχημα παρέμεινε ακινητοποιημένο

T - αριθμός διελεύσεων (vehicle Trips), για τις οποίες υπήρξε περίοδος ακινητοποίησης του οχήματος με αυξανόμενες θερμοκρασίες περιβάλλοντος

- **Απώλειες Ηρεμίας** – Συμβαίνουν όταν ο κινητήρας ενός οχήματος βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, δηλαδή εκτός λειτουργίας και ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της διαπερατότητας των υλικών του συστήματος καυσίμων. Οι εκπομπές αυτές υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τον αριθμό ωρών που το όχημα βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

$$ET = EIR \times R \times H \times T$$

$$\text{ή} \quad (\text{σχέση 4.13})$$

$$ET = EID \times D \times T$$

Όπου : **ET** - συνολικές εκπομπές (Emissions Total) υδρογονανθράκων, σε χιλιόγραμμα, που προκύπτουν λόγω απωλειών ηρεμίας, καθ' όλη την περίοδο αναφοράς

EIR - δείκτης εκπομπών (Emission Index), σε χιλιόγραμμα ανά ώρες ηρεμίας (hours of Rest) του οχήματος

EID - δείκτης εκπομπών (Emission Index), σε χιλιόγραμμα ανά χιλιόμετρο

R - ημέρες ηρεμίας (days of Rest)

H - ώρες ηρεμίας (Hours of rest) ανά ημέρα

D - απόσταση ταξιδιού (Distance travelled), σε χιλιόμετρα

T - αριθμός διελεύσεων (vehicle Trips), για τις οποίες υπήρξε περίοδος ηρεμίας του οχήματος

Στις παραπάνω σχέσεις υπολογισμού γίνεται χρήση εξειδικευμένων δεικτών εκπομπών που διαφέρουν κατά περίπτωση εκπομπής. Οι δείκτες αυτοί σπάνια βρίσκονται καταγεγραμμένοι σε καταλόγους. Προκύπτουν από την εφαρμογή υπολογιστικών μοντέλων (MOBILE 5, PART 5) σε μεμονωμένες έρευνες, σύμφωνα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περίπτωσης, καθώς για να εξαχθούν πρέπει να ληφθεί υπόψη μεγάλο πλήθος παραμέτρων. Τα υπόλοιπα στοιχεία που απαιτούνται για τους παραπάνω υπολογισμούς, όπως η απόσταση ταξιδιού, ο αριθμός των διελεύσεων και τα στοιχεία στάθμευσης, προκύπτουν από έρευνες που εκτελούνται κατά περιόδους στο αεροδρόμιο και από τα αρχεία δεδομένων της διεύθυνσης του αερολιμένα.

4.2.5 Εκτίμηση ρύπων από τις σταθερές πηγές

Οι σταθερές πηγές εκπομπών ενός αεροδρομίου, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες με κριτήριο το μηχανισμό γένεσης των ρύπων. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις εκπομπές που προέρχονται από αντιδράσεις καύσης διαφόρων εγκαταστάσεων, ενώ στη δεύτερη ανήκουν οι εκπομπές που διοχετεύονται στην ατμόσφαιρα χωρίς τη μεσολάβηση χημικής αντίδρασης, με απλή έκθεση στον ατμοσφαιρικό αέρα. Στον πίνακα 4.3 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η διάκριση των σταθερών πηγών.

Πίνακας 4.3 : Σταθερές Πηγές Εκπομπών Αεροδρομίου (Πηγή: www.faa.gov)

Πηγές Καύσης	Πηγές Έκθεσης στο Περιβάλλον
Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης	Δεξαμενές Καυσίμων
Εγκαταστάσεις Θέρμανσης	Χρωμάτισμα και Επίχριση Επιφανειών
Γεννήτριες Εκτάκτου Ανάγκης	Υγρά Αποπαγοποίησης
Αποτεφρωτήρες	Διαλυτικές Ουσίες
Ασκήσεις Πυροσβεστικής Υπηρεσίας	Σωροί Άλατος και Άμμου
Δοκιμές Κινητήρων Αεροσκαφών	

Οι μηχανισμοί παραγωγής ρύπων από τις σταθερές πηγές εκπομπών έχουν περιγραφεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 3 της παρούσας έρευνας. Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία και παρουσιάζονται οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εκπομπών από κάθε πηγή.

4.2.5.1 Εγκαταστάσεις θέρμανσης

Οι γενικές γραμμές της μεθοδολογίας υπολογισμού εκπομπών από πηγές καύσης, εφαρμόζονται και στις σταθερές πηγές καύσης, με κατάλληλη τροποποίηση ώστε να συμπεριλαμβάνονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε πηγής. Οι εκπομπές των εγκαταστάσεων

θέρμανσης εμπίπτουν στην κατηγορία πηγών καύσης και υπολογίζονται όμοια με αυτές των κινητήρων των οχημάτων. Η ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται κατά την περίοδο απογραφής πολλαπλασιάζεται με τον κατάλληλο δείκτη εκπομπών για να προκύψουν οι εκπομπές κάθε ρύπου που εκλύθηκε στο περιβάλλον. Οι εκπομπές μεμονωμένης σταθερής πηγής εκπομπών λόγω καύσεων μπορούν να υπολογιστούν με εφαρμογή της μαθηματικής σχέσης 4.14.

$$E_i = \Sigma (F \times EI_i) \quad (\text{σχέση 4.14})$$

Όπου : E_i - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία σταθερής πηγής καύσης κατά την περίοδο απογραφής
 F - συνολική ποσότητα καταναλισκόμενου καυσίμου (Fuel consumption), σε κυβικά μέτρα ή τόνους, κατά την περίοδο απογραφής
 EI_i - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο ή ανά τόνο καταναλισκόμενου καυσίμου
 i - είδος ρύπου (CO , SO_x , PM , NO_x , HC)

Επομένως, για την εύρεση των εκπομπών από τις σταθερές πηγές καύσης, είναι απαραίτητη η γνώση των δεικτών εκπομπών και της ποσότητας καυσίμου που καταναλώνεται σε κάθε εγκατάσταση χωριστά. Τα στοιχεία κατανάλωσης μπορούν να αναζητηθούν από τη διεύθυνση του αεροδρομίου, ενώ οι δείκτες εκπομπών είτε υπάρχουν στο εγχειρίδιο κάθε εγκατάστασης είτε δίνονται από αρμόδιες υπηρεσίες που δημοσιεύουν καταλόγους δεικτών (όπως για παράδειγμα η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας των Ηνωμένων Πολιτειών).

Για την εξαγωγή των δεικτών εκπομπών των σταθερών πηγών καύσης λαμβάνονται υπόψη παράγοντες με ιδιαίτερη σημασία για τις εκπομπές που εκλύονται, όπως ο τύπος του καυσίμου, η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο και αιθάλη, ο τύπος της εγκατάστασης και η διάταξη που χρησιμοποιείται κατά περίπτωση για τη μείωση των εκπομπών. Σε κάθε τύπο καυσίμου και εγκατάστασης αντιστοιχεί ένας δείκτης ελεύθερων εκπομπών (χωρίς περιοριστικές διατάξεις ρύπων). Για τον προσδιορισμό του δείκτη που τελικά θα χρησιμοποιηθεί στους υπολογισμούς μας, διορθώνεται ο δείκτης ελεύθερων εκπομπών εξαιτίας του εξοπλισμού μείωσης εκπομπών και τροποποιείται επιπρόσθετα ανάλογα με τον ρύπο που εξετάζουμε (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997). Για τις εκπομπές διοξειδίου του θείου λαμβάνεται υπόψη η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, ενώ για τις εκπομπές στερεών σωματιδίων ο δείκτης επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε αιθάλη. Η μεθοδολογία προσδιορισμού του τελικού κατάλληλου δείκτη παρουσιάζεται στη σχέση 4.15.

$$EI_i = UI_i \times (1 - CF/100) \times FM_i \quad (\text{σχέση 4.15})$$

Όπου : EI_i - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο ή ανά τόνο καταναλισκόμενου καυσίμου
 UI_i - δείκτης ελεύθερων εκπομπών (Uncontrolled emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο ή ανά τόνο καταναλισκόμενου καυσίμου

CF - συντελεστής περιορισμού ρύπανσης (air pollution Control Factor) σε ποσοστό επί τοις εκατό (%)

FM_i - συντελεστής τροποποίησης καυσίμου ανά είδος ρύπου (Fuel Modifier). Για τις εκπομπές διοξειδίου του θείου ισούται με την κατά βάρος περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο, ενώ για τις εκπομπές στερεών σωματιδίων είναι ίσος με την κατά βάρος περιεκτικότητα του καυσίμου σε αιθάλη. Αγνοείται για τους υπόλοιπους ρύπους

i - είδος ρύπου (CO, SO_x, PM, NO_x, HC)

Η περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο και αιθάλη μπορούν να βρεθούν από τον προμηθευτή καυσίμων του αερολιμένα ή από δημοσιευμένους κατάλογους με προκαθορισμένες τιμές. Οι απαραίτητες πληροφορίες για τον τύπο της εγκατάστασης θέρμανσης μπορούν να ληφθούν από τη διεύθυνση του αεροδρομίου και τις διάφορες υπηρεσίες που λειτουργούν εντός αυτού. Από τις ίδιες πηγές ή από το εγχειρίδιο της εκάστοτε εγκατάστασης λαμβάνονται τα ποσοστά μείωσης της ρύπανσης λόγω των χρησιμοποιούμενων διατάξεων περιορισμού.

4.2.5.2 Εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης και γεννήτριες εκτάκτου ανάγκης

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται δύο διαφορετικές μεθοδολογίες υπολογισμού (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997). Σύμφωνα με την πρώτη, οι εκπομπές ρύπων υπολογίζονται χρησιμοποιώντας στοιχεία ισχύος της γεννήτριας, ρυθμού χρήσης αυτής και κάποιους δείκτες εκπομπών. Για την εκτίμηση των ρύπων πολλαπλασιάζεται η ισχύς κάθε γεννήτριας με τις ώρες λειτουργίας αυτής και με τον κατάλληλο δείκτη εκπομπών για κάθε ρύπο. Η διαδικασία παρουσιάζεται αναλυτικά στη σχέση 4.16:

$$E_i = \sum [GC \times T \times UI_i \times (1 - CF/100)] \quad (\text{σχέση 4.16})$$

Όπου: **E_i** - εκπομπές (Emissions) του ρύπου **i**, σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία της εγκατάστασης κατά την περίοδο απογραφής

GC - ηλεκτρική ισχύς της εγκατάστασης (Generator power Capacity rating) σε ίππους (HP) ή κιλοβάτ (KW)

T - χρόνος (Time) λειτουργίας της γεννήτριας, σε ώρες, κατά την περίοδο απογραφής

UI_i - δείκτης ελεύθερων εκπομπών (Uncontrolled emission Index) για τον ρύπο **i**, σε χιλιόγραμμα ανά ιππούρα/κιλοβατώρα παραγόμενης ισχύος

CF - συντελεστής περιορισμού ρύπανσης (air pollution Control Factor) σε ποσοστό επί τοις εκατό (%)

i - είδος ρύπου (CO, SO_x, PM, NO_x, HC)

Κατά τη δεύτερη μεθοδολογία οι εκπομπές υπολογίζονται με βάση την κατανάλωση καυσίμου κάθε εγκατάστασης, η οποία πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο δείκτη εκπομπών για κάθε ρύπο (σχέση 4.17).

$$E_i = \Sigma [F \times UI_i \times (1 - CF/100)] \quad (\text{σχέση 4.17})$$

Όπου : E_i - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία της εγκατάστασης κατά την περίοδο απογραφής

F - συνολική ποσότητα καυσίμου (total quantity of Fuel burned) που καταναλώθηκε καθ' όλη την περίοδο απογραφής, εκφρασμένη σε κυβικά μέτρα

UI_i - δείκτης ελεύθερων εκπομπών (Uncontrolled emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο καταναλισκόμενου καυσίμου

CF - συντελεστής περιορισμού ρύπανσης (air pollution Control Factor) σε ποσοστό επί τοις εκατό (%)

i - είδος ρύπου (CO, SO_x, PM, NO_x, HC)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε εγκατάστασης διατίθενται από τους κατασκευαστές ή από τη διεύθυνση του αεροδρομίου. Το αντίστοιχο τμήμα της διεύθυνσης διαθέτει επίσης τα στοιχεία χρήσης και κατανάλωσης κάθε εγκατάστασης, τα οποία συνήθως εκφράζονται σε ώρες λειτουργίας και κυβικά μέτρα αντίστοιχα. Οι συντελεστές μείωσης εκπομπών μπορούν να βρεθούν από καταλόγους ανάλογα με την εκάστοτε διάταξη που χρησιμοποιείται. Τέλος, οι δείκτες εκπομπών δίνονται από τον κατασκευαστή ή εντοπίζονται από δημοσιευμένους καταλόγους για δεδομένη εγκατάσταση και τύπο καυσίμου. Η διεύθυνση του αερολιμένα γνωρίζει τα απαραίτητα στοιχεία για τα καύσιμα που καταναλώνονται. Ακολουθεί ένας ενδεικτικός πίνακας της Ομοσπονδιακής Διεύθυνσης Αεροπορίας των ΗΠΑ, με προτεινόμενους δείκτες ελεύθερων εκπομπών ανά τύπο καυσίμου.

Πίνακας 4.4 : Δείκτες Ελεύθερων Εκπομπών για Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης και Γεννήτριες Εκτάκτου Ανάγκης (Πηγή: www.epa.gov)

Τύπος Καυσίμου	Δείκτες Εκπομπών (lb/10 ³ gallons fuel or 10 ⁶ cubic feet gas)					
	CO	PM	PM-10	NO _x	SO ₂	HC
Πετρέλαιο	130,0	42,5	32,0	604,0	141(S)	49,3
Κηροζίνη/Νάφθα	102,0	33,5	32,0	469,0	128(S)	32,1
Βενζίνη	7128,0	11,4	6,2	185,0	123(S)	344,0
Φυσικό Αέριο	430,0	10,0	10,0	3400,0	840(S)	82,9
Προπάνιο/Βουτάνιο	129,0	5,0	5,0	139,0	91(S)	83,0
Ακατέργαστο Πετρέλαιο	102,0	33,5	30,8	469,0	152(S)	32,1

Οι δείκτες για το διοξείδιο του θείου προκύπτουν πολλαπλασιάζοντας την αναγραφόμενη τιμή με την κατά βάρος περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο. Αυτό δηλώνει το σύμβολο (S).

4.2.5.3 Αποτεφρωτήρες

Οι εκπομπές από τους αποτεφρωτήρες υπολογίζονται ακολουθώντας τη συνήθη μεθοδολογία για τις εκπομπές λόγω καύσης. Πολλαπλασιάζεται η μάζα των απορριμμάτων που καίγονται, με τον κατάλληλο δείκτη εκπομπών για κάθε ρύπο και το αποτέλεσμα διορθώνεται κατά το ποσοστό που επιβάλλουν οι διατάξεις περιορισμού της ρύπανσης (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997). Οι συνολικές εκπομπές ρύπων από αποτεφρωτήρες μπορούν να εκτιμηθούν από τη μαθηματική σχέση 4.18.

$$E_i = \Sigma [W \times UI_i \times (1 - CF/100)] \quad (\text{σχέση 4.18})$$

Όπου : E_i - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία του αποτεφρωτήρα κατά την περίοδο απογραφής
 W - συνολική ποσότητα απορριμμάτων που κάηκαν (total quantity of Waste burned) καθ' όλη την περίοδο απογραφής, εκφρασμένη σε τόνους
 UI_i - δείκτης ελεύθερων εκπομπών (Uncontrolled emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά τόνο καμένων απορριμμάτων
 CF - συντελεστής περιορισμού ρύπανσης (air pollution Control Factor) σε ποσοστό επί τοις εκατό (%)
 i - είδος ρύπου (CO , SO_x , PM , NO_x , HC)

Η μάζα των απορριμμάτων προς καύση εξαρτάται από το μέγεθος και τη λειτουργία του εκάστοτε αερολιμένα. Η διεύθυνση διαθέτει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τη μάζα και τη σύσταση των απορριμμάτων που καίγονται κατά την περίοδο απογραφής. Οι δείκτες εκπομπών δίνονται σε αντίστοιχους καταλόγους και διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Σε αυτούς που αντιστοιχούν σε αποτεφρωτήρες μονού θαλάμου και σε αυτούς που αναφέρονται σε αποτεφρωτήρες πολλαπλών θαλάμων. Ο τύπος του αποτεφρωτήρα μπορεί να ληφθεί από τη διεύθυνση του αερολιμένα. Οι εκπομπές των αποτεφρωτήρων περιορίζονται από φίλτρα ή διατάξεις μετάκαυσης. Η διεύθυνση του αερολιμένα γνωρίζει ακριβώς το είδος της διάταξης που χρησιμοποιείται ενώ τα ποσοστά μείωσης μπορούν να αναζητηθούν σε καταλόγους εκπομπών.

4.2.5.4 Ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας

Η διαδικασία εκτίμησης των εκπομπών από τις ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας είναι αρκετά απλοϊκή. Οι εκπομπές λόγω καύσης εκλύονται απευθείας στο περιβάλλον χωρίς τη μεσολάβηση περιοριστικών διατάξεων (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997). Έτσι, οι εκπεμπόμενοι ρύποι προκύπτουν ευθέως από τον πολλαπλασιασμό της ποσότητας του χρησιμοποιούμενου καυσίμου με τον αντίστοιχο δείκτη εκπομπών, όπως φαίνεται και στη σχέση 4.19.

$$E_i = \Sigma (QF \times EI_i) \quad (\text{σχέση 4.19})$$

Όπου : E_i - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα
 QF - συνολική ποσότητα καυσίμων (Quantity of Fuel) που καταναλώθηκαν σε ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας καθ' όλη την περίοδο απογραφής, εκφρασμένη σε κυβικά μέτρα
 EI_i - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i , σε χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο χρησιμοποιούμενου καυσίμου
 i - είδος ρύπου (CO , SO_x , PM , NO_x , HC)

Η συνολική ποσότητα καυσίμων που χρησιμοποιείται μπορεί να βρεθεί από την πυροσβεστική υπηρεσία ή τη διεύθυνση του αερολιμένα. Οι δείκτες εκπομπών εξαρτώνται από το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιείται και μπορούν να αναζητηθούν σε καταλόγους ελεύθερων εκπομπών των αντίστοιχων καυσίμων. Ακολουθεί ένας πίνακας ελεύθερων εκπομπών των κυριότερων καυσίμων που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες ασκήσεις:

Πίνακας 4.5 : Δείκτες Ελεύθερων Εκπομπών των Καυσίμων που Χρησιμοποιούνται στις Ασκήσεις της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας (Πηγή: www.faa.gov)

Τύπος Καυσίμου	Δείκτες Εκπομπών (kg/m^3 καυσίμου)				
	CO	PM	NO _x	SO ₂	HC
Προπάνιο	4,2	14,0	0,8	0,0	3,8
JP-4	429,5	115,0	3,2	0,5	15,3
JP-8	537,7	121,5	4,0	0,8	16,2

4.2.5.5 Δοκιμές κινητήρων αεροσκαφών

Οι εκπομπές από τις δοκιμές κινητήρων υπολογίζονται με χρήση παρόμοιας μεθοδολογίας με αυτή που εφαρμόζεται στον υπολογισμό των ρύπων από τις κινήσεις των αεροσκαφών. Για κάθε κινητήρα που δοκιμάζεται οι δείκτες εκπομπών και κατανάλωσης καυσίμου είναι γνωστοί από δημοσιευμένους καταλόγους. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, ο κινητήρας διανύει μια ακολουθία επιπέδων ισχύος, προσομοιάζοντας τις πραγματικές συνθήκες πτήσης. Η γνώση των χρόνων λειτουργίας ανά φάση του κύκλου LTO, επιτρέπει την εκτίμηση των εκπομπών από τις δοκιμές. Οι απαιτούμενες πληροφορίες για τον τύπο των κινητήρων που δοκιμάζονται, όπως και για τους χρόνους των δοκιμών, λαμβάνονται από τη διεύθυνση του αερολιμένα ή από το τμήμα συντήρησης των αερομεταφορέων ή της διεύθυνσης. Η μεθοδολογία υπολογισμού συνοψίζεται στη σχέση 4.20 (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997).

$$E_i = \sum (N \times TT_j \times FF_j \times EI_{ij}) \quad (\text{σχέση 4.20})$$

Όπου : E_i - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε χιλιόγραμμα
 N - αριθμός (Number) κύκλων LTO που πραγματοποιήθηκαν κατά τη δοκιμή
 TT_j - διάρκεια δοκιμής (Test Time) , σε λεπτά ανά δοκιμή, για τη φάση λειτουργίας j
 FF_j - ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow rate), σε τόνους ανά λεπτό, κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας j
 EI_{ij} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i και τη φάση λειτουργίας j , σε χιλιόγραμμα ανά τόνο χρησιμοποιούμενου καυσίμου
 i - είδος ρύπου (CO , SO_x , PM , NO_x , HC)
 j - φάση λειτουργίας του κινητήρα (κατά LTO cycle)

4.2.5.6 Δεξαμενές καυσίμων

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, οι δύο κύριες κατηγορίες εκπομπών από τις δεξαμενές είναι οι εκπομπές ηρεμίας, που προκύπτουν από μεταβολές στην θερμοκρασία και τη βαρομετρική πίεση της ατμόσφαιρας και οι εκπομπές λειτουργίας, οι οποίες ελευθερώνονται κατά τη χρήση και τον ανεφοδιασμό των δεξαμενών. Και στις δύο περιπτώσεις οι εκπομπές γεννώνται εξαιτίας της διαφοράς πίεσης στο εσωτερικό και το εξωτερικό της δεξαμενής, που προκαλεί τη διαφυγή των υδρογονανθράκων από κάθε δυνατή έξοδο. Η γενική μεθοδολογία για τον υπολογισμό των διαφυγών αυτών εκφράζεται με τη μαθηματική σχέση 4.21.

$$E_{HC} = E_S + E_W \quad (\text{σχέση 4.21})$$

Όπου : E_{HC} - συνολικές εκπομπές υδρογονανθράκων (hydrocarbon Emissions) από μία δεξαμενή κατά την περίοδο απογραφής
 E_S - εκπομπές ηρεμίας (standing storage Emissions) της δεξαμενής κατά την περίοδο απογραφής
 E_W - εκπομπές λειτουργίας (working Emissions) της δεξαμενής κατά την περίοδο απογραφής

Οι επιμέρους εκπομπές από τις δεξαμενές υπολογίζονται με χρήση πολύπλοκων αλγόριθμων (www.faa.gov) που λαμβάνουν υπόψη πλήθος συνιστωσών, από τις οποίες εξαρτάται η διαφυγή των ρύπων. Οι παράγοντες που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς αυτούς είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής, ο τύπος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και οι εφαρμοζόμενες πρακτικές λειτουργίας. Καθώς ο αριθμός των παραμέτρων είναι μεγάλος και η συσχέτιση αυτών πολύπλοκη, χρησιμοποιούνται συνήθως υπολογιστικά μοντέλα στους υπολογισμούς (για παράδειγμα το μοντέλο TANKS της EPA), τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν το μεγάλο όγκο των απαιτούμενων στοιχείων. Ο τύπος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής διατίθενται από το τμήμα συντήρησης των εγκαταστάσεων του αερολιμένα, ενώ ο τύπος καυσίμου και η χρήση κάθε δεξαμενής μπορούν να βρεθούν από τη διεύθυνση του αερολιμένα. Τα απαιτούμενα μετεωρολογικά στοιχεία δίνονται από

μετεωρολογικές υπηρεσίες ή από τους σταθμούς παρακολούθησης του καιρού, τους οποίους διαχειρίζεται η διεύθυνση του αερολιμένα.

4.2.5.7 Χρωμάτισμα και επίχριση επιφανειών

Οι εργασίες χρωματίσματος και επίχρισης εκπέμπουν πτητικούς υδρογονάνθρακες στην ατμόσφαιρα λόγω της εξάτμισης αυτών από τις επιφάνειες. Ο κυριότερος παράγοντας, από τον οποίο εξαρτώνται οι εκπομπές, είναι η περιεκτικότητα των ουσιών αυτών σε πτητικούς υδρογονάνθρακες. Ακόμα, τα τελευταία χρόνια προκειμένου να μειωθούν οι εκπομπές αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται διατάξεις περιορισμού, όπως προσροφητές υδρογονανθράκων ή μετακαυστήρες. Ο υπολογισμός των εκπομπών πραγματοποιείται πολλαπλασιάζοντας τη συνολική ποσότητα ουσίας που χρησιμοποιήθηκε με την περιεκτικότητά της σε πτητικούς υδρογονάνθρακες (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997). Στην περίπτωση χρήσης διατάξεων περιορισμού, λαμβάνεται υπόψη και η μείωση που προκαλείται από τον εξοπλισμό αυτό. Η παραπάνω διαδικασία συνοψίζεται στη μαθηματική σχέση 4.22.

$$E_{HC} = \sum [Q_i \times VOC_i \times (1 - CF/100)] \quad (\text{σχέση 4.22})$$

- Όπου :
- E_{HC} - συνολικές εκπομπές υδρογονανθράκων (hydrocarbon Emissions), σε γραμμάρια, από εργασίες χρωματίσματος και επίχρισης
 - Q_i - συνολική ποσότητα (Quantity) της ουσίας i , σε λίτρα, που χρησιμοποιήθηκε κατά την περίοδο απογραφής
 - VOC_i - η περιεκτικότητα σε πτητικούς υδρογονάνθρακες (Volatile Organic Compound content) της ουσίας i , σε γραμμάρια ανά λίτρο
 - CF - συντελεστής περιορισμού ρύπανσης (air pollution Control Factor) σε ποσοστό επί τοις εκατό (%)
 - i - τύπος ουσίας χρωματίσματος ή επίχρισης (μπογιά, βερνίκι, λούστρο, σμάλτο, αστάρι)

Ο τύπος της ουσίας και η ποσότητα που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση μπορούν να αναζητηθούν από το τμήμα συντήρησης του αερολιμένα. Το ίδιο τμήμα διαθέτει και τα απαραίτητα στοιχεία για τις διατάξεις ελέγχου των εκπομπών. Η περιεκτικότητα των διαφόρων ουσιών σε πτητικούς υδρογονάνθρακες μπορεί να βρεθεί από τους προμηθευτές αυτών ή από δημοσιευμένους καταλόγους, όπως ο ακόλουθος πίνακας.

Πίνακας 4.6 : Περιεκτικότητα Ουσιών Χρωματισμού και Επίχρισης σε Πτητικούς Υδρογονάνθρακες (Πηγή: www.faa.gov)

Ουσία Επίχρισης	Περιεκτικότητα σε VOC (gr/ltr)
Μπογιά (υδατοδιαλυτή)	671,0
Μπογιά	155,8
Βερνίκι	419,4
Λούστρο	731,0
Σμάλτο	790,9
Αστάρι	395,4
Διαλυτικό Μπογιάς	881,9
Κόλλα	527,3

4.2.5.8 Υγρά αποπαγοποίησης

Η χρήση υγρών αποπαγοποίησης στα αεροσκάφη και τους διαδρόμους προκαλεί την απελευθέρωση ρύπων στην ατμόσφαιρα, εξαιτίας των πτητικών συστατικών που περιέχουν. Η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών αυτών έχει ως εξής: Η μάζα της οργανικής ένωσης που περιέχεται στο υγρό (συνήθως προπυλενική ή αιθυλική γλυκόλη) εκτιμάται πολλαπλασιάζοντας τον όγκο του υγρού αποπαγοποίησης που χρησιμοποιήθηκε, με την πυκνότητα του υγρού και με τη συγκέντρωση της χημικής ένωσης στο υγρό. Η μάζα της οργανικής ένωσης που προέκυψε πολλαπλασιάζεται έπειτα με τον κατάλληλο δείκτη εκπομπών για να προκύψουν οι τιμές των ρύπων που ελευθερώνονται από τη δραστηριότητα αυτή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις εργασίες αποπαγοποίησης που πραγματοποιήθηκαν κατά την περίοδο απογραφής. Η ολοκληρωμένη μεθοδολογία περιγράφεται από τη σχέση 4.23 (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997):

$$E_{HC} = \sum [QF_j \times D_j \times (C_{ij}/100) \times EI_{ij}] \quad (\text{σχέση 4.23})$$

Όπου :

- E_{HC} - συνολικές εκπομπές υδρογονανθράκων (hydrocarbon Emissions), σε γραμμάρια, από εργασίες αποπαγοποίησης
- QF_j - συνολική ποσότητα υγρού αποπαγοποίησης (Quantity of deicing Fluid), σε λίτρα, που χρησιμοποιήθηκε σε εργασίες τύπου j
- D_j - πυκνότητα του υγρού αποπαγοποίησης (Density) που χρησιμοποιήθηκε σε εργασίες τύπου j, σε χιλιόγραμμα ανά λίτρο
- C_{ij} - συγκέντρωση (Concentration) της χημικής ένωσης i που χρησιμοποιήθηκε σε εργασίες αποπαγοποίησης τύπου j, σε ποσοστό κατά βάρος (%)
- EI_{ij} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) της χημικής ένωσης i που χρησιμοποιήθηκε σε εργασίες τύπου j, σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμο υγρού αποπαγοποίησης

- i - είδος χημικής ένωσης που περιέχεται στο υγρό αποπαγοποίησης (προπυλενική γλυκόλη, αιθυλική γλυκόλη ή άλλη οργανική ένωση)
- j - τύπος εργασίας αποπαγοποίησης (αποπαγοποίηση αεροσκαφών ή διαδρόμων)

Η υπηρεσία συντήρησης του αεροδρομίου διαθέτει όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τις πραγματοποιούμενες εργασίες αποπαγοποίησης. Τα στοιχεία ποσότητας, πυκνότητας και συγκέντρωσης των υγρών αποπαγοποίησης μπορούν να ληφθούν από την υπηρεσία αυτή. Οι δείκτες εκπομπών μπορούν να αναζητηθούν σε αντίστοιχους καταλόγους που αφορούν στις εκπομπές αυτές.

4.2.5.9 Διαλυτικές ουσίες

Η χρήση οργανικών διαλυτών όπως χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες, αποστάγματα πετρελαίου, κετόνες και αλκοόλες σε εργασίες συντήρησης και καθαρισμού του αερολιμένα, έχει ως αποτέλεσμα την εξάτμιση πτητικών και άλλων υδρογονανθράκων, που τελικά απορρίπτονται ως υγρά απόβλητα ή ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών αυτών βασίζεται στην υπόθεση ότι οι χρησιμοποιούμενες διαλυτικές ουσίες είτε απορρίπτονται ως υγρά απόβλητα είτε ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Ως εκ τούτου, οι ατμοσφαιρικές εκπομπές εκτιμώνται υπολογίζοντας τη διαφορά του όγκου διαλυτών που χρησιμοποιήθηκαν και του όγκου αυτών που απορρίφθηκαν σε υγρή μορφή (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997). Έπειτα, ο όγκος που εκτιμήθηκε πολλαπλασιάζεται με την πυκνότητα του διαλύτη για να προκύψει η μάζα των εκπομπών που εκλύθηκαν από την εργασία αυτή (σχέση 4.24).

$$E_{HC} = D \times (QC - QD) \quad (\text{σχέση 4.24})$$

Όπου :

- E_{HC} - εκπομπές υδρογονανθράκων (hydrocarbon Emissions), σε γραμμάρια, από τη χρήση διαλύτη κατά την περίοδο απογραφής
- QC - συνολική ποσότητα διαλύτη που χρησιμοποιήθηκε (Quantity of solvent Consumed) κατά την περίοδο απογραφής, σε λίτρα
- QD - συνολική ποσότητα διαλύτη που απορρίφθηκε σε υγρή μορφή (Quantity of solvent Disposed of as liquid) κατά την περίοδο απογραφής, σε λίτρα
- D - πυκνότητα (Density) της διαλυτικής ουσίας που χρησιμοποιήθηκε, σε γραμμάρια ανά λίτρο

Όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τους υπολογισμούς διατίθενται από την υπηρεσία συντήρησης του αερολιμένα. Η πυκνότητα της εκάστοτε διαλυτικής ουσίας μπορεί να ληφθεί από αντίστοιχους δημοσιευμένους καταλόγους, όπως ο πίνακας 4.7.

Πίνακας 4.7 : Πυκνότητες των Συνήθων Διαλυτικών Ουσιών (Πηγή: www.faa.gov)

Διαλυτικό Μέσο	Πυκνότητα (gr/lit)
Κετόνη	791,4
Αιθυλική Αλκοόλη	791,4
Μεθυλική Αλκοόλη	809,0
Τετραχλωράνθρακας	1595,5
Χλωροφόρμιο	1489,7
Αιθέρας	735,3
Ισοπροπυλική Αλκοόλη	785,5
Μεθυλοχλωρίδιο	1326,5
Υπερχλωροαιθυλένιο	1622,6
1,1,1-τριχλωροαιθάνιο	1339,0
Τριχλωροαιθυλένιο	1464,2
Νέφτι	869,8
Νερό	1000,0

4.2.5.10 Σωροί άλατος και άμμου

Υπάρχουν δύο διαφορετικές μεθοδολογίες για τον υπολογισμό των εκπομπών από τους σωρούς άλατος και άμμου (FAA Air Quality Handbook, Appendix H, 1997). Η πρώτη αφορά στη φορτοεκφόρτωση των υλικών, ενώ η δεύτερη στη διάβρωση των εκτεθειμένων σωρών από τον άνεμο.

Η κύρια μάζα εκπομπών στερεών σωματιδίων κατά τη φόρτωση και εκφόρτωση των υλικών, προκύπτει καθώς τα υλικά ρίπτονται από τον φορτωτή στο έδαφος ή σε κάποιο φορτηγό μέσο. Η ποσοτική εκτίμηση γίνεται πολλαπλασιάζοντας τους κατάλληλους δείκτες εκπομπών με την ποσότητα των υλικών που μεταφέρθηκαν κατά την περίοδο απογραφής (σχέση 4.25).

$$E_{PM} = \Sigma (2 \times TH_i \times EI) \quad (\text{σχέση 4.25})$$

Όπου : E_{PM} - εκπομπές στερεών σωματιδίων (particulate matter Emissions), σε χιλιόγραμμα, από τη φόρτωση και εκφόρτωση σωρών άλατος και άμμου

2 - αριθμητικός συντελεστής που αντιπροσωπεύει το πλήθος των φορών που έχουμε απελευθέρωση σωματιδίων ανά εργασία, μία κατά τη φόρτωση και μία κατά την εκφόρτωση του υλικού

TH_i - συνολική μάζα (THroughput) άλατος και άμμου που χρησιμοποιήθηκε για την εργασία i , σε τόνους

EI - δείκτης εκπομπών (Emission Index) στερεών σωματιδίων, σε χιλιόγραμμα ανά τόνο μεταφερόμενου υλικού

i - εργασία μεταφοράς υλικών

Η μεθοδολογία για τον υπολογισμό των δεικτών εκπομπών απαιτεί τη γνώση της μέσης ταχύτητας ανέμου, του ποσοστού υγρασίας των υλικών και της διαμέτρου των σωματιδίων (για παράδειγμα 10 μ m για τα σωματίδια PM-10). Η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να βρεθεί από τη μετεωρολογική υπηρεσία ή τους μετεωρολογικούς σταθμούς του αερολιμένα που λειτουργούν στη γύρω περιοχή. Τα στοιχεία των υλικών προς απόθεση βρίσκονται είτε με απευθείας δειγματοληψία είτε από το τμήμα συντήρησης του αερολιμένα. Από το ίδιο τμήμα μπορούν να ληφθούν και τα στοιχεία της μεταφερόμενης μάζας υλικών ανά εργασία.

Η δεύτερη πηγή εκπομπών στερεών σωματιδίων από σωρούς άλατος και άμμου είναι λόγω της διάβρωσης αυτών από τον άνεμο. Η μεθοδολογία εκτίμησης υπολογίζει την ποσότητα εκπομπών στερεών σωματιδίων λόγω διάβρωσης, εφαρμόζοντας έναν αλγόριθμο «πιθανής διάβρωσης» σε κάθε επιφάνεια του σωρού. Οι συνιστώσες που λαμβάνονται υπόψη από τον εφαρμοζόμενο αλγόριθμο είναι οι εξής:

- Ποσοστό υγρασίας των αποθηκευμένων υλικών
- Ποσοστό ιλύος των αποθηκευμένων υλικών
- Αριθμός εργασιών φόρτωσης και εκφόρτωσης κατά την περίοδο απογραφής
- Ποσοστό του σωρού που διαταράσσεται από κάθε εργασία φορτοεκφόρτωσης
- Φυσικές διαστάσεις του σωρού
- Συντελεστής τριβής ολίσθησης του υλικού
- Ύψος πτυχών μακροϋφής της εξωτερικής επιφάνειας του σωρού
- Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου

Η μεθοδολογία υπολογισμού απαιτεί τη γνώση μεγάλου πλήθους στοιχείων. Η συσχέτιση όλων των παραμέτρων καθιστά τον υπολογισμό πολύπλοκο και εφικτό μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η EPA συνιστά το λογισμικό WIND για την πραγματοποίηση των απαιτούμενων υπολογισμών και την εξαγωγή αποτελεσμάτων με αυτή τη μέθοδο. Τα δεδομένα που χρειάζεται να είναι γνωστά για την εφαρμογή της μεθόδου συνήθως μετρώνται από απευθείας δειγματοληψία ή βρίσκονται από την υπηρεσία συντήρησης του αερολιμένα. Τα απαιτούμενα στοιχεία για τον άνεμο αναζητούνται σε μετεωρολογικούς σταθμούς του αερολιμένα.

4.3 Αθροιστικός υπολογισμός ατμοσφαιρικών ρύπων

Στις παραγράφους που προηγήθηκαν, συνοψίστηκε η μεθοδολογία και οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ατμοσφαιρικών εκπομπών από τις επιμέρους πηγές ρύπων που λειτουργούν σε ένα αεροδρόμιο. Συγκεντρωτικά, οι σχέσεις υπολογισμού παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8, όπου παρατίθενται για καλύτερη εποπτεία και σύγκριση της κατά περίπτωση εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, η συνήθης χρήση των μητρώων εκπομπών, είναι η περιβαλλοντική αποτίμηση των ατμοσφαιρικών επιπτώσεων από τη λειτουργία ενός αεροδρομίου. Στην περίπτωση αυτή το μητρώο εκπομπών αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο, στο οποίο βασίζεται η περιβαλλοντική αξιολόγηση. Καθώς υπάρχει χρονική και χωρική διακύμανση των εκπομπών, δηλαδή πραγματοποιούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και οι συγκεντρώσεις των ρύπων μεταβάλλονται λόγω της αέριας διασποράς τους, δεν έχει νόημα η άθροισή τους εφόσον δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Κατά την περιβαλλοντική αξιολόγηση, τα δεδομένα που λαμβάνονται από το ολοκληρωμένο μητρώο εκπομπών επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας υπολογιστικά μοντέλα χρονικής και χωρικής διασποράς και εξάγονται οι πραγματικές τιμές συγκεντρώσεων που προβλέπεται να παρατηρηθούν σε σημεία της ευρύτερης περιοχής του αερολιμένα.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν είναι η εύρεση μιας νέας μεθοδολογίας υπολογισμού των επιμέρους επιπτώσεων από τη λειτουργία των αεροδρομίων, αλλά η ολοκληρωμένη αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, με το προτεινόμενο πλαίσιο καταγραφής και υπολογισμού, ως ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support System). Ως εκ τούτου, για τη συνολική εκτίμηση των εκπομπών που παράγονται από το αεροδρόμιο, επιβάλλεται η άθροιση των ρύπων που εκλύονται από τις επιμέρους πηγές, παρά τη χωροχρονική διακύμανση των συγκεντρώσεων. Επομένως, ο υπολογισμός των ατμοσφαιρικών εκπομπών από τη λειτουργία ενός αεροδρομίου ολοκληρώνεται με την άθροιση, ανά κατηγορία ρύπου, των εκπομπών κάθε πηγής, που έχουν εκτιμηθεί από τις σχέσεις που προαναφέρθηκαν. Το τελικό αποτέλεσμα αποτυπώνει τη ρυπογόνο δραστηριότητα του αεροδρομίου για την περίοδο απογραφής.

Πίνακας 4.8 : Συγκεντρωτικός Πίνακας Μαθηματικών Σχέσεων Υπολογισμού Εκπομπών

A/A Σχέσης	Προσδιοριζόμενο Αντικείμενο	Μαθηματική Σχέση
Εκπομπές Αεροσκαφών		
4.1	Εκπομπές από τους Κινητήρες των Αεροσκαφών	$E_{ix} = \sum (TM_j \times FF_j \times EI_{ij})$
4.2	Συνολικές Εκπομπές από τη Λειτουργία των Αεροσκαφών	$TE_i = \sum (E_{ix} \times NE_x \times N_x)$
Εκπομπές Βοηθητικών Μονάδων Παροχής Ενέργειας		
4.3	Εκπομπές Βοηθητικής Μονάδας Ενέργειας Αεροσκάφους για ένα Κύκλο LTO	$E_{ij} = T \times FF_j \times EI_{ij}$
Εκπομπές Οχημάτων και Εξοπλισμού Εδάφους		
4.4	Εκπομπές Οχημάτων και Μηχανημάτων Εδάφους Συμβατικών και Εναλλακτικών Καυσίμων	$E_{it} = BHP_t \times LF_t \times U_t \times EI_{it}$
4.5	Εκπομπές Εγκαταστάσεων Παροχής Ενέργειας για τη Λειτουργία Ηλεκτροκίνητων Οχημάτων και Μηχανημάτων Εδάφους	$E_i = MWH_t \times EI_i$ ή $E_i = BHP_t \times LF_t \times U_t (EI_i \times CFBHP)$
Εκπομπές Μέσων Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων		
4.6	Εκπομπές λόγω Καύσης των Μέσων Μετακίνησης	$E_i = EI_{is} \times D \times T$
4.7	Εκπομπές λόγω Καύσης των Μέσων Μετακίνησης που βρίσκονται σε Αναμονή	$E_i = EI_{if} \times FCI \times IT$
4.8	Απώλειες Στροφαλοθάλαμου	$ET = EI \times D \times T$
4.9	Απώλειες Ανεφοδιασμού	$ET = EIL \times L$ ή $ET = EID \times D \times T$
4.10	Απώλειες Κίνησης	$ET = EI \times D \times T$
4.11	Απώλειες λόγω Θέρμανσης Κινητήρα	$ET = EI \times T$
4.12	Ημερήσιες Απώλειες	$ET = EI \times N \times T$
4.13	Απώλειες Ηρεμίας	$ET = EIR \times R \times H \times T$ ή $ET = EID \times D \times T$
Εκπομπές Σταθερών Πηγών		
4.14	Συνολικές Εκπομπές Ρύπων για Σταθερές Πηγές Καύσης	$E_i = \sum (F \times EI_i)$
4.15	Δείκτες Εκπομπών για Εγκαταστάσεις Θέρμανσης	$EI_i = UI_i \times (1 - CF/100) \times FM_i$
4.16	Εκπομπές Ρύπων για Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης και Γεννήτριες Εκτάκτου Ανάγκης	$E_i = \sum [GC \times T \times UI_i \times (1 - CF/100)]$
4.17	Εκπομπές Ρύπων για Εγκαταστάσεις Ηλεκτροδότησης και Γεννήτριες Εκτάκτου Ανάγκης	$E_i = \sum [F \times UI_i \times (1 - CF/100)]$
4.18	Εκπομπές Ρύπων από Αποτεφρωτήρες	$E_i = \sum [W \times UI_i \times (1 - CF/100)]$
4.19	Εκπομπές από τις Ασκήσεις της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας	$E_i = \sum (QF \times EI_i)$
4.20	Εκπομπές από τις Δοκιμές Κινητήρων των Αεροσκαφών	$E_i = \sum (N \times TT_j \times FF_j \times EI_{ij})$
4.21	Εκπομπές Υδρογονανθράκων από Δεξαμενές Καυσίμων	$E_{HC} = E_S + E_W$
4.22	Εκπομπές Υδρογονανθράκων από Εργασίες Χρωματισματος και Επίχρσης	$E_{HC} = \sum [Q_i \times VOC_i \times (1 - CF/100)]$
4.23	Εκπομπές Υδρογονανθράκων από Εργασίες Αποαποποίησης	$E_{HC} = \sum [QF_j \times D_j \times (C_{ij}/100) \times EI_{ij}]$
4.24	Εκπομπές Υδρογονανθράκων από τη Χρήση Διαλυτικών Ουσιών	$E_{HC} = D \times (QC - QD)$
4.25	Εκπομπές Στερεών Σωματιδίων από Σωρούς Άλατος και Άμμου	$E_{PM} = \sum (2 \times TH_i \times EI)$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΕΘΝΗ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑ ΑΘΗΝΩΝ «ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ»

5.1 Εισαγωγή

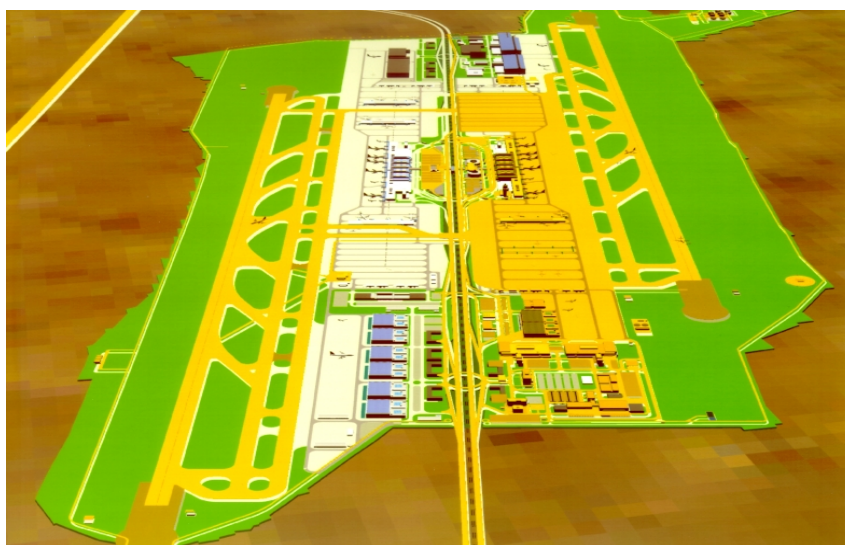
Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάστηκε αναλυτικά η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών που παράγονται από τη λειτουργία ενός οργανωμένου αερολιμένα. Οι επιμέρους πηγές που συνεισφέρουν στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας αντιμετωπίστηκαν ξεχωριστά και σε κάθε περίπτωση κατατέθηκε η επικρατέστερη μεθοδολογία για την ακριβέστερη εκτίμηση των παραγόμενων εκπομπών. Αναφέρθηκαν τα διαδοχικά βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν κατά τη διαδικασία εκτίμησης και οι πιθανές πηγές συλλογής των εκάστοτε απαραίτητων στοιχείων.

Η μεθοδολογία, όμως, που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο προσεγγίζει σε μεγαλύτερο βαθμό τη θεωρητική αντιμετώπιση του προβλήματος της εκτίμησης των εκπομπών. Οι τεχνικές υπολογισμού που εφαρμόζονται στην πράξη ποικίλλουν, ανάλογα με το βαθμό οργάνωσης του αερολιμένα και εξαρτώνται από το σύνολο των καταγεγραμμένων στοιχείων που βρίσκονται στην κατοχή της διεύθυνσης. Τα διαθέσιμα δεδομένα αλλά και ο σκοπός της εκάστοτε μελέτης καθορίζουν την μέθοδο υπολογισμού σε κάθε περίπτωση και επομένως και την επιτευχθείσα ακρίβεια των υπολογισμών.

Ως υποδειγματική περίπτωση εφαρμογής των μεθοδολογιών υπολογισμού, θα εξετασθεί στο παρόν κεφάλαιο η περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών. Ο αερολιμένας «Ελευθέριος

Βενιζέλος» όχι μόνο συγκεντρώνει το μεγαλύτερο επιχειρηματικό, μεταφορικό και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον στον ελληνικό χώρο, αλλά και αποτελεί έναν από τους καλύτερους αερολιμένες παγκοσμίως στην κατηγορία του, όσον αφορά στις παρεχόμενες υπηρεσίες. Η εταιρία διαχείρισης του αερολιμένα (υπό την εμπορική επωνυμία «ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΑΣ ΑΘΗΝΩΝ Α.Ε. »), με μόλις δέκα έτη λειτουργίας, έχει ήδη κληθεί να ικανοποιήσει τις υψηλές περιβαλλοντικές απαιτήσεις της τελευταίας δεκαετίας και το έχει καταφέρει με επιτυχία.

Ο Διεθνής Αερολιμένας Αθηνών (ΔΑΑ), με ετήσιο αριθμό αεροπορικών κινήσεων πάνω από 150.000 και ετήσιο φόρτο επιβατών που ξεπερνάει τα 14.000.000, αποτελεί ένα κόμβο δραστηριοτήτων με σημαντικές εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον. Ως εκ τούτου κρίνεται ιδιαίτερα αξιόλογη η περίπτωση του από την οπτική γωνία της αποτίμησης των γεννώμενων εκπομπών.



Εικόνα 5.1 : Γενικό Σχέδιο Ανάπτυξης του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών (Πηγή: www.aia.gr)

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία εκτίμησης που εφαρμόστηκε και οι υπολογισμοί που εκτελέστηκαν για την εκτίμηση των εκπομπών από κάθε επιμέρους πηγή ρύπανσης που λειτουργεί στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς παρουσιάζονται σε επεξεργασμένη μορφή, ενώ τα πρωτογενή δεδομένα παρατίθενται στο παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η διαδικασία συλλογής των απαραίτητων στοιχείων περιγράφεται αδρομερώς, ώστε να φωτιστούν καλύτερα κάποιες πτυχές της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας. Στα πλαίσια αυτά αναφέρονται και οι πηγές εύρεσης των δεδομένων.

Στόχος της εφαρμογής της μεθοδολογίας σε μία πραγματική περίπτωση, όπως αυτή του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, είναι να γίνει περισσότερο κατανοητός ο τρόπος σκέψης που διέπει την κατάστρωση ενός μητρώου εκπομπών, ο οποίος παραμένει ο ίδιος παρά την ποικιλομορφία και τις πιθανές ελλείψεις απαραίτητων στοιχείων. Επιπρόσθετα, μέσα από την παρακάτω ανάλυση της συγκεκριμένης υπόθεσης, γίνονται περισσότερο αντιληπτές οι διαδικασίες που μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να ξεπεραστούν κάποιες πρακτικές δυσκολίες που συχνά ανακύπτουν σε

παρόμοιες μελέτες. Συγκρίνοντας την μεθοδολογία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4 με αυτήν που ακολουθεί μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την πρακτική της κατάστρωσης ενός μητρώου εκπομπών.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι κατά την περίοδο εκπόνησης της παρούσας εργασίας, ήταν αδύνατη η εκτίμηση όλων των εκπεμπόμενων ρύπων που εκλύονται από τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στον αερολιμένα. Το γεγονός ότι στην επίσημη βάση δεδομένων του ICAO υπάρχουν δείκτες εκπομπών των αεροσκαφών, μόνο για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα (CO), οξειδίων του αζώτου (NO_x) και υδρογονανθράκων (HCs), περιόρισε την έρευνά μας σε αυτούς τους ρύπους, αφήνοντας εκτός υπολογισμών τους δευτερεύοντες, όπως τα στερεά σωματίδια και τα οξείδια του θείου. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί μια συνολική εκτίμηση, σε επίπεδο αερολιμένα, των εκπομπών των διαθέσιμων ρύπων, αποφασίστηκε όλοι οι ρύποι, πλην των τριών που αναφέρθηκαν αρχικά, να παραλειφθούν από τους υπολογισμούς όλων των πηγών και όχι μόνο από τα αεροσκάφη, όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία. Αυτό έγινε για να μην υπάρχει ασυμβατότητα στις καταγεγραμμένες εκπομπές του μητρώου εκπομπών, αλλά όσοι ρύποι ληφθούν υπόψη να προέρχονται από το σύνολο των πηγών εκπομπών και όχι από μεμονωμένες πηγές. Η απόφαση αυτή λήφθηκε καθώς τα αεροσκάφη αποτελούν τη σημαντικότερη πηγή ρύπανσης στα αεροδρόμια και άρα θα είχαμε μεγάλο σφάλμα εκτίμησης αν αγνοούνταν οι εκπομπές τους για κάποια κατηγορία ρύπου (όπως για παράδειγμα τα στερεά σωματίδια, για τα οποία δεν υπάρχουν δείκτες εκπομπών στη βάση δεδομένων του ICAO). Εννοείται, λοιπόν, ότι από τις δραστηριότητες που καταγράφονται παρακάτω εκλύονται και άλλα είδη ρύπων πέρα από το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου και τους υδρογονάνθρακες, όμως η μεμονωμένη εκτίμησή τους δεν εξυπηρετεί τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς δε δίνει τη δυνατότητα άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων για την εύρεση της συνεισφοράς κάθε επιμέρους πηγής.

Ακόμα, λόγω έλλειψης απαραίτητων δεδομένων για τους υπολογισμούς των εκπομπών από όλες τις πηγές για τα έτη λειτουργίας 2001 έως 2005, αποφασίστηκε η εκτίμηση των εκπομπών του αερολιμένα Αθηνών μόνο για τα έτη 2004 και 2005, όπου υπήρχαν διαθέσιμα όλα τα στοιχεία. Έτσι, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα καλύπτουν πλήρως όλες τις δραστηριότητες του αερολιμένα και θα είναι συγκρίσιμα στο σύνολό τους.

5.2 Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα αεροσκάφη

Έχει διαπιστωθεί ότι η σημαντικότερη πηγή ατμοσφαιρικών εκπομπών από τη λειτουργία ενός αεροδρομίου είναι τα αεροσκάφη. Οι ρύποι που εκπέμπονται κατά την εκτέλεση των απαραίτητων αεροπορικών κινήσεων, εντός και εκτός των κυρίων διαδρόμων, κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο επιβάρυνσης της τοπικής ατμόσφαιρας. Κατά τη συνήθη πρακτική, ο υπολογισμός των εκπομπών από τα αεροσκάφη αποτελεί το πρώτο βήμα που πραγματοποιείται για την κατάστρωση ενός ολοκληρωμένου μητρώου εκπομπών.

Η εκτίμηση των εκπομπών από τα αεροσκάφη έχει πραγματοποιηθεί από το τμήμα περιβαλλοντικών υπηρεσιών του ΔΑΑ για τα έτη λειτουργίας 2001 έως 2004. Στην παράγραφο αυτή παρατίθεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε από τους αναλυτές του τμήματος, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους υπολογισμούς, καθώς και μία εκτίμηση, με χρήση διαφορετικής μεθόδου, των εκπομπών του έτους 2005.

Τα αρχικά σχέδια της υπηρεσίας ήταν να ξεκινήσουν τη δημιουργία του μητρώου εκπομπών χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο λογισμικό (Lochard's Emissions Modeling software). Κατά τη δοκιμαστική φάση του λογισμικού έγινε προφανές ότι η βάση δεδομένων που αυτό χρησιμοποιούσε ήταν αρκετά παλιά και δεν υπήρχαν νεότερες εκδόσεις. Έτσι αποφασίστηκε να καταστρωθεί ένα αρχείο δεδομένων στο πρόγραμμα Microsoft Excel, το οποίο βασίστηκε στο αντίστοιχο υφιστάμενο αρχείο του Διεθνή Αερολιμένα "Unique" της Ζυρίχης στα πλαίσια μιας αμοιβαίας συνεργασίας. Το αρχείο που δημιουργήθηκε, εμπλουτίστηκε με την τελευταία έκδοση της βάσης δεδομένων του ICAO και με στοιχεία που λήφθηκαν από μία μη κοινοποιημένη βάση δεδομένων για αεροσκάφη με στροβιλοφόρους κινητήρες.

Τα βήματα της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια (Athens International Airport Report, 2005):

- Συλλέχθηκαν τα ετήσια στοιχεία πτήσεων (από τον Ιανουάριο έως το Δεκέμβριο κάθε έτους από το 2001 έως το 2004) από το παγκόσμιο σύστημα πληροφοριών των πτήσεων (Universal Flight Information System – UFIS) του αεροδρομίου. Μόνο για το εναρκτήριο έτος 2001 τα στοιχεία αναφέρονται στην περίοδο Μαρτίου-Δεκεμβρίου, μετά την έναρξη λειτουργίας του αερολιμένα. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν τον αριθμό νηολόγησης του αεροσκάφους, τον τύπο του, τον τριψήφιο κωδικό της αεροπορικής εταιρίας, το όνομα του αερομεταφορέα στον οποίο ανήκει το αεροσκάφος και τον αριθμό των κινήσεων που πραγματοποίησε κατά τη διάρκεια του έτους. Ένα δείγμα των ληφθέντων δεδομένων παρουσιάζεται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1 : Δείγμα Ληφθέντων Δεδομένων από το UFIS του Αεροδρομίου

Αριθμός Νηολόγησης	Περιγραφή Τύπου Αεροσκάφους	3 - ψήφιος Κωδικός	Περιγραφή Αερομεταφορέα	Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων
SUGAR	Airbus A300-600 Passenger	MSR	EGYPT AIR	2
SUGAT	Airbus A300-600 Passenger	MSR	EGYPT AIR	10
DAIAH	Airbus A300-600 Passenger	DLH	LUFTHANSA	28
DAIAI	Airbus A300-600 Passenger	DLH	LUFTHANSA	52
DAIAN	Airbus A300-600 Passenger	DLH	LUFTHANSA	146
DAIAP	Airbus A300-600 Passenger	DLH	LUFTHANSA	164
DAIAR	Airbus A300-600 Passenger	DLH	LUFTHANSA	196
DAIAS	Airbus A300-600 Passenger	DLH	LUFTHANSA	146
DAIAT	Airbus A300-600 Passenger	DLH	LUFTHANSA	204
DAIAW	Airbus A300-600 Passenger	DLH	LUFTHANSA	30

- Τα αεροσκάφη της πολεμικής αεροπορίας εξαιρέθηκαν από τη λίστα των αεροσκαφών.
- Απαλείφθηκαν οι διπλές καταχωρήσεις αριθμών νηολόγησης, οι οποίες αναφέρονταν σε διαφορετικούς τύπους αεροσκαφών, με την επιλογή του σωστού τύπου από τον δημοσιευμένο κατάλογο JP (JP airline fleets international, Edition 2004/2005, Buchair & Co).
- Όπου ήταν δυνατό, καταχωρήθηκαν οι ακριβείς τύποι κινητήρων για κάθε αριθμό νηολόγησης, όπως περιγράφονται στον κατάλογο JP.
- Τα αεροσκάφη ταξινομήθηκαν κατά αλφαβητική σειρά, σύμφωνα με τον αριθμό νηολόγησής τους, αναγράφοντας δίπλα τον τύπο και τον αριθμό των κινητήρων που αντιστοιχούσαν ανά περίπτωση (πίνακας 5.2).

Πίνακας 5.2 : Δείγμα Επεξεργασμένων Δεδομένων

Αριθμός Νηολόγησης	Περιγραφή Τύπου Αεροσκάφους	Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων	Τύπος Κινητήρα	Αριθμός Κινητήρων
APBDZ	Airbus A310-300	18	CF6-80C2A8	2
APBEB	Airbus A310-300	34	CF6-80C2A8	2
APBEC	Airbus A310-300	28	CF6-80C2A8	2
APBEG	Airbus A310-300	22	CF6-80C2A8	2
APBEQ	Airbus A310-300	24	CF6-80C2A8	2
APBEU	Airbus A310-300	16	CF6-80C2A8	2
DAIAN	Airbus A300-600 Passenger	146	CF6-80C2A3	2
DAIAP	Airbus A300-600 Passenger	164	CF6-80C2A3	2
DAIAR	Airbus A300-600 Passenger	196	CF6-80C2A3	2
DAIAS	Airbus A300-600 Passenger	146	CF6-80C2A3	2
DAIAT	Airbus A300-600 Passenger	204	CF6-80C2A3	2
DAIAU	Airbus A300-600 Passenger	172	CF6-80C2A3	2
DAIAW	Airbus A300-600 Passenger	30	CF6-80C2A3	2
DAIAX	Airbus A300-600 Passenger	90	CF6-80C2A3	2
DAIAY	Airbus A300-600 Passenger	58	CF6-80C2A3	2
DAIAZ	Airbus A300-600 Passenger	48	CF6-80C2A3	2
GMAJS	Airbus A300-600 Passenger	4	CF6-80C2A5	2
GMONR	Airbus A300-600 Passenger	4	CF6-80C2A5	2
GMONS	Airbus A300-600 Passenger	4	CF6-80C2A5	2
GOJMR	Airbus A300-600 Passenger	8	CF6-80C2A5	2

- Τα μικρά αεροσκάφη ταξινομήθηκαν σύμφωνα με κατηγορίες που αναπτύχθηκαν από τον αερολιμένα της Ζυρίχης.
- Τα ελικόπτερα επίσης ταξινομήθηκαν κατά το παράδειγμα του αερολιμένα της Ζυρίχης.

- Εντοπίστηκαν οι δείκτες εκπομπών και κατανάλωσης καυσίμων για κάθε τύπο κινητήρα στη βάση δεδομένων του ICAO (ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank, Issue 13). Οι δείκτες αυτοί αντιστοιχίστηκαν με τους κινητήρες των αεροσκαφών του μητρώου. Για την εξακρίβωση των σωστών κινητήρων λήφθηκαν υπόψη και άλλα στοιχεία όπως η μέγιστη ώθηση του αεροσκάφους και η κατανάλωση καυσίμου. Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.3, για κάθε τύπο κινητήρα, συγκεκριμένου τύπου αεροσκάφους ευρέθηκαν οι δείκτες κατανάλωσης καυσίμου, σε κιλά ανά δευτερόλεπτο, και οι δείκτες εκπομπών, σε γραμμάρια ανά κιλό για κάθε φάση του κύκλου LTO. Παρόμοιοι πίνακες υπάρχουν για το μονοξείδιο του άνθρακα και τους υδρογονάνθρακες.
- Οι κινητήρες που δεν υπήρχαν καταγεγραμμένοι στη βάση δεδομένων του ICAO, αντιστοιχίστηκαν με υπάρχοντες κινητήρες του μητρώου εκπομπών του αερολιμένα της Ζυρίχης.
- Για τους εναπομείναντες τύπους κινητήρων, που δεν υπήρχαν στη βάση δεδομένων ούτε του ICAO ούτε του αερολιμένα της Ζυρίχης, έγιναν οι εξής ενέργειες: Οι περισσότεροι αντιστοιχίστηκαν στον πλησιέστερο τύπο κινητήρα του μητρώου εκπομπών της Ζυρίχης. Για μερικούς όμως τύπους αεροσκαφών, για τους οποίους υπάρχουν χιλιάδες κινήσεις ετησίως στον ΔΑΑ, αναζητήθηκαν ακριβή στοιχεία επικοινωνώντας με τις κατασκευάστριες εταιρίες.
- Όσον αφορά στους χρόνους των διαφόρων φάσεων του κύκλου προσγείωσης-απογείωσης λήφθηκε η εξής απόφαση: Για κάθε φάση του κύκλου χρησιμοποιήθηκε η καθιερωμένη διάρκεια που ορίζεται από τον ICAO, εκτός από τη φάση τροχοδρόμησης (όπου περιλαμβάνεται και η αναμονή), η διάρκεια της οποίας αποτελεί το μέσο άθροισμα των τιμών από όλες τις αφίξεις και αναχωρήσεις που αναφέρθηκαν στον ΔΑΑ(πλην των ελικόπτερων), για κάθε έτος ξεχωριστά.
- Στους υπολογισμούς του μητρώου περιλήφθηκαν μόνο οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων, καθώς επίσημα διατίθενται από τον ICAO δείκτες εκπομπών κινητήρων μόνο για αυτούς τους ρύπους.
- Το πλήθος των κύκλων προσγείωσης-απογείωσης (LTO cycles) για κάθε αεροσκάφος και τύπο κινητήρα προέκυψε διαιρώντας δια δύο το συνολικό αριθμό αεροπορικών κινήσεων που αντιστοιχούν σε αυτά.

Πίνακας 5.3 : Δείγμα Δεδομένων Κατανάλωσης Καυσίμων και Δεικτών Εκπομπών NOx

Τύπος Αεροσκάφους	Τύπος Κινητήρα	Αριθμός Κινητήρων	Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων	Δείκτες Κατανάλωσης Καυσίμου (κιλά/δευτερόλεπτο)				Δείκτες Εκπομπών NOx (γραμμάρια/κιλό)			
				Απογείωση	Φάση Ανόδου	Προσέγγιση	Τροχοδρόμηση	Απογείωση	Φάση Ανόδου	Προσέγγιση	Τροχοδρόμηση
Airbus A300-600 Passenger	CF6-80C2A3	2	1374	2,457	2,003	0,649	0,202	34,5	25,46	9,93	3,92
Airbus A300-600 Passenger	CF6-80C2A5	2	2780	2,581	2,082	0,687	0,207	34,38	22,86	9,11	3,79
Airbus A300-600 Passenger	PW4158	2	32	2,481	2,004	0,682	0,211	30,2	23,7	11,8	4,8
Airbus A300-B2/B4/C4	CF6-50C2	2	610	2,361	1,94	0,663	0,163	28,97	25,5	10,16	3,4
Airbus A300-B2/B4/C4	PW4158	2	2	2,481	2,004	0,682	0,211	30,2	23,7	11,8	4,8
Airbus A300C4/A300-600 Freight	CF6-50C2	2	140	2,361	1,94	0,663	0,163	28,97	25,5	10,16	3,4
Airbus A310-200	CF6-80A3	2	138	2,254	1,885	0,641	0,15	29,6	26,6	10,8	3,4
Airbus A310-200	CF6-80C2A2	2	2	2,117	1,745	0,58	0,189	27,93	20,69	9,44	3,93
Airbus A310-200	PW4152	2	6	2,177	1,785	0,593	0,177	26,9	22,7	11,1	4,9
Airbus A310-300	CF6-80A3	2	86	2,254	1,885	0,641	0,15	29,6	26,6	10,8	3,4
Airbus A310-300	CF6-80C2A2	2	256	2,117	1,745	0,58	0,189	27,93	20,69	9,44	3,93
Airbus A310-300	CF6-80C2A8	2	146	2,507	1,953	0,655	0,205	33,5	22	9	3,7
Airbus A310-300	PW4152	2	50	2,177	1,785	0,593	0,177	26,9	22,7	11,1	4,9
Airbus A318	CFM56-5B5/P	2	50	0,891	0,742	0,26	0,094	21,9	18,5	8,7	3,8
Airbus A319	CFM56-5A1	2	28	1,051	0,862	0,291	0,1011	24,6	19,6	8	4
Airbus A319	CFM56-5A5	2	78	0,972	0,799	0,276	0,098	24,79	19,98	8,94	4,29
Airbus A319	CFM56-5B5/P	2	14	0,891	0,742	0,26	0,094	21,9	18,5	8,7	3,8

- Με τη βοήθεια του λογισμικού Microsoft Excel, πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητοι υπολογισμοί για να προκύψουν οι εκπομπές ρύπων που αντιστοιχούν σε κάθε καταγεγραμμένο αεροσκάφος (σχέση 5.1). Για κάθε φάση λειτουργίας πολλαπλασιάστηκε η διάρκεια λειτουργίας με τον αντίστοιχο δείκτη εκπομπών και με τον αντίστοιχο δείκτη κατανάλωσης καυσίμου. Αθροίστηκαν οι εκπομπές από τις τέσσερις φάσεις και πολλαπλασιάστηκαν με τον αριθμό των κινητήρων του αεροσκάφους και με το πλήθος των κινήσεων που πραγματοποίησε μέσα στο έτος.

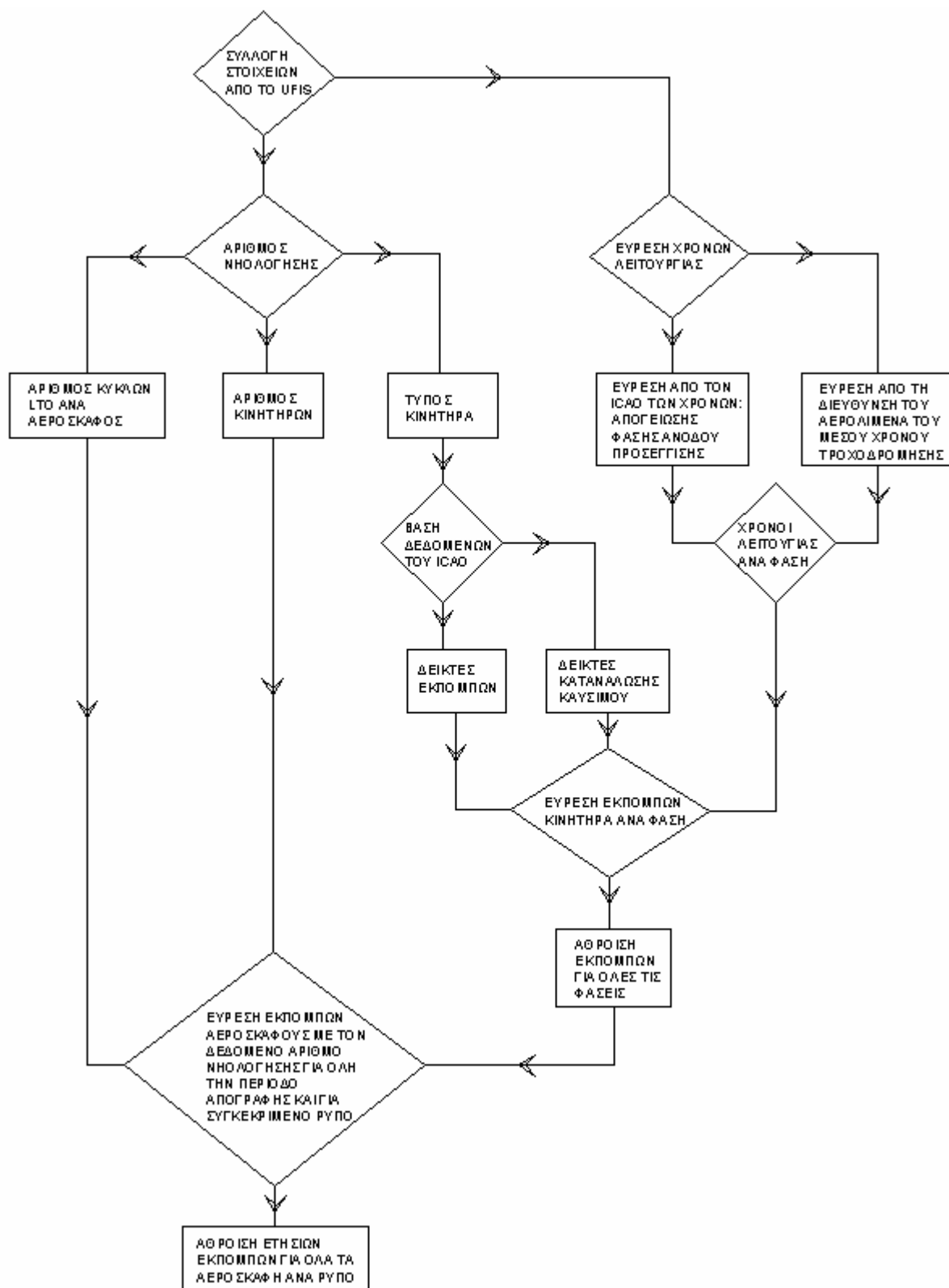
$$E_{ix} = [\sum (TM_j \times FF_j \times EI_{ij})] \times NE_x \times N_x \quad (\text{σχέση 5.1})$$

- Όπου :
- E_{ix} - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε γραμμάρια, από τη λειτουργία του κινητήρα αεροσκάφους με αριθμό νηολόγησης x
 - TM_j - διάρκεια λειτουργίας (Time in Mode) του κινητήρα στη φάση λειτουργίας j , σε λεπτά ανά δοκιμή
 - FF_j - ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow rate), σε χιλιόγραμμα ανά λεπτό, κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας j
 - EI_{ij} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i και τη φάση λειτουργίας j , σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου
 - NE_x - αριθμός κινητήρων (Number of Engines) που φέρει το αεροσκάφος με αριθμό νηολόγησης x
 - N_x - αριθμός (Number) κύκλων LTO που πραγματοποιήθηκαν από αεροσκάφος με αριθμό νηολόγησης x κατά την περίοδο απογραφής
 - i - είδος ρύπου (CO, NO_x, HC)
 - j - φάση λειτουργίας του κινητήρα (απογείωση, φάση ανόδου, προσέγγιση, τροχοδρόμηση)
 - x - αριθμός νηολόγησης του αεροσκάφους (π.χ. SXBSR)

- Οι εκπομπές ανά ρύπο, κάθε αεροσκάφους με συγκεκριμένο τύπο κινητήρων, αθροίστηκαν για το σύνολο των αεροσκαφών. Έτσι προέκυψαν οι συνολικές εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων για το σύνολο των αεροπορικών κινήσεων του έτους.
- Οι συνολικές ετήσιες εκπομπές ρύπων, για τα έτη 2001 έως 2004, υπολογίστηκαν τελικά σε τόνους ρύπου ανά έτος, κιλά ρύπου ανά αεροπορική κίνηση και γραμμάρια ρύπου ανά επιβάτη, για τους τρεις προαναφερθέντες ρύπους.

Συνοπτικά η διαδικασία υπολογισμού των ετήσιων εκπομπών ρύπων λόγω της λειτουργίας των αεροσκαφών, παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί:

Γράφημα 5.1 : Διάγραμμα Ροής της Διαδικασίας Υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών από τα Αεροσκάφη

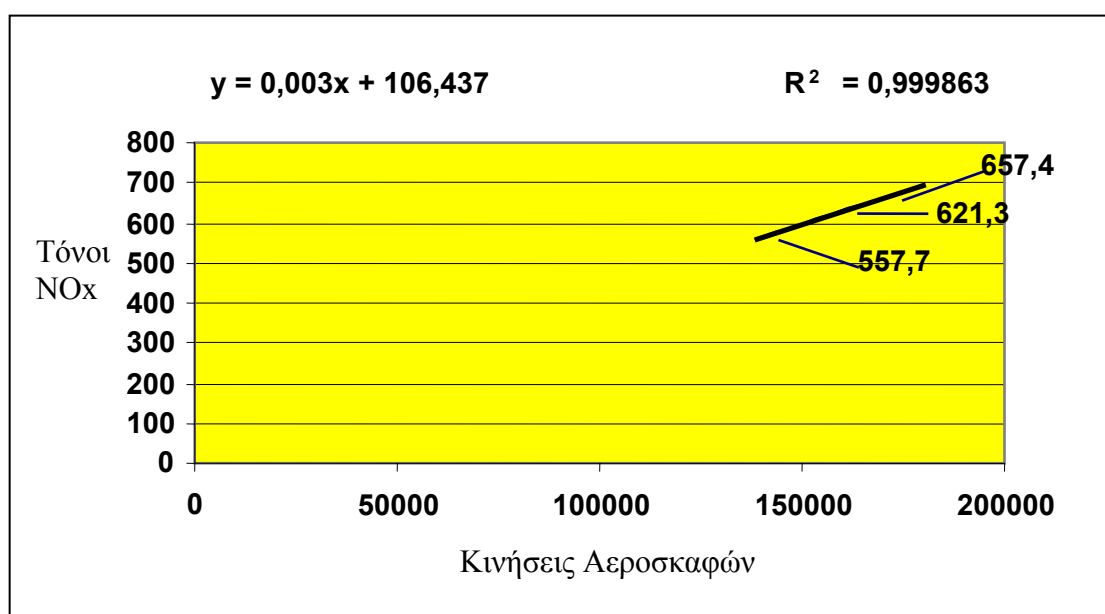


- Τα στοιχεία των αεροπορικών κινήσεων του συστήματος UFIS για το έτος 2005 δεν ήταν διαθέσιμα μέχρι το τέλος της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Καθώς όμως ήταν γνωστό το

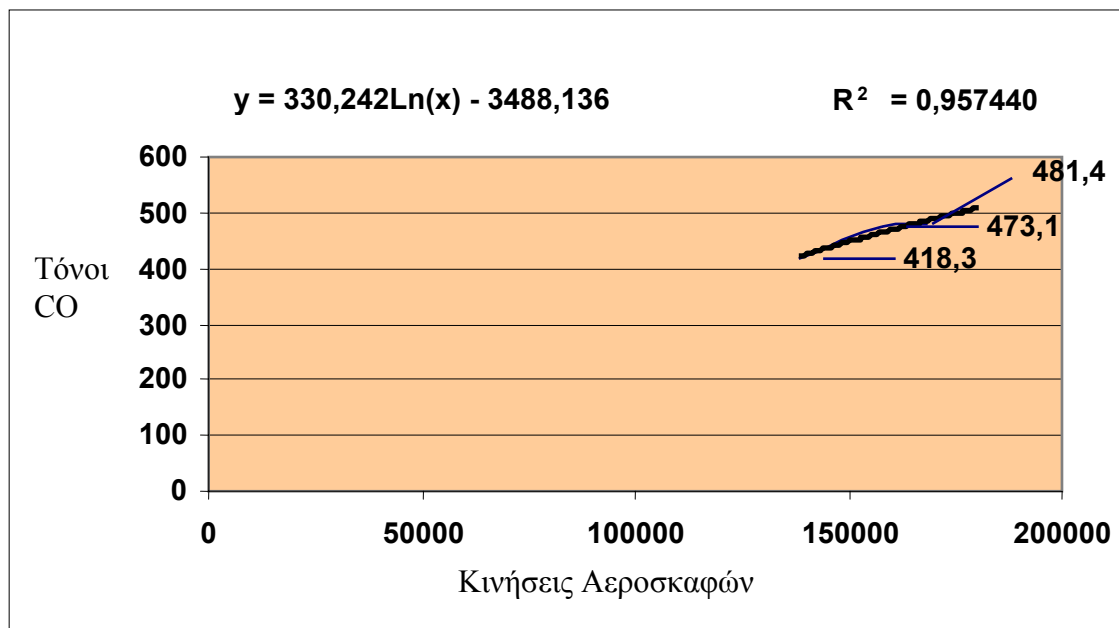
πλήθος των αεροπορικών κινήσεων που πραγματοποιήθηκαν μέσα στο έτος, αποφασίστηκε να γίνει εκτίμηση των εκπομπών αντιστοιχίζοντας τις ετήσιες εκπομπές ανά ρύπο με το πλήθος αεροπορικών κινήσεων ετησίως, με χρήση των κατάλληλων στατιστικών συσχετίσεων. Για κάθε ρύπο, από τους τρεις, λήφθηκαν οι ετήσιες εκπομπές των αεροσκαφών και εντοπίστηκε η συσχέτιση που αντιπροσώπευε ακριβέστερα την εξέλιξη των ρύπων στο χρόνο, ώστε να προβλεφθεί με βάση αυτή, η ποσότητα των εκπομπών του έτους 2005. Με χρήση του λογισμικού Microsoft Excel, εξετάστηκαν οι πιθανές συσχετίσεις για την εξέλιξη των ρύπων κατά τα έτη 2001 έως 2003. Το έτος 2004 κρίθηκε ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί στις προβλέψεις, εξαιτίας του υψηλού φόρτου που δημιουργήθηκε λόγω των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας. Ο μεγάλος αριθμός αφίξεων και αναχωρήσεων του έτους δεν συνέπιπτε με την ετήσια εξέλιξη της μεταφορικής δραστηριότητας του αερολιμένα, αλλά αποτελούσε μία τυχαία μέγιστη τιμή. Ακόμα, πολλά από τα αεροσκάφη που έφτασαν στον ΔΑΑ για τους Αγώνες ανήκαν σε κατηγορίες εκτός του συνηθισμένου στόλου που εξυπηρετεί ο αερολιμένας κι επομένως το προφίλ των εκπομπών διαφοροποιούνταν σημαντικά για το έτος αυτό.

- Μετά από εφαρμογή γραμμικής, λογαριθμικής, πολυωνυμικής, δυναμικής και εκθετικής συσχέτισης στις ετήσιες εκπομπές κάθε ρύπου, επιλέχθηκε για κάθε έναν εξ' αυτών η συσχέτιση με τον καλύτερο συντελεστή συσχέτισης (όσο πιο κοντά στη μονάδα).
- Για τις ετήσιες εκπομπές των οξειδίων του αζώτου επιλέχθηκε η γραμμική συσχέτιση, για τις εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα η λογαριθμική, ενώ για τις εκπομπές υδρογονανθράκων η εκθετική. Στα γραφήματα 5.2, 5.3 και 5.4 που ακολουθούν παρουσιάζονται οι συσχετίσεις που πραγματοποιήθηκαν και από τις οποίες προέκυψαν οι προβλεπόμενες τιμές ρύπων για το έτος 2005.

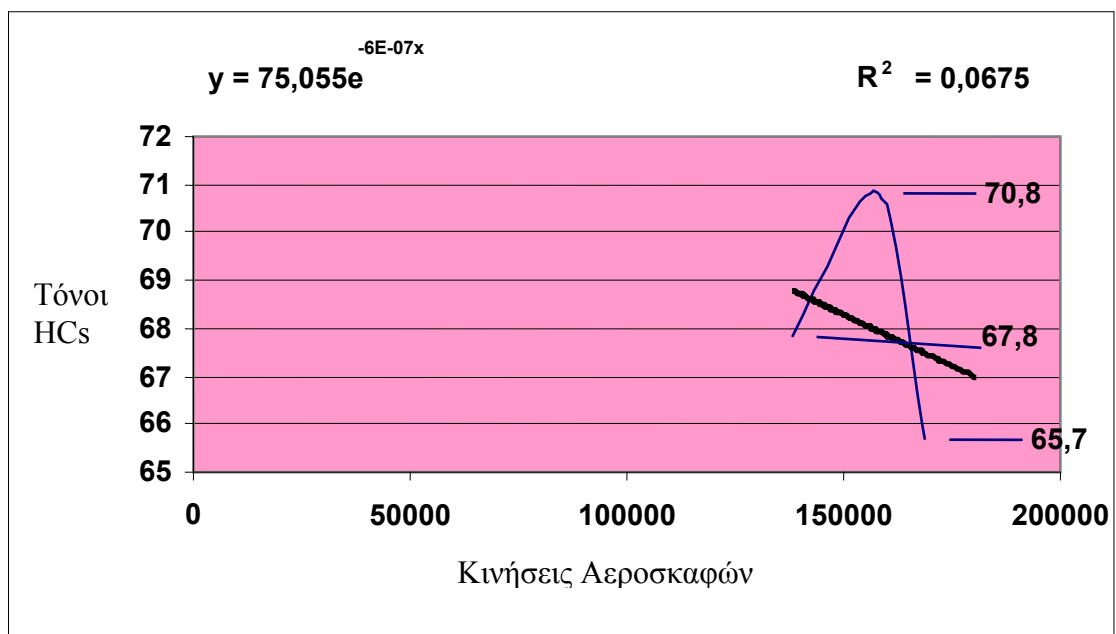
Γράφημα 5.2 : Γραμμική Συσχέτιση Κινήσεων Αεροσκαφών και Εκπομπών NO_x (σε τόνους)



Γράφημα 5.3 : Λογαριθμική Συσχέτιση Κινήσεων Αεροσκαφών και Εκπομπών CO (σε τόνους)



Γράφημα 5.4 : Εκθετική Συσχέτιση Κινήσεων Αεροσκαφών και Εκπομπών HCs (σε τόνους)



Παρατήρηση: Στα τρία γραφήματα παρουσιάζεται η καμπύλη εξέλιξης των ρύπων με μπλε χρώμα και η καμπύλη που προέκυψε από τη συσχέτιση με μαύρο. Επίσης στο πάνω μέρος κάθε γραφήματος αναγράφεται η εξίσωση της παλινδρόμησης και στα δεξιά ο συντελεστής συσχέτισης. Στο γράφημα 5.4 παρατηρούμε ότι ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ μικρός. Παρ' αυτά επιλέχθηκε ως ο πιο κοντινός στη μονάδα.

- Τα αποτελέσματα για τις εκπομπές ρύπων του έτους 2005, που προέκυψαν από τις συσχετίσεις που πραγματοποιήθηκαν, αναχθήκαν σε κιλά ρύπου ανά αεροπορική κίνηση και σε γραμμάρια ρύπου ανά επιβάτη, για τους τρεις προαναφερθέντες ρύπους. Τα ετήσια αποτελέσματα των εκπομπών από τα αεροσκάφη για τη χρονική περίοδο λειτουργίας του αεροδρομίου 2001 – 2005 παρατίθενται συγκεντρωτικά στους πίνακες 5.4, 5.5 και 5.6.

Πίνακας 5.4 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Αεροσκάφη (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2001	2002	2003	2004	2005
NO_x	557,7	621,3	657,4	728,3	696,0
CO	418,3	473,1	481,4	534,6	509,4
HC	67,8	70,8	65,7	62,4	67,3

Πίνακας 5.5 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Αεροσκάφη (κιλά/αεροπορική κίνηση)

Ρύποι / Έτος	2001	2002	2003	2004	2005
NO_x	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9
CO	3,0	3,0	2,9	2,8	2,8
HC	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4
Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων	138.276	158.053	168.781	188.351	180.734

Πίνακας 5.6 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Αεροσκάφη (γραμμάρια/επιβάτη)

Ρύποι / Έτος	2001	2002	2003	2004	2005
NO_x	54,0	52,5	53,7	53,3	48,7
CO	40,5	40,0	39,3	39,1	35,7
HC	6,6	6,0	5,4	4,6	4,7
Αριθμός Επιβατών	10.319.438	11.827.504	12.252.394	13.662.332	14.281.242

5.3 Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας

Η μεθοδολογία υπολογισμού των ατμοσφαιρικών εκπομπών από τη λειτουργία των βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 4.2.2 του τετάρτου κεφαλαίου, προκύπτει από τη μεθοδολογία που εφαρμόζεται για τα αεροσκάφη. Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει τη γνώση όλων των στοιχείων που αφορούν στη χρήση των βοηθητικών μονάδων κάθε αεροσκάφους. Για να εφαρμοστεί η προτεινόμενη μεθοδολογία πρέπει, επομένως, να τηρείται αναλυτικό αρχείο χρήσης των βοηθητικών μονάδων που να περιλαμβάνει την ακριβή

διάρκεια λειτουργίας και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε βοηθητικής μονάδας (κατανάλωση καυσίμου, δείκτες εκπομπών).

Στον ΔΑΑ δεν τηρείται κάποιο αρχείο αυτού του τύπου για τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας. Ως εκ τούτου, ο υπολογισμός των εκπομπών πρέπει να βασιστεί σε κάποιες παραδοχές που θα επιτρέψουν μία αρκετά καλή προσέγγιση των εκπεμπόμενων ρύπων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται βήμα προς βήμα στη συνέχεια και παρουσιάζεται εποπτικά στο γράφημα 5.5:

- Λόγω ανεπάρκειας σημαντικών στοιχείων για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αποφασίστηκε να ακολουθηθεί η μεθοδολογία υπολογισμού που εφαρμόζεται από το τμήμα περιβαλλοντικών υπηρεσιών του Διεθνή Αερολιμένα της Ζυρίχης, το οποίο βρίσκεται σε συνεργασία με το αντίστοιχο τμήμα του αερολιμένα Αθηνών.
- Το σύστημα που εφαρμόζεται στη Ζυρίχη, δεν πραγματοποιεί τους απαραίτητους υπολογισμούς για κάθε μεμονωμένο αεροσκάφος. Οι υπολογισμοί βασίζονται στο σύνολο των κύκλων LTO που πραγματοποιούνται στον αερολιμένα κατά την περίοδο απογραφής.
- Η διαδικασία ξεκίνησε με τη συλλογή των στοιχείων των αεροπορικών κινήσεων κάθε έτους από το σύστημα UFIS του αερολιμένα. Λήφθηκαν στοιχεία για τα έτη 2004 και 2005, τα οποία ταξινομήθηκαν σύμφωνα με κάποιες ευρύτερες «οικογένειες» αεροσκαφών που παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά στις εκπομπές των βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας. Για τα αεροσκάφη κάθε κατηγορίας αθροίστηκαν οι κύκλοι LTO που πραγματοποιήθηκαν ετησίως και καταστρώθηκε το αντίστοιχο αρχείο (βλ. πίνακα 5.7).
- Με τη βοήθεια των οδηγιών και του αντίστοιχου μητρώου του αερολιμένα της Ζυρίχης, οι κατηγορίες στις οποίες διατάχθηκαν τα αεροσκάφη, μοιράστηκαν σε τρεις κλάσεις εκπομπών από τις βοηθητικές μονάδες (J1, J2, J3). Στον πίνακα 5.7 παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποια τμήματα της ταξινόμησης αυτής, ενώ στον πίνακα 5.8 δίνονται οι δείκτες εκπομπών κάθε μίας από τις τρεις κλάσεις στις οποίες μοιράστηκαν τα αεροσκάφη.

Πίνακας 5.7 : Δείγμα Ταξινόμησης Αεροσκαφών ανά Κατηγορία APU

Τύπος Αεροσκάφους	Τύπος Κινητήρα	Κατηγορία APU	Κύκλοι LTO
A300, all Series	CF6-50C	J2	1.339
A310, all Series	CF6-80A	J2	508
A318, A319	CFM56-5A5	J1	1.905
A320	CFM56-5A1	J1	6.992
A321	V2530-A5	J1	3.538
A330	PW4168	J3	363
A340	CFM56-5C4	J3	785
Avro RJ, all Series	LF507	J1	8.340
Boeing 707, all Series	JT3D-3B	J2	1

Boeing 717, 727	JT8D-15	J2	2.322
Boeing 737, unknown	CFM56-3B1	J1	-
Boeing 737-200	JT8D-9	J1	15
Boeing 737-300	CFM56-3B1	J1	9.635
Boeing 737-400	CFM56-3C1	J1	19.805
Boeing 737-500	CFM56-3B1	J1	848
Boeing 737-600	CFM56-7B18	J1	178
Boeing 737-700	CFM56-7B18	J1	1.741
Boeing 737-800, 900	CFM56-7B26	J1	1.701
Boeing 747, all Series	CF6-80C2B4	J3	230
Boeing 757-200	PW2040	J2	484
Boeing 757-300	PW2040	J2	292
Boeing 767-200, 300	PW4060	J2	1.451
Boeing 777	TRENT 872	J3	213
BAC 1-11, all Series	Spey MK 511-8	J1	31
BAe 146 all Series	LF507	J1	617
Canadair Challenger	CF34-3A1	J1	583
MD-80, all Series	JT8D-217	J1	1.675

- Οι τιμές που αναγράφονται στον πίνακα 5.8, αποτελούν τις μέσες τιμές εκπομπών από τις βοηθητικές μονάδες όπως αυτές καταγράφηκαν στο μητρώο εκπομπών του αερολιμένα της Ζυρίχης για το έτος λειτουργίας 2001. Αφορούν στο σύνολο των βοηθητικών μονάδων και αυτή η παραδοχή υιοθετείται για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της έλλειψης αναλυτικών δεδομένων για κάθε περίπτωση ξεχωριστά.

Πίνακας 5.8 : Δείκτες Εκπομπών και Κατανάλωσης Καυσίμου των Βοηθητικών Μονάδων Παροχής Ενέργειας

	Μονάδες	Κατηγορία J1	Κατηγορία J2	Κατηγορία J3
Κατανάλωση Καυσίμου	κιλά/ώρα	69,0	121,0	314,0
Nox	γραμμάρια/κιλό	5,1	7,4	7,6
HCS	γραμμάρια/κιλό	1,0	0,7	0,3
CO	γραμμάρια/κιλό	12,0	10,4	5,6

- Προκειμένου να υπολογιστούν οι εκπομπές των βοηθητικών μονάδων, ήταν απαραίτητο να βρεθούν στοιχεία για το ποια αεροσκάφη χρησιμοποίησαν τις βοηθητικές μονάδες τους και για πόσο χρονικό διάστημα τις έθεσαν σε λειτουργία. Καθώς δεν υπήρχε αρχείο λεπτομερών καταγραφών της χρήσης των βοηθητικών μονάδων, πραγματοποιήθηκαν οι εξής παραδοχές: Λήφθηκε, με την καθοδήγηση του αερολιμένα της Ζυρίχης, ως μέσος χρόνος λειτουργίας των βοηθητικών μονάδων τα τριάντα λεπτά ανά κύκλο LTO και για τις τρεις κατηγορίες βοηθητικών μονάδων. Επίσης, μετά από επικοινωνία με το αρμόδιο τμήμα του ΔΑΑ, μας γνωστοποιήθηκε ότι περίπου το 45% των πραγματοποιούμενων κινήσεων αεροσκαφών λαμβάνει υποστήριξη από σταθερές εγκαταστάσεις του αερολιμένα και δεν χρησιμοποιούν τις βοηθητικές μονάδες τους. Επομένως, περίπου το 55% των αεροπορικών κινήσεων

πραγματοποιήθηκαν με χρήση βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας, ανεξαρτήτως κατηγορίας.

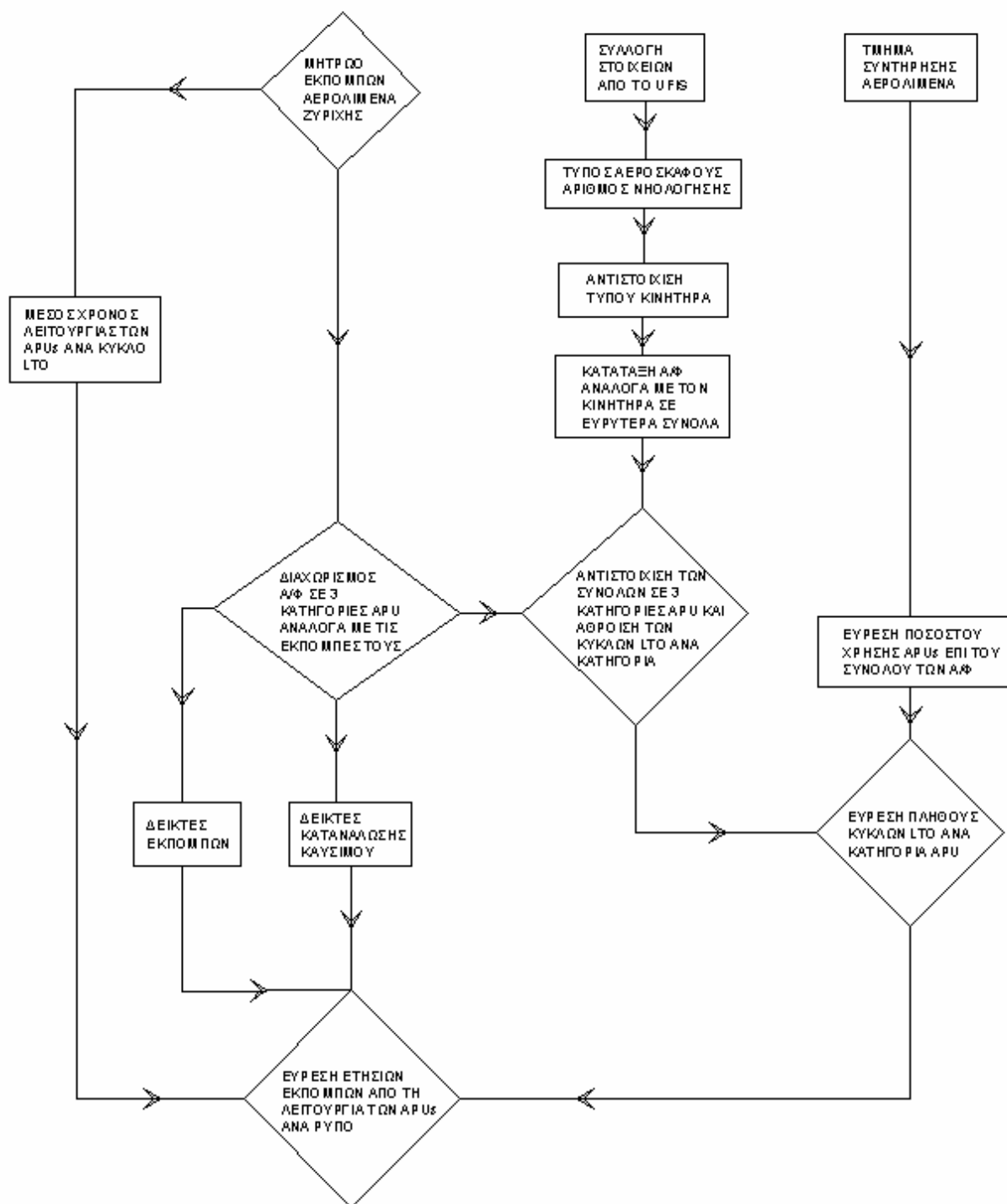
- Γνωρίζοντας για κάθε έτος το πλήθος των κύκλων LTO, που πραγματοποιήθηκαν ανά κατηγορία, το πολλαπλασιάσαμε με το ποσοστό χρήσης των βοηθητικών μονάδων και έπειτα με τον χρόνο χρήσης, τον δείκτη κατανάλωσης καυσίμου και τον αντίστοιχο δείκτη εκπομπών. Έτσι προέκυψαν οι εκπομπές κάθε κατηγορίας βοηθητικών μονάδων ανά ρύπο. Οι εκπομπές των τριών κατηγοριών προστέθηκαν ανά ρύπο, δίνοντάς μας τις συνολικές τιμές εκπομπών από τη χρήση των βοηθητικών μονάδων των αεροσκαφών για κάθε έτος ενδιαφέροντος. Η διαδικασία παρουσιάζεται συνοπτικά στη μαθηματική σχέση 5.2.

$$E_i = \sum (N_{LTOj} \times 0,55 \times T_j \times FF_j \times EI_{ij}) \quad (\text{σχέση 5.2})$$

Όπου :

- E_i - ετήσιες εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε γραμμάρια, από τη λειτουργία των βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας των αεροσκαφών
- N_{LTOj} - αριθμός (Number) κύκλων LTO που πραγματοποιήθηκαν από αεροσκάφη της κατηγορίας j , κατά τη διάρκεια του έτους
- 0,55** - το ποσοστό χρήσης (55%) των βοηθητικών μονάδων επί των κύκλων LTO που πραγματοποιήθηκαν ετησίως στον ΔΑΑ για κάθε κατηγορία
- T_j - διάρκεια λειτουργίας (operating Time) της βοηθητικής μονάδας αεροσκάφους της κατηγορίας j ανά κύκλο LTO, σε ώρες
- FF_j - ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow rate), σε χιλιόγραμμα ανά ώρα, της βοηθητικής μονάδας αεροσκάφους της κατηγορίας j
- EI_{ij} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i και την κατηγορία αεροσκαφών j , σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου
- i - είδος ρύπου (CO, NO_x, HC)
- j - κατηγορία αεροσκαφών (J1, J2, J3) σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας

Γράφημα 5.5 : Διάγραμμα Ροής της Διαδικασίας Υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών από τις Βοηθητικές Μονάδες Παροχής Ενέργειας



- Τα ετήσια αποτελέσματα εκφράστηκαν σε τόνους ρύπου κι έπειτα αναχθήκαν σε κιλά ρύπου ανά αεροπορική κίνηση και σε γραμμάρια ρύπου ανά επιβάτη. Στους πίνακες 5.9, 5.10 και 5.11 παρατίθενται τα ετήσια αποτελέσματα των εκπομπών από τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας των αεροσκαφών για τα έτη λειτουργίας του αεροδρομίου 2004 και 2005.

Πίνακας 5.9 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Βοηθητικές Μονάδες Παροχής Ενέργειας των Αεροσκαφών (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	8,7	8,7
CO	16,8	16,2
HC	1,3	1,3

Πίνακας 5.10 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Βοηθητικές Μονάδες Παροχής Ενέργειας των Αεροσκαφών (κιλά/αεροπορική κίνηση)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	0,046	0,048
CO	0,089	0,090
HC	0,007	0,007
Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων	188.351	180.734

Πίνακας 5.11 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Βοηθητικές Μονάδες Παροχής Ενέργειας των Αεροσκαφών (γραμμάρια/επιβάτη)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	0,637	0,609
CO	1,230	1,134
HC	0,095	0,091
Αριθμός Επιβατών	13.662.332	14.281.242

5.4 Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους

Στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών λειτουργούν οχήματα και μηχανήματα συμβατικών καυσίμων είτε ηλεκτροκίνητα, τα οποία εξυπηρετούν τις ανάγκες εφοδιασμού και συντήρησης των αεροσκαφών. Ο εξοπλισμός αυτός διαχειρίζεται από τις εταιρίες στις οποίες ανήκουν. Οι εταιρίες αυτές παρέχουν υπηρεσίες στον αερολιμένα και λειτουργούν εντός του χώρου του αεροδρομίου. Οι κυριότερες από αυτές είναι η Swissport Hellas Cargo S.A., η Goldair Handling S.A., η Olympic Airways S.A. και η DHL – European Air Transport S.A. (εικόνες 5.2 και 5.3).

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παράγραφο 4.2.3 του τετάρτου κεφαλαίου, θα έπρεπε να αναζητηθούν από τις εταιρίες αυτές οι τεχνικές πληροφορίες όλων των

οχημάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τα έτη 2004 και 2005 και τα στοιχεία χρήσης αυτών. Στη συνέχεια με επεξεργασία του αρχείου αυτού και με εφαρμογή των κατάλληλων συντελεστών θα ήταν δυνατός ο ακριβής υπολογισμός των εκπομπών από τη λειτουργία του εξοπλισμού εδάφους του αερολιμένα.



Εικόνες 5.2 & 5.3 : Κτιριακές Εγκαταστάσεις Εταιριών Διαχείρισης Εξοπλισμού Εδάφους εντός της ιδιοκτησίας του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών (Πηγή: www.aia.gr)

Μετά από επικοινωνία με τις προαναφερθείσες εταιρίες και το αρμόδιο τμήμα της διεύθυνσης του αερολιμένα, διαπιστώθηκε ότι παρότι υπήρχε πλήρης κατάλογος των οχημάτων που λειτουργούσαν στο αεροδρόμιο, δεν τηρούνταν κάποιο αρχείο καταγραφής χρήσεων, καθιστώντας αδύνατο τον υπολογισμό των εκπομπών με την προτεινόμενη μεθοδολογία. Αποφασίστηκε, λοιπόν, η εφαρμογή παραδοχών παρόμοιων με αυτές που έγιναν για τις βοηθητικές μονάδες των αεροσκαφών, ώστε να προσεγγιστούν όσο το δυνατόν καλύτερα οι εκπομπές από τον εξοπλισμό εδάφους. Τα βήματα της μεθόδου που εφαρμόστηκε παρατίθενται στη συνέχεια:

- Από το σύστημα UFIS του αερολιμένα λήφθηκαν τα στοιχεία των πτήσεων για τα έτη 2004 και 2005. Από τα δεδομένα αυτά βρέθηκε ο ετήσιος αριθμός κύκλων LTO που πραγματοποιήθηκαν.
- Καθώς δεν υπήρχαν στοιχεία χρήσης του εξοπλισμού εδάφους, έγινε η παραδοχή ότι για την εξυπηρέτηση κάθε κύκλου LTO, λειτουργεί ένας συγκεκριμένος αριθμός οχημάτων και μηχανημάτων για συγκεκριμένη χρονική διάρκεια. Το πλήθος και το είδος των χρησιμοποιούμενων οχημάτων, όπως και ο χρόνος χρήσης αυτών ανά κύκλο LTO αποτελούν μέσες τιμές που αναφέρονται στο σύνολο των αεροπορικών κινήσεων. Οι τιμές αυτές λήφθηκαν από το αντίστοιχο μητρώο του αερολιμένα της Ζυρίχης και παρουσιάζονται στον πίνακα 5.12.

Πίνακας 5.12 : Μέσες Τιμές Κατανάλωσης Καυσίμου και Χρήσης του Εξοπλισμού Εδάφους

	Μονάδα Μέτρησης	Αριθμητική Τιμή
Διάρκεια Χρήσης Εξοπλισμού		
Επιβατικά Αυτοκίνητα	λεπτά/κύκλο	11,0
Ημιφορτηγά	λεπτά/κύκλο	16,0
Φορτηγά/Λεωφορεία	λεπτά/κύκλο	7,5
Μηχανήματα	λεπτά/κύκλο	15,0
Κατανάλωση Καυσίμου		
Επιβατικά Αυτοκίνητα	κιλά/ώρα	15,00
Ημιφορτηγά	κιλά/ώρα	19,00
Φορτηγά/Λεωφορεία	κιλά/ώρα	30,00
Μηχανήματα	κιλά/ώρα	30,00
Κατανομή Ειδών Καυσίμων		
Επιβατικά Αυτοκίνητα	% ποσοστό που λειτουργεί με πετρέλαιο Diesel	30%
Ημιφορτηγά	% ποσοστό που λειτουργεί με πετρέλαιο Diesel	50%
Φορτηγά/Λεωφορεία	% ποσοστό που λειτουργεί με πετρέλαιο Diesel	100%
Μηχανήματα	% ποσοστό που λειτουργεί με πετρέλαιο Diesel	100%

- Τα οχήματα και μηχανήματα του εξοπλισμού εδάφους διακρίθηκαν σε τέσσερις κατηγορίες (επιβατικά αυτοκίνητα, ημιφορτηγά, φορτηγά/λεωφορεία και μηχανήματα) κατά το πρότυπο του αερολιμένα της Ζυρίχης, ώστε να είναι πιο αντιπροσωπευτικές οι τιμές εκπομπών που θα προκύψουν. Για αυτές τις συγκεκριμένες κατηγορίες υιοθετήθηκαν τιμές κατανάλωσης καυσίμου, διάρκειας χρήσης ανά κύκλο LTO και ποσοστού αυτών που λειτουργεί με πετρέλαιο Diesel. Τα υπόλοιπα λειτουργούν με βενζίνη. Οι τιμές που υιοθετήθηκαν κατά αυτή τη θεώρηση δεν περιλαμβάνουν τα ηλεκτροκίνητα οχήματα και μηχανήματα, καθώς αυτά δεν παράγουν εκπομπές στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου.
- Πολλαπλασιάζοντας το πλήθος κύκλων LTO του έτους, με το χρόνο χρήσης οχήματος για κάθε κατηγορία και την κατανάλωση καυσίμου για τα ποσοστά είτε βενζίνης είτε πετρελαίου, προέκυψαν οι τιμές της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου κάθε κατηγορίας οχήματος για πετρελαιοκίνητα και βενζινοκίνητα οχήματα (βλ. πίνακα 5.13). Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται στη μαθηματική σχέση 5.3.

$$FC_j = N_{LTO} \times T_j \times FF_j \quad (\text{σχέση 5.3})$$

Όπου : FC_j - ετήσια κατανάλωση καυσίμων (Fuel Consumption), σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία οχημάτων και μηχανημάτων της κατηγορίας j
 N_{LTO} - αριθμός (Number) κύκλων LTO που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του έτους
 T_j - διάρκεια χρήσης (operating Time) οχημάτων και μηχανημάτων της κατηγορίας j ανά κύκλο LTO, σε ώρες

FF_j - ρυθμός κατανάλωσης καυσίμου (Fuel Flow rate), σε χιλιόγραμμα ανά ώρα, οχημάτων και μηχανημάτων της κατηγορίας j

j - κατηγορία οχημάτων και μηχανημάτων (βενζινοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα, βενζινοκίνητα ημιφορτηγά, πετρελαιοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα, πετρελαιοκίνητα ημιφορτηγά, πετρελαιοκίνητα φορτηγά και λεωφορεία, πετρελαιοκίνητα μηχανήματα)

Πίνακας 5.13 : Ετήσια Κατανάλωση Καυσίμου του Εξοπλισμού Εδάφους

	Μονάδα Μέτρησης	Αριθμητική Τιμή	
		Έτος 2004	Έτος 2005
Βενζινοκίνητα Οχήματα			
Επιβατικά Αυτοκίνητα	κιλά/έτος	171.708,08	158.558,40
Ημιφορτηγά	κιλά/έτος	225.970,80	208.665,60
Σύνολο	κιλά/έτος	397.678,88	367.224,00
Πετρελαιοκίνητα Οχήματα			
Επιβατικά Αυτοκίνητα	κιλά/έτος	73.589,18	67.953,60
Ημιφορτηγά	κιλά/έτος	225.970,80	208.665,60
Φορτηγά/Λεωφορεία	κιλά/έτος	334.496,25	308.880,00
Μηχανήματα	κιλά/έτος	668.992,50	617.760,00
Σύνολο	κιλά/έτος	1.303.048,73	1.203.259,20

- Με πολλαπλασιασμό των τιμών κατανάλωσης κάθε κατηγορίας με τους αντίστοιχους δείκτες εκπομπών (πίνακας 5.14), σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση 5.4, υπολογίστηκαν οι εκπομπές κάθε κατηγορίας ανά είδος ρύπου. Ολοκληρώνοντας, προσθέσαμε τις εκπομπές ανά ρύπο όλων των κατηγοριών οχημάτων και εκτιμήσαμε τις συνολικές εκπομπές ανά ρύπο από τη λειτουργία του εξοπλισμού εδάφους για τα έτη λειτουργίας 2004 και 2005.

$$E_i = \sum (FC_j \times EI_{ij}) \quad (\text{σχέση 5.4})$$

Όπου : E_i - ετήσιες εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε γραμμάρια, από τη λειτουργία οχημάτων και μηχανημάτων του εξοπλισμού εδάφους

FC_j - ετήσια κατανάλωση καυσίμων (Fuel Consumption), σε χιλιόγραμμα, από τη λειτουργία οχημάτων και μηχανημάτων της κατηγορίας j

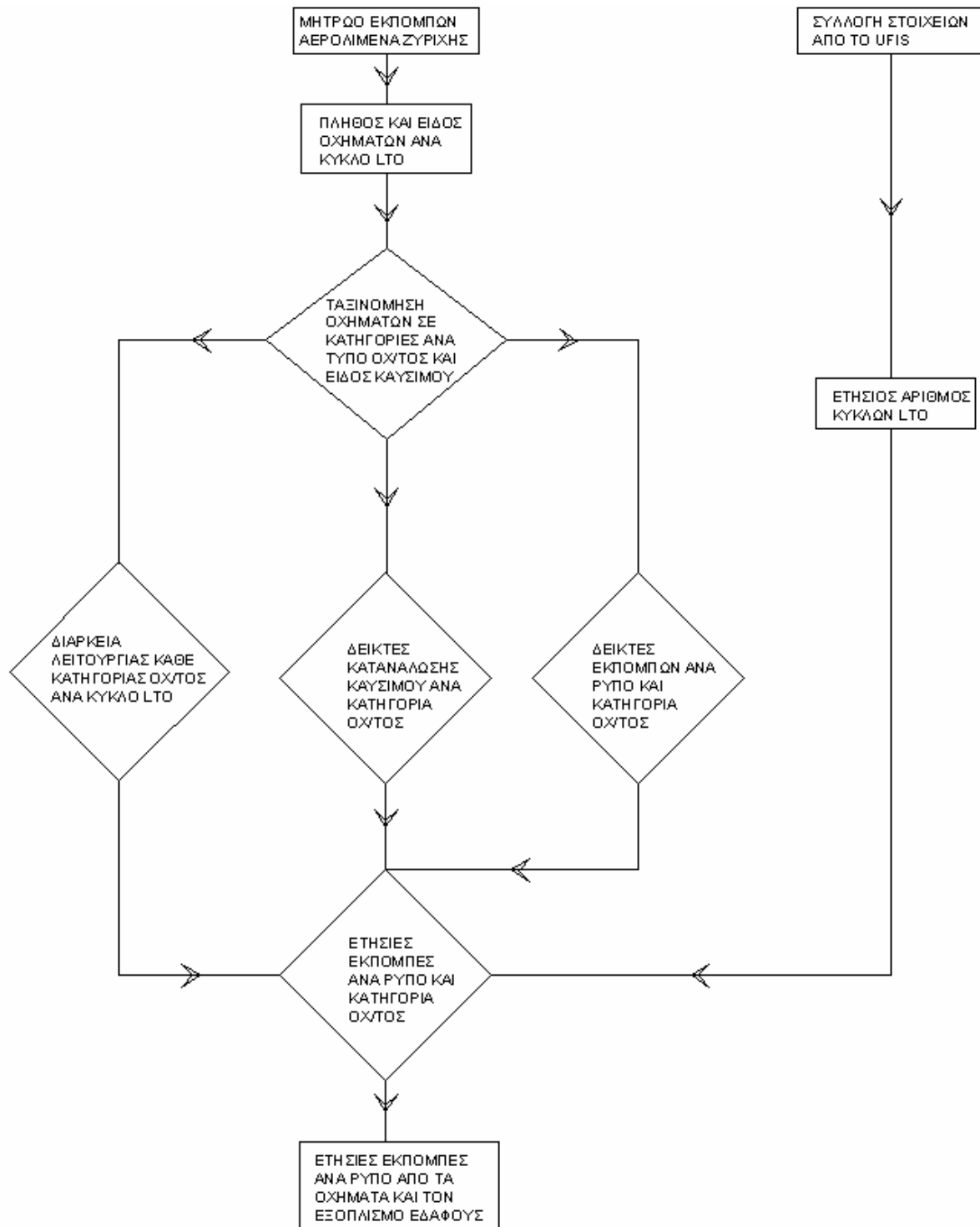
EI_{ij} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i και την κατηγορία οχημάτων και μηχανημάτων j , σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμο χρησιμοποιούμενου καυσίμου

i - είδος ρύπου (CO, NO_x, HC)

j - κατηγορία οχημάτων και μηχανημάτων (βενζινοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα, βενζινοκίνητα ημιφορτηγά, πετρελαιοκίνητα επιβατικά αυτοκίνητα, πετρελαιοκίνητα ημιφορτηγά, πετρελαιοκίνητα φορτηγά και λεωφορεία, πετρελαιοκίνητα μηχανήματα)

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα ροής που περιγράφει τη διαδικασία υπολογισμού των εκπομπών που παράγονται από τη λειτουργία των οχημάτων και μηχανημάτων του εξοπλισμού εδάφους του ΔΑΑ.

Γράφημα 5.6 : Διάγραμμα Ροής της Διαδικασίας Υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών από τα Οχήματα και τον Εξοπλισμό Εδάφους



Πίνακας 5.14 : Δείκτες Εκπομπών του Εξοπλισμού Εδάφους

	Είδος Ρύπου	Δείκτης Εκπομπών (γραμμάρια/κιλό)
Βενζινοκίνητα Οχήματα		
Επιβατικά Αυτοκίνητα	NOx	3,38
	HCS	0,95
	CO	15,25
Ημιφορτηγά	NOx	5,00
	HCS	1,52
	CO	16,02
Πετρελαιοκίνητα Οχήματα		
Επιβατικά Αυτοκίνητα	NOx	11,41
	HCS	1,72
	CO	11,03
Ημιφορτηγά	NOx	9,34
	HCS	1,41
	CO	9,27
Φορτηγά/Λεωφορεία	NOx	35,41
	HCS	7,96
	CO	13,12
Μηχανήματα	NOx	12,84
	HCS	3,43
	CO	11,11

- Τα συνολικά αποτελέσματα αναχθήκαν σε τόνους ρύπου ανά έτος, σε κιλά ρύπου ανά αεροπορική κίνηση και σε γραμμάρια ρύπου ανά επιβάτη. Στους πίνακες 5.15, 5.16 και 5.17 παρατίθενται τα ετήσια αποτελέσματα των εκπομπών από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους του ΔΑΑ για τα έτη λειτουργίας του αεροδρομίου 2004 και 2005.

Πίνακας 5.15 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Οχήματα και τον Εξοπλισμό Εδάφους (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NOx	25,1	23,2
CO	21,0	19,4
HC	5,91	5,5

Πίνακας 5.16 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Οχήματα και τον Εξοπλισμό Εδάφους (κιλά/αεροπορική κίνηση)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NOx	0,133	0,128
CO	0,111	0,107
HC	0,031	0,030
Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων	188.351	180.734

Πίνακας 5.17 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Οχήματα και τον Εξοπλισμό Εδάφους (γραμμάρια/επιβάτη)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NOx	1,836	1,622
CO	1,535	1,356
HC	0,433	0,382
Αριθμός Επιβατών	13.662.332	14.281.242

Στην παράγραφο 4.2.3.2 του κεφαλαίου 4 περιγράφηκε η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία των ηλεκτροκίνητων οχημάτων και μηχανημάτων του αεροδρομίου. Σύμφωνα με τον κατάλογο των οχημάτων και μηχανημάτων που λειτουργούν στον ΔΑΑ, ένα σημαντικό ποσοστό αυτών είναι ηλεκτροκίνητα και επομένως δεν παράγουν εκπομπές λόγω καύσης στο χώρο του αεροδρομίου. Οι ρύποι, όμως, που εκλύονται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας, θα έπρεπε να περιληφθούν στο μητρώο εκπομπών του αερολιμένα, αν οι αντίστοιχες εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης βρίσκονταν στην ευρύτερη περιοχή του αερολιμένα. Μετά από επικοινωνία με τη διεύθυνση του αερολιμένα Αθηνών πληροφορηθήκαμε ότι δε λειτουργεί μεμονωμένη εγκατάσταση στον αερολιμένα για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτροδότησης του εξοπλισμού εδάφους. Η ηλεκτροδότηση γίνεται μέσω του εθνικού δικτύου της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Καθίσταται, λοιπόν φανερό ότι δεν προκύπτουν ατμοσφαιρικές εκπομπές, έμμεσες ή άμεσες, από τη λειτουργία του ηλεκτροκίνητου εξοπλισμού, στην ευρύτερη περιοχή του αερολιμένα και άρα δε χρειάζονται περαιτέρω υπολογισμοί για αυτή την κατηγορία του μητρώου εκπομπών.

5.5 Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων

Από την περιγραφή των μηχανισμών γένεσης ρύπων του κεφαλαίου 3, γίνεται φανερό ότι οι ατμοσφαιρικές εκπομπές από τα μέσα μετακίνησης προς και από τον αερολιμένα πρέπει να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες, προκειμένου να εκτιμηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια: Εκπομπές λόγω κίνησης προς και από τον αερολιμένα, εκπομπές λόγω στάθμευσης στον αερολιμένα και εκπομπές εξάτμισης από τους κινητήρες και τη δεξαμενή καυσίμων των οχημάτων.

5.5.1 Εκπομπές λόγω κίνησης προς και από τον αερολιμένα

Για την εκτίμηση των εκπομπών της κατηγορίας αυτής είχε αρχικά προγραμματιστεί η διάκριση των οχημάτων σε κατηγορίες σύμφωνα με τη χρήση τους. Με τον τρόπο αυτό θα καθίστατο δυνατή η ακριβής αναγνώριση των τύπων των κινητήρων των οχημάτων κάθε

κατηγορίας για τον εντοπισμό των κατάλληλων δεικτών εκπομπών και θα γινόταν εφικτός ο ακριβής υπολογισμός των διανυόμενων αποστάσεων, εφόσον θα ήταν γνωστά τα σημεία άφιξης των οχημάτων κάθε κατηγορίας στον αερολιμένα. Η διάκριση, λοιπόν που πραγματοποιήθηκε αρχικά ήταν σε οχήματα επιβατών, οχήματα εργαζομένων, οχήματα προς ενοικίαση, οχήματα προς μίσθωση (ταξί), οχήματα τρίτων εταιριών που λειτουργούν στον αερολιμένα, αστικά λεωφορεία και μέσα σταθερής τροχιάς (προαστιακός σιδηρόδρομος και μετρό).

Οι κατηγορίες επιλέχθηκαν με κριτήριο τα πιθανά δεδομένα που θα μπορούσαν να βρεθούν για κάθε κατηγορία. Εντοπίστηκαν τα σταθερά σημεία άφιξης ορισμένων κατηγοριών οχημάτων στον αερολιμένα και αναζητήθηκαν τεχνικά δεδομένα, από τα οποία θα μπορούσαν να προκύψουν οι δείκτες εκπομπών. Τέλος, πραγματοποιήθηκε επικοινωνία με το τμήμα σχεδιασμού του ΔΑΑ, το οποίο είναι αρμόδιο για την καταγραφή των διελεύσεων των οχημάτων προς και από το αεροδρόμιο. Από το τμήμα αυτό πληροφορηθήκαμε ότι δεν υπάρχουν δεδομένα καταγραφής διελεύσεων ανάλογα με τη χρήση των οχημάτων, αλλά υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία διελεύσεων από ορισμένες διατομές οδών εντός της ιδιοκτησίας του αερολιμένα, τα οποία ταξινομούνται ανά τύπο οχήματος.

Η διαπίστωση αυτή, μας ανάγκασε να επαναπροσδιορίσουμε τη μεθοδολογία υπολογισμού, καθώς δεν υπήρχαν τα απαραίτητα δεδομένα για τον υπολογισμό των εκπομπών των οχημάτων σύμφωνα με τη χρήση τους. Η μεθοδολογία, με την υιοθέτηση παραδοχών που παρατίθενται στη συνέχεια, προσαρμόστηκε στα διαθέσιμα δεδομένα και εφαρμόστηκε κατά τα ακόλουθα βήματα:

- Καθώς τα διαθέσιμα στοιχεία φόρτου αφορούσαν συγκεκριμένα σημεία του οδικού δικτύου του αερολιμένα και δεν ήταν εφικτή η διάκριση σύμφωνα με τη χρήση των οχημάτων, αποφασίστηκε τα οχήματα να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον τύπο τους και με τα σημεία μέτρησης των διελεύσεων αυτών.
- Τα δεδομένα που θα λαμβάνονταν από το τμήμα σχεδιασμού θα περιείχαν στοιχεία για όλα τα οχήματα που κινήθηκαν επί των οδών του αερολιμένα κατά τα έτη λειτουργίας 2004 και 2005. Μόνο τα μέσα σταθερής τροχιάς δεν θα περιλαμβάνονταν στα δεδομένα αυτά και για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε ξεχωριστός υπολογισμός των εκπομπών από τα μέσα αυτά.
- Λήφθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα διελεύσεων από το τμήμα σχεδιασμού του ΔΑΑ. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από διατάξεις μέτρησης που έχουν τοποθετηθεί σε επιλεγμένες διατομές του οδικού δικτύου του αερολιμένα. Αυτοί οι αποκαλούμενοι φωρατές, αποτελούν κλειστά κυκλώματα εγκατεστημένα κάτω από το οδόστρωμα τα οποία διαρρέονται από ηλεκτρισμό με αποτέλεσμα τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου. Η διέλευση οχήματος άνωθεν του οδοστρώματος προκαλεί τη διαταραχή του πεδίου αυτού, εξαιτίας της κίνησης του μεταλλικού σκέλους του κάτω τμήματος του οχήματος. Η διαταραχή αυτή καταγράφεται στη μνήμη του εκάστοτε κυκλώματος. Μετά από επεξεργασία με το κατάλληλο λογισμικό, μπορούν να εξαχθούν στοιχεία για τον τύπο του οχήματος, την ταχύτητα του και την ώρα διέλευσής του. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να ομαδοποιηθούν στα επιθυμητά χρονικά

διαστήματα με τη χρήση του αντίστοιχου λογισμικού. Στη συνέχεια παρατίθεται ενδεικτικά ένα τμήμα των δεδομένων που λήφθηκαν για μια συγκεκριμένη διατομή (πίνακας 5.18).

- Όπως φαίνεται στον πίνακα 5.18, ο οποίος αναφέρεται στο σημείο ελέγχου με τον αύξοντα αριθμό 4, καταγράφονται από τους φωρατές οι ημερήσιες διελεύσεις ανά λωρίδα ομαδοποιημένες σε δέκα κατηγορίες οχημάτων. Η κατηγορία A0 αντιστοιχεί στα δίκυκλα, οι κατηγορίες A1 έως A3 στα επιβατικά οχήματα διαφόρων μεγεθών, οι κατηγορίες B1 έως B4 στα φορτηγά διαφόρων μεγεθών, η κατηγορία C1 στα λεωφορεία και η κατηγορία XX στα οχήματα που δεν αναγνωρίστηκαν από το λογισμικό επεξεργασίας. Τα αθροίσματα διελύσεων για τις κατηγορίες A, B και C κάθε λωρίδας υπολογίζονται αυτόματα, όπως επίσης και το άθροισμα όλων των διελύσεων που πραγματοποιήθηκαν ημερησίως στην εκάστοτε διατομή.
- Κατά το έτος 2004 λειτουργούσαν συνολικά εννιά διατάξεις καταγραφής διελύσεων σε ισάριθμα σημεία εντός του αερολιμένα, ενώ τον Απρίλιο του 2005 τέθηκαν σε λειτουργία ακόμα δεκαέξι διατάξεις. Μετά από μία πρώτη εξέταση των διαθέσιμων σημείων ελέγχου, ζητήθηκαν και λήφθηκαν από το τμήμα σχεδιασμού στοιχεία διελύσεων που αφορούσαν πέντε διαφορετικές διατομές για το έτος 2004 και δώδεκα διαφορετικές διατομές για το έτος 2005.

Πίνακας 5.18 : Δείγμα Αρχείου Διελεύσεων από τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών

AIA																																
Transport Planning																																
04 Venizelos AP																																
		Lane A											Lane B											Lane A				Lane B				
DATE	TIME	A0	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	XX	ERR	A0	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	C1	XX	ERR	SUMA	SUMB	SUMC	SUM1	SUMA	SUMB	SUMC	SUM2	TOTAL
1/1/2004	24:00	0	1127	0	21	2	6	11	22	279	10	-P--	4	62	0	0	1	0	11	48	86	12	-P--	1148	41	279	1478	66	60	86	224	1702
2/1/2004	24:00	3	1737	0	44	3	29	25	36	280	44	-P--	3	99	0	3	0	2	14	64	115	11	-P--	1784	93	280	2201	105	80	115	311	2512
3/1/2004	24:00	2	1292	1	16	2	27	13	25	289	10	-P--	1	61	0	1	0	1	8	47	96	6	-P--	1311	67	289	1677	63	56	96	221	1898
4/1/2004	24:00	2	1233	1	19	6	25	14	25	291	11	-P--	1	44	0	0	0	0	6	50	68	7	-P--	1255	70	291	1627	45	56	68	176	1803
5/1/2004	24:00	3	2037	0	41	8	49	23	32	286	47	-P--	2	115	0	2	2	1	9	47	105	12	-P--	2081	112	286	2526	119	59	105	295	2821
6/1/2004	24:00	0	1295	1	22	3	13	11	24	314	17	-P--	3	52	0	0	0	0	10	45	86	12	-P--	1318	51	314	1700	55	55	86	208	1908
7/1/2004	24:00	3	2173	3	49	12	53	17	42	285	42	-P--	3	113	0	1	2	1	9	69	100	11	-P--	2228	124	285	2679	117	81	100	309	2988
8/1/2004	24:00	7	2225	3	51	10	49	26	39	261	45	-P--	6	126	0	4	0	3	16	76	112	21	-P--	2286	124	261	2716	136	95	112	364	3080
9/1/2004	24:00	3	2307	1	44	14	56	20	34	289	51	-P--	1	124	0	6	1	2	7	53	108	9	-P--	2355	124	289	2819	131	63	108	311	3130
10/1/2004	24:00	0	1324	0	27	6	27	15	35	303	11	-P--	1	48	0	1	0	0	2	69	65	6	-P--	1351	83	303	1748	50	71	65	192	1940
11/1/2004	24:00	0	1270	0	28	2	18	5	29	331	7	-P--	1	47	0	0	0	0	3	63	37	5	-P--	1298	54	331	1690	48	66	37	156	1846
12/1/2004	24:00	11	2296	2	61	10	39	22	42	287	52	-P--	5	94	0	4	1	1	16	60	93	12	-P--	2370	113	287	2822	103	78	93	286	3108
13/1/2004	24:00	5	2265	2	51	11	42	11	37	304	41	-P--	2	93	0	2	0	1	9	65	102	12	-P--	2323	101	304	2769	97	75	102	286	3055
14/1/2004	24:00	10	2278	2	50	10	47	14	29	296	50	-P--	6	105	0	1	1	3	10	62	103	7	-P--	2340	100	296	2786	112	76	103	298	3084
15/1/2004	24:00	10	2301	3	63	11	54	17	33	265	39	-P--	4	119	0	5	0	5	11	65	118	17	-P--	2377	115	265	2796	128	81	118	344	3140
16/1/2004	24:00	7	2317	1	53	6	48	19	37	304	53	-P--	4	149	0	2	0	3	9	65	95	13	-P--	2378	110	304	2845	155	77	95	340	3185
17/1/2004	24:00	5	1311	4	21	6	24	12	26	310	12	-P--	4	60	0	0	1	3	5	51	91	8	-P--	1341	68	310	1731	64	60	91	223	1954
18/1/2004	24:00	4	1270	3	24	5	12	5	16	307	18	-P--	2	40	0	0	0	1	3	46	67	6	-P--	1301	38	307	1664	42	50	67	165	1829
19/1/2004	24:00	14	2294	2	55	10	42	21	39	302	51	-P--	4	106	0	3	0	0	7	53	84	8	-P--	2365	112	302	2830	113	60	84	265	3095
20/1/2004	24:00	5	2345	4	45	9	46	12	42	291	53	-P--	9	107	0	4	0	3	8	54	100	16	-P--	2399	109	291	2852	120	65	100	301	3153
21/1/2004	24:00	3	2340	1	48	7	48	19	45	303	59	-P--	0	129	0	5	0	2	8	64	101	15	-P--	2392	119	303	2873	134	74	101	324	3197
22/1/2004	24:00	2	2340	0	63	10	37	24	33	307	44	-P--	3	102	0	1	1	2	7	64	95	13	-P--	2405	104	307	2860	106	74	95	288	3148

- Ακολούθησε η επεξεργασία του αρχείου διελεύσεων για κάθε έτος ξεχωριστά, ώστε να εξαχθεί το πλήθος των διελεύσεων ετησίως ανά τύπο οχήματος και ανά σημείο ελέγχου. Για κάθε διατομή και κάθε έτος, ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:
 - Αθροίστηκαν ανά ημέρα και ανά λωρίδα, οι διελεύσεις των κατηγοριών A1-A3, αντιπροσωπεύοντας τα επιβατικά αυτοκίνητα (κατηγορία A), και B1-B3, αντιπροσωπεύοντας τα φορτηγά (κατηγορία B). Η κατηγορία C1 μετονομάστηκε σε C.
 - Αθροίστηκαν έπειτα για κάθε ημέρα ξεχωριστά και για κάθε κατηγορία εκ των A0, A, B και C οι διελεύσεις των λωρίδων που απαρτίζουν την εκάστοτε διατομή, παράγοντας τα ημερήσια αποτελέσματα της διατομής για τα δίκυκλα, τα επιβατικά αυτοκίνητα, τα φορτηγά και τα λεωφορεία.
 - Τα μη αναγνωρισμένα οχήματα της κατηγορίας XX, δε λήφθηκαν υπόψη στους υπολογισμούς, καθώς θα ήταν δύσκολο να εκτιμηθούν στη συνέχεια οι κατάλληλοι δείκτες εκπομπών για αυτά. Το συνολικό αποτέλεσμα δε μεταβλήθηκε ουσιαστικά με την παράλειψη αυτή, διότι τα οχήματα αυτά αποτελούν ποσοστό μικρότερο από το 0,5% του συνόλου.
 - Για κάθε μία από τις τέσσερις κατηγορίες που σχηματίστηκαν, αθροίστηκαν όλες οι ημερήσιες διελεύσεις του έτους και προέκυψε το πλήθος των καταγεγραμμένων διελεύσεων ανά κατηγορία οχήματος.
 - Οι αθροιστικές αυτές τιμές υποτιμούν τις πραγματικές ετήσιες, διότι οι φωρατές δεν βρίσκονταν σε λειτουργία καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Είτε λόγω βλαβών που προκλήθηκαν στα κυκλώματα μέτρησης απενεργοποιώντας τα για κάποια χρονικά διαστήματα είτε λόγω προγραμματισμένων συντηρήσεων κατά τις οποίες τέθηκαν εκτός λειτουργίας, οι φωρατές παρέλειψαν την καταγραφή κάποιων διελεύσεων. Στα δεδομένα που λήφθηκαν από το τμήμα σχεδιασμού του αερολιμένα, οι ημέρες κατά τις οποίες δε λειτούργησαν οι διατάξεις μέτρησης, χαρακτηρίζονται από μηδενικές καταγραφές.
 - Για τον ακριβέστερο υπολογισμό των διελεύσεων πραγματοποιήθηκε θεωρητική συμπλήρωση των μη καταγεγραμμένων τιμών, τοποθετώντας ανά ημέρα τις μέσες τιμές ανά κατηγορία οχήματος και ανά διατομή.
 - Μετά την αποκατάσταση των τιμών για όλες τις ημέρες του έτους πραγματοποιήθηκε η τελική άθροιση των ημερήσιων διελεύσεων ανά σημείο μέτρησης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον πίνακα 5.19.
- Έπειτα από έρευνα επί χάρτου των διαθέσιμων σημείων καταγραφής διελεύσεων, επιλέχθηκαν οι διατομές εκείνες των οδών που αντιπροσώπευαν αφενός μεν το σύνολο των οχημάτων που κινούνται προς και από τον αερολιμένα και αφετέρου τους επικρατέστερους προορισμούς των οχημάτων εντός του αερολιμένα.
- Η επαλήθευση των κυκλοφοριακών φόρτων κάθε διατομής, που πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια προσωπικού της διεύθυνσης του αερολιμένα, οδήγησε στην επιλογή των σημείων ελέγχου με αύξοντες αριθμούς 1, 4, 16 και 23. Τα σημεία που επιλέχθηκαν περιλαμβάνουν το σύνολο των διελεύσεων προς τον αερολιμένα χωρίς να μετρώνται διπλά κάποιες διελεύσεις. Στη διατομή 1 αντιστοιχούν τα οχήματα κυρίως των επιβατών και των επισκεπτών που

κινούνται προς το κτίριο του επιβατικού αεροσταθμού. Οι διελεύσεις που υπολογίστηκαν για τη διατομή 4 αντιπροσωπεύουν κυρίως τις κινήσεις εργαζομένων προς τα κτίρια της διεύθυνσης του αεροδρομίου. Επειδή οι καταγεγραμμένες κινήσεις στη συγκεκριμένη διατομή περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό διελεύσεις που έχουν καταγραφεί και από άλλες διατάξεις, χρησιμοποιήθηκε στις εκτιμήσεις μόνο το 60% των συνολικών τιμών κάθε κατηγορίας οχημάτων, ώστε να αποφευχθεί ο διπλός υπολογισμός κάποιων διελεύσεων. Στη θέση με αύξοντα αριθμό 16 αντιστοιχούν τα οχήματα που κινήθηκαν προς το εμπορικό πάρκο του αεροδρομίου (IKEA, ΚΩΤΣΟΒΟΛΟΣ), ενώ στη διατομή 23 αυτά που κινήθηκαν προς τα κτίρια του εμπορευματικού αεροσταθμού (Cargo). Για τις διατομές 16 και 23 δεν υπήρχαν καταγεγραμμένες τιμές κατά το έτος 2004, καθώς δεν είχαν ακόμη τεθεί σε λειτουργία οι αντίστοιχοι φωρατές. Οι τιμές που τελικά χρησιμοποιήθηκαν για το έτος 2004 σε αυτές τις διατομές προέκυψαν ως ποσοστό επί του συνόλου των οχημάτων, από τα στοιχεία του έτους 2005. Συγκεκριμένα για τη διατομή 16, θεωρήθηκε ότι μόνο κατά τους μήνες λειτουργίας των εμπορικών καταστημάτων δημιουργήθηκε έλξη μετακινήσεων και άρα πραγματοποιήθηκαν διελεύσεις οχημάτων.

Πίνακας 5.19 : Ετήσιος Αριθμός Διελεύσεων ανά Σημείο Ελέγχου

Σημείο Ελέγχου	2004				2005			
	Δίκυκλα	Επιβατικά	Φορτηγά	Λεωφορεία	Δίκυκλα	Επιβατικά	Φορτηγά	Λεωφορεία
1	53.160	5.603.985	106.525	54.518	49.907	5.739.278	75.468	47.307
2	23.948	1.806.494	169.897	116.016	23.415	1.950.433	131.622	104.326
3	46.115	2.124.867	140.713	115.267	43.078	2.297.362	140.451	113.911
4	9.645	845.265	72.123	136.913	6.721	747.992	70.851	120.768
6	12.727	1.094.228	64.797	71.811	13.996	1.389.027	69.898	70.184
16	-	-	-	-	10.384	1.209.734	21.992	1.974
19	-	-	-	-	27.212	2.000.636	175.429	174.404
20	-	-	-	-	12.478	1.091.833	43.815	178.394
21	-	-	-	-	2.900	984.329	38.907	294
23	-	-	-	-	20.168	1.139.951	168.417	167.126
24	-	-	-	-	5.087	646.330	38.602	12.354
25	-	-	-	-	9.828	457.129	107.814	150.486

- Στον πίνακα 5.20 συνοψίζονται τα τελικά αποτελέσματα των υπολογισμών των διελεύσεων από τις θέσεις μέτρησης, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των τιμών των εκπεμπόμενων ρύπων.

Πίνακας 5.20 : Ετήσιος Αριθμός Διελεύσεων στις Κρίσιμες Διατομές Ελέγχου

Σημείο Ελέγχου	2004				2005			
	Δίκυκλα	Επιβατικά	Φορτηγά	Λεωφορεία	Δίκυκλα	Επιβατικά	Φορτηγά	Λεωφορεία
1	53.160	5.603.985	106.525	54.518	49.907	5.739.278	75.468	47.307
4	5.787	507.159	43.274	82.148	4.032	448.795	42.510	72.461
16	6.452	689.043	18.108	1.327	10.384	1.209.734	21.992	1.974
23	21.482	1.113.078	237.726	192.604	20.168	1.139.951	168.417	167.126

- Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η μέτρηση των διανυόμενων αποστάσεων, για κάθε ένα από τα τέσσερα σημεία προορισμού των οχημάτων. Οι μετρήσεις έγιναν με χρήση κλιμακόμετρου επί χαρτών, τους οποίους μας είχε προμηθεύσει το τμήμα σχεδιασμού του αεροδρομίου. Κάθε ένα από τα τέσσερα επικρατέστερα ταξίδια των οχημάτων προς τον αερολιμένα, χωρίστηκε σε ενδιάμεσα τμήματα, σύμφωνα με τη μέση ταχύτητα ταξιδιού του εκάστοτε τμήματος. Για κάθε μία εκ των τεσσάρων διαδρομών έπρεπε να ληφθεί ένα σημείο έναρξης του ταξιδιού. Καθώς οι εκπομπές των οχημάτων επιβαρύνουν την ατμόσφαιρα της ευρύτερης περιοχής ακόμα και προτού τα οχήματα φτάσουν στον αερολιμένα, θεωρήσαμε ότι το σημείο αφετηρίας έπρεπε να βρίσκεται εκτός της ιδιοκτησίας του αερολιμένα, σε τέτοια όμως απόσταση που να δικαιολογείται η καταγραφή των εκπομπών στο μητρώο του αεροδρομίου. Ως καταλληλότερο σημείο έναρξης της απογραφής κρίθηκε ο τελευταίος κόμβος της Αττικής Οδού (κόμβος «Αεροδρόμιο») πριν τον αερολιμένα, αφού δε βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το αεροδρόμιο (περίπου δύο χιλιόμετρα) και επιπλέον τα οχήματα που διέρχονται από αυτό τον κόμβο έχουν ως μοναδικό σημείο προορισμού το αεροδρόμιο (βλέπε εικόνα 5.4).



**Εικόνα 5.4 : Σημείο Έναρξης της Απογραφής Ρύπων από τα Μέσα Μετακίνησης
(Πηγή: Google Earth)**

- Κάθε διαδρομή χωρίστηκε σε τέσσερα τμήματα. Το πρώτο και το τελευταίο αφορούν στην κίνηση των οχημάτων, κατά τη μετάβαση και την επιστροφή αντίστοιχα, στο τμήμα της Αττικής Οδού, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλές ταχύτητες. Το δεύτερο και το τρίτο τμήμα περιέχουν την κίνηση των οχημάτων εντός της ιδιοκτησίας του αερολιμένα (σε μετάβαση και επιστροφή), όπου η ταχύτητα κίνησης ποικίλλει ανά περίπτωση αλλά συνήθως βρίσκεται σε

χαμηλά επίπεδα. Στον πίνακα 5.21 αναγράφονται οι διανυόμενες αποστάσεις ανά τμήμα για κάθε ξεχωριστή διαδρομή.

Πίνακας 5.21 : Αποστάσεις Ταξιδιού ανά Διαδρομή (σε μέτρα)

Σημείο Προορισμού	Μετάβαση		Επιστροφή	
	Κόμβος "Αεροδρόμιο" - Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα	Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα - Σημείο Προορισμού	Σημείο Προορισμού - Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα	Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα - Κόμβος "Αεροδρόμιο"
Επιβατικός Αεροσταθμός	2.200	3.175	3.175	2.200
Κτίρια Διοίκησης	2.200	550	925	2.200
Εμπορικό Πάρκο	2.200	1.050	675	2.200
Εμπορευματικός Αεροσταθμός	2.200	1.000	1.375	2.200

- Για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας διαδρομής σε κάθε ένα από τα τμήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, αναζητήθηκαν καταγεγραμμένα στοιχεία από το τμήμα σχεδιασμού του αεροδρομίου. Τα διαθέσιμα στοιχεία αφορούσαν τις διατομές 1, 2, 16 και 23 και μας δόθηκαν με τη μορφή γραφημάτων και πινάκων (βλέπε πίνακα 5.22). Τα στοιχεία που αναγράφονται στον πίνακα 5.22 προκύπτουν από καταγραφές των εγκατεστημένων μετρητικών διατάξεων (φωρατών) και αναφέρονται στο σύνολο των διελεύσεων, χωρίς να γίνεται διάκριση ανά κατηγορία οχήματος. Επομένως και οι μέσες τιμές ταχυτήτων που υπολογίστηκαν, χρησιμοποιήθηκαν για το σύνολο των οχημάτων.

Πίνακας 5.22 : Δείγμα Ληφθέντων Δεδομένων από τη Διατομή 2 για τις Ταχύτητες των Οχημάτων

Ταχύτητα (km/h)	Συχνότητα	Αθροιστική Συχνότητα
0	0,00%	0,00%
20	0,03%	0,03%
40	0,32%	0,35%
60	4,60%	4,95%
80	35,29%	40,24%
100	43,91%	84,15%
120	14,38%	98,53%
200	1,47%	100,00%

- Οι τιμές συχνοτήτων του ανωτέρω πίνακα δεν αντιστοιχούν ευθέως στις τιμές ταχυτήτων της πρώτης στήλης. Αφορούν στις κλάσεις ταχυτήτων που ορίζονται από τις τιμές της πρώτης στήλης και όχι στις τιμές καθαντές. Για παράδειγμα, το ποσοστό 1,47% που αντιστοιχεί στην ταχύτητα των διακοσίων χιλιομέτρων ανά ώρα χαρακτηρίζει τις κινήσεις που καταγράφηκαν στη συγκεκριμένη διατομή με ταχύτητες από εκατόν είκοσι έως διακόσια χιλιόμετρα ανά ώρα.

- Για κάθε μία από τις τέσσερις διατομές εξήχθη ο σταθμισμένος μέσος όρος ταχυτήτων έπειτα από υπολογισμούς με τις μέσες τιμές των διαμορφωμένων κλάσεων. Μετά από λεπτομερή εξέταση των τμημάτων των τεσσάρων επικρατέστερων διαδρομών και με τη βοήθεια των μέσων ταχυτήτων που υπολογίστηκαν στις τέσσερις διατομές, ορίστηκαν κατά προσέγγιση οι μέσες ταχύτητες των τμημάτων. Στις προσεγγίσεις που πραγματοποιήθηκαν λήφθηκαν υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οδών (πλάτος οδού, ανωφέρεια ή κατωφέρεια, κλίση), του περιβάλλοντος χώρου (διατάξεις περιορισμού ταχύτητας, σημεία ελέγχου οχημάτων, διασταυρώσεις, σήμανση) καθώς και τα στοιχεία των φόρτων. Έτσι, μετά από προσωπική κρίση χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που αναγράφονται στον πίνακα 5.23.

Πίνακας 5.23 : Τιμές Ταχυτήτων ανά Τμήμα Διαδρομής (σε χιλιόμετρα/ώρα)

Σημείο Προορισμού	Μετάβαση		Επιστροφή	
	Κόμβος "Αεροδρόμιο" - Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα	Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα - Σημείο Προορισμού	Σημείο Προορισμού - Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα	Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα - Κόμβος "Αεροδρόμιο"
Επιβατικός Αεροσταθμός	119	90	90	119
Κτίρια Διοίκησης	119	50	50	119
Εμπορικό Πάρκο	119	50	50	119
Εμπορευματικός Αεροσταθμός	119	50	50	119

- Η διαδικασία συλλογής στοιχείων για τον υπολογισμό των εκπομπών από τα οχήματα επί των οδών ολοκληρώθηκε με την εύρεση των κατάλληλων δεικτών εκπομπών. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν προέκυψαν από τον Βρετανικό Εθνικό Κατάλογο Απογραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών (Vehicle Emission Factor Database v02.8.xls). Η βάση δεδομένων των δεικτών εκπομπών έχει ξεχωριστή αναφορά σε κάθε ρύπο. Όπως παρουσιάζεται ενδεικτικά στον πίνακα 5.25, για κάθε εκπεμπόμενο ρύπο από την κίνηση οχημάτων οι δείκτες εκπομπών προκύπτουν από την αναγραφόμενη εξίσωση και μεταβάλλονται για κάθε διαφορετική τιμή της ταχύτητας του οχήματος. Στο συγκεκριμένο μητρώο οι δείκτες εκπομπών ταξινομούνται ανά κατηγορία οχήματος (επιβατικά, λεωφορεία, φορτηγά, δίκυκλα, πετρελαιοκίνητα, βενζινοκίνητα) και ανά παλαιότητα μοντέλου. Το χαρακτηριστικό αυτό ορίζεται από τις ευρωπαϊκές οδηγίες στις οποίες υπάγεται το εκάστοτε όχημα, σύμφωνα με τη χρονολογία παραγωγής του συγκεκριμένου μοντέλου. Συγκεκριμένα οι δείκτες εκπομπών των επιβατικών αυτοκινήτων και των δίκυκλων διακρίνονται περαιτέρω ανά χωρητικότητα καυσίμων του κινητήρα, ενώ οι δείκτες των φορτηγών κατηγοριοποιούνται για τα μονοκόμματα και τα αρθρωτά φορτηγά οχήματα. Όλοι οι δείκτες εκπομπών του μητρώου είναι εκφρασμένοι σε γραμμάρια ρύπου ανά χιλιόμετρο ταξιδιού.

- Για κάθε ρύπο, υπολογίστηκαν οι δείκτες εκπομπών που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία οχήματος ξεχωριστά (δίκυκλα, επιβατικά αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία) για τις τιμές ταχυτήτων που προσδιορίζουν κάθε οδικό τμήμα. Για τα δίκυκλα λήφθηκε ο μέσος δείκτης εκπομπών των μοτοσικλετών που παρήχθησαν πριν το έτος 2000 και αυτών που πληρούν τις επιταγές της κοινοτικής οδηγίας 97/24/EC, ενώ επιλέχθηκε μετά από επανειλημμένες παρατηρήσεις η κατηγορία των διακοσίων πενήντα έως εφτακοσίων πενήντα κυβικών εκατοστών, ως η πιο αντιπροσωπευτική. Για τα επιβατικά αυτοκίνητα χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που αντιστοιχούν στα βενζινοκίνητα οχήματα από χίλια τετρακόσια έως δύο χιλιάδες κυβικά εκατοστά, τα οποία πληρούν τις προϋποθέσεις του ευρωπαϊκού προτύπου Euro III. Οι δείκτες εκπομπών των φορτηγών αποτελούν τις μέσες τιμές των δεικτών που αντιστοιχούν σε μονοκόμματα και αρθρωτά φορτηγά που υπάγονται στο πρότυπο Euro III. Τέλος, τα λεωφορεία που περιλαμβάνονται στο πρότυπο Euro III, θεωρήθηκαν τα πιο αντιπροσωπευτικά όσον αφορά στους δείκτες εκπομπών. Ενδεικτικά, παρατίθεται ο πίνακας 5.24 που περιέχει τους δείκτες εκπομπών οξειδίων του αζώτου από τα επιβατικά αυτοκίνητα που προαναφέρθηκαν (βενζινοκίνητα, 1400cc-2000cc, Euro III), ανά τμήμα διαδρομής με συγκεκριμένη μέση ταχύτητα.

Πίνακας 5.24 : Ενδεικτικός Πίνακας Εκπομπών NO_x από τα Επιβατικά Αυτοκίνητα ανά Τμήμα Διαδρομής (σε γραμμάρια ανά χιλιόμετρο)

Σημείο Προορισμού	Μετάβαση		Επιστροφή	
	Κόμβος "Αεροδρόμιο" - Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα	Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα - Σημείο Προορισμού	Σημείο Προορισμού - Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα	Όριο Ιδιοκτησίας Αερολιμένα - Κόμβος "Αεροδρόμιο"
Επιβατικός Αεροσταθμός	0,385	0,268	0,268	0,385
Κτίρια Διοίκησης	0,385	0,196	0,196	0,385
Εμπορικό Πάρκο	0,385	0,196	0,196	0,385
Εμπορευματικός Αεροσταθμός	0,385	0,196	0,196	0,385

Πίνακας 5.25 : Δείγμα του Βρετανικού Καταλόγου Δεικτών Εκπομπών Οχημάτων

CO Emission Factor - Speed Coefficients			Based on review and assessment of new factors for Euro I and II vehicles given in TRL Database of Emission Factors, September 2001 (Barlow, Hickman and Boulter) and reconsideration of scaling factors for Euro III, IV vehicles by NETCEN											Emission Function	
			EF(g/km) = (a + b.v + c.v ² + d.v ^e + f.ln(v) + g.v ³ + h/v + i/v ² + j/v ³).x											Test Speed/kph	
			v is speed in kph												
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	x	40	
Petrol car	Pre- ECE	< 1.4 l	13,6	-0,169	0	0	0	0	9,26E-06	158	0	0	2,62	29,795	
		1.4 - 2.0 l	9,53	-0,118	0	0	0	0	6,2E-06	179	0	0	2,62	25,343	
		> 2.0 l	9,71	-0,243	0,0018	0	0	0	0	244	0	0	2,62	23,480	
	ECE 15.00	< 1.4 l	13,6	-0,169	0	0	0	0	9,26E-06	158	0	0	1,87	21,249	
		1.4 - 2.0 l	9,53	-0,118	0	0	0	0	6,2E-06	179	0	0	1,87	18,073	
		> 2.0 l	9,71	-0,243	0,0018	0	0	0	0	244	0	0	1,87	16,745	
	ECE 15.01	< 1.4 l	13,6	-0,169	0	0	0	0	9,26E-06	158	0	0	1,87	21,249	
		1.4 - 2.0 l	9,53	-0,118	0	0	0	0	6,2E-06	179	0	0	1,87	18,073	
		> 2.0 l	9,71	-0,243	0,0018	0	0	0	0	244	0	0	1,87	16,745	
	ECE 15.02	< 1.4 l	13,6	-0,169	0	0	0	0	9,26E-06	158	0	0	1,55	17,613	
		1.4 - 2.0 l	9,53	-0,118	0	0	0	0	6,2E-06	179	0	0	1,55	14,981	
		> 2.0 l	9,71	-0,243	0,0018	0	0	0	0	244	0	0	1,55	13,880	
	ECE 15.03	< 1.4 l	13,6	-0,169	0	0	0	0	9,26E-06	158	0	0	1,62	18,487	
		1.4 - 2.0 l	9,53	-0,118	0	0	0	0	6,2E-06	179	0	0	1,62	15,725	
		> 2.0 l	9,71	-0,243	0,0018	0	0	0	0	244	0	0	1,62	14,569	
	ECE 15.04	< 1.4 l	13,6	-0,169	0	0	0	0	9,26E-06	158	0	0	1	11,383	
		1.4 - 2.0 l	9,53	-0,118	0	0	0	0	6,2E-06	179	0	0	1	9,682	
		> 2.0 l	9,71	-0,243	0,0018	0	0	0	0	244	0	0	1	8,970	

- Έχοντας αποκτήσει και τους κατάλληλους δείκτες εκπομπών μπορούσαμε πλέον να υπολογίσουμε τις εκπομπές ρύπων των οχημάτων. Απλοποιητικά, ο υπολογισμός των εκπομπών μπορεί να περιγραφεί ως ο πολλαπλασιασμός του αριθμού των διελεύσεων μίας κατηγορίας οχημάτων επί τη διανυόμενη απόσταση και επί το δείκτη εκπομπών που αντιστοιχεί στη μέση ταχύτητα με την οποία το όχημα διατρέχει τη συγκεκριμένη απόσταση. Η μαθηματική σχέση 5.5 παρουσιάζει αυτή τη διαδικασία για κάθε ρύπο και κάθε κατηγορία οχήματος ανά σημείο προορισμού:

$$E_{iz} = T_z \times \Sigma (D_r \times EI_{isr}) / 1000 \quad (\text{σχέση 5.5})$$

Όπου : E_{iz} - εκπομπές (Emissions) του ρύπου i , σε γραμμάρια, λόγω κίνησης των οχημάτων της κατηγορίας z προς το δεδομένο σημείο προορισμού

EI_{isr} - δείκτης εκπομπών (Emission Index) για τον ρύπο i , σε γραμμάρια ανά χιλιόμετρο, που αντιστοιχεί σε ταχύτητα s οχήματος κατηγορίας z για τη διαδρομή r

T_z - αριθμός διελεύσεων (vehicle Trips) των οχημάτων της κατηγορίας z προς το δεδομένο σημείο προορισμού

D_r - απόσταση ταξιδιού (Distance travelled), σε μέτρα, της διαδρομής r

i - είδος ρύπου (NO_x, CO, HCs)

s - μέση ταχύτητα ταξιδιού (vehicle Speed), σε χιλιόμετρα ανά ώρα

z - κατηγορία οχήματος (δίκυκλα, επιβατικά αυτοκίνητα, φορτηγά, λεωφορεία)

r - διαδρομή ταξιδιού (Route)

1000 - σταθερός συντελεστής μετατροπής των μέτρων σε χιλιόμετρα

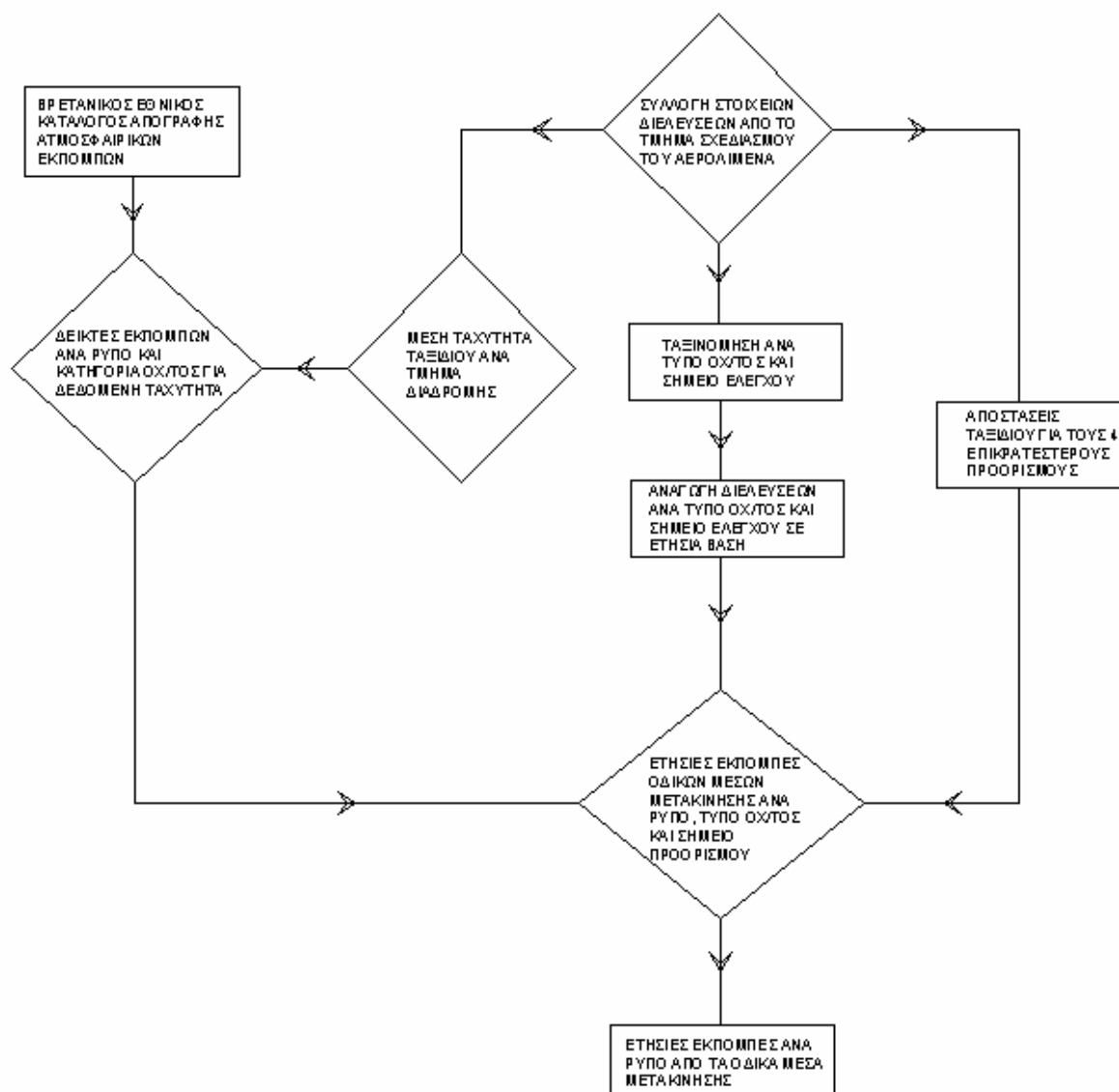
- Στο τέλος, οι εκπομπές ανά ρύπο κάθε κατηγορίας οχήματος αθροίστηκαν για τα τέσσερα επιλεγμένα σημεία προορισμού και έπειτα για όλες τις κατηγορίες οχημάτων, καταλήγοντας στις τελικές τιμές εκπομπών ανά ρύπο από τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων (βλέπε πίνακα 5.26) πλην των οχημάτων σταθερής τροχιάς.

Πίνακας 5.26 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων λόγω Κίνησης των Οδικών Μέσων Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (σε τόνους)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO_x	52,5	48,1
CO	58,8	59,6
HC	6,2	5,7

Στο γράφημα 5.7 συνοψίζεται η διαδικασία υπολογισμού των ετήσιων εκπομπών από τα μέσα μετακίνησης με τη μορφή διαγράμματος ροής, ώστε να γίνει ευκολότερα κατανοητή.

Γράφημα 5.7 : Διάγραμμα Ροής της Διαδικασίας Υπολογισμού των Ετήσιων Εκπομπών λόγω Κίνησης των Οδικών Μέσων Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων



Τα μέσα σταθερής τροχιάς που εξυπηρετούν τις μετακινήσεις προς και από τον ΔΑΑ, είναι ο ηλεκτρικός σιδηρόδρομος (μετρό) και ο προαστιακός σιδηρόδρομος (εικόνα 5.8). Οι συρμοί του μετρό κινούνται με τη βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας που παρέχεται στο σύστημα από το δίκτυο ηλεκτροδότησης. Δεν καταναλώνουν ενέργεια μέσω αντιδράσεων καύσης και ως εκ τούτου δεν εκλύουν ρύπους, έμμεσους ή άμεσους, στην ατμόσφαιρα. Από την άλλη, οι συρμοί του προαστιακού σιδηροδρόμου λειτουργούν με πετρελαιοκινητήρες, οι οποίοι απελευθερώνουν ποσότητες ρύπων.



Εικόνα 5.5 : Συρμός του Προαστιακού Σιδηροδρόμου στο Σταθμό του ΔΑΑ
(Πηγή: www.aia.gr)

Η εκτίμηση των εκπομπών από τη λειτουργία του προαστιακού σιδηροδρόμου κατά τα έτη 2004 και 2005 δε διαφέρει μεθοδολογικά από τον υπολογισμό των εκπομπών των υπόλοιπων οχημάτων. Η πλήρης διαδικασία εκτίμησης παρατίθεται στη συνέχεια.

- Η διαχείριση και η λειτουργία του προαστιακού σιδηροδρόμου ανήκουν στον Οργανισμό Σιδηροδρόμων Ελλάδος (ΟΣΕ). Παρά το γεγονός ότι ένας πολύ σημαντικός τερματικός σταθμός του προαστιακού είναι ο ΔΑΑ, η διεύθυνση του αερολιμένα δεν είναι αρμόδια για τη λειτουργία του και επομένως η αναζήτηση των απαραίτητων στοιχείων στράφηκε στο αντίστοιχο τμήμα του ΟΣΕ.
- Αρχικά αναζητήθηκαν τα δρομολόγια που πραγματοποιήθηκαν προς και από το αεροδρόμιο κατά τα έτη λειτουργίας 2004 και 2005. Υπολογίστηκαν πολλαπλασιάζοντας τις ημέρες λειτουργίας ετησίως με τον ημερήσιο αριθμό δρομολογίων προς και από τον αερολιμένα.
- Έπειτα, έπρεπε να υπολογιστούν οι συνολικές ώρες λειτουργίας ετησίως, κατά τις οποίες παράχθηκαν εκπομπές ρύπων. Στην παρούσα έρευνα μας αφορούν μονάχα οι εκπομπές που επηρεάζουν την ατμόσφαιρα στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου. Έτσι, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν μόνο οι ώρες λειτουργίας του προαστιακού στο τμήμα εκείνο της διαδρομής προς το αεροδρόμιο, το οποίο θεωρούμε ότι επηρεάζει τον αέρα της περιοχής γύρω από τον αερολιμένα. Καθορίστηκε ως όριο έναρξης της εξεταζόμενης περιοχής ο τελευταίος σταθμός του προαστιακού πριν τον αερολιμένα, δηλαδή ο σταθμός του Κορωπίου.
- Από την υπηρεσία του ΟΣΕ που είναι αρμόδια για τα δρομολόγια των συρμών, λάβαμε την πληροφορία ότι ο μέσος χρόνος ταξιδιού για τη ζητούμενη απόσταση είναι ίδιος κατά τη μετάβαση και την επιστροφή και είναι ίσος με πέντε λεπτά. Πολλαπλασιάζοντας με τον ετήσιο αριθμό διελεύσεων, που προέκυψε από τα δρομολόγια, υπολογίστηκε ο χρόνος λειτουργίας

των συρμών στο εξεταζόμενο τμήμα της διαδρομής (βλέπε πίνακα 5.27). Στη συνέχεια ο χρόνος αυτός ανάχθηκε σε ώρες.

Πίνακας 5.27 : Δεδομένα Λειτουργίας του Προαστιακού Σιδηροδρόμου για τη Διαδρομή Σταθμός Κορωπίου - Αεροδρόμιο

Έτος	2004	2005
Αριθμός Διελεύσεων	35.200	52.714
Χρόνος Χρήσης (min)	176.000	263.570
Χρόνος Χρήσης (h)	2.933	4.393
Καταναλισκόμενη Ισχύς (KWh)	918.133	1.374.957

- Για να βρεθεί η συνολική καταναλισκόμενη ισχύς ετησίως έπρεπε να γνωρίζουμε πέρα από τις ώρες λειτουργίας των συρμών, τη μέση καταναλισκόμενη ενέργεια για το τμήμα της διαδρομής που μας ενδιέφερε. Με τη βοήθεια του προσωπικού του ΟΣΕ υπολογίστηκε από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή των κινητήρων του προαστιακού η μέση ενέργεια λειτουργίας για τη ζητούμενη διαδρομή και βρέθηκε ίση με 313 KW. Η συνολική ετήσια καταναλισκόμενη ισχύς προέκυψε πολλαπλασιάζοντας την παραπάνω τιμή με τις ώρες λειτουργίας των συρμών ετησίως στη ζητούμενη διαδρομή (πίνακας 5.27).
- Οι δείκτες εκπομπών των κινητήρων του προαστιακού βρέθηκαν μετά από επικοινωνία με τον εκπρόσωπο της κατασκευάστριας εταιρίας στην Ελλάδα, καθώς δεν περιέχονταν στο εγχειρίδιο του κατασκευαστή. Οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται στη ζητούμενη διαδρομή εκπέμπουν 4 γραμμάρια CO, 7 γραμμάρια NOx και 1,1 γραμμάρια HCs ανά κιλοβατώρα καταναλισκόμενης ισχύος.
- Με πολλαπλασιασμό των δεικτών εκπομπών για κάθε ρύπο επί την ετήσια καταναλισκόμενη ισχύ, προέκυψαν οι ατμοσφαιρικές εκπομπές του προαστιακού σιδηροδρόμου στη ζητούμενη διαδρομή για τα έτη 2004 και 2005. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.28.

Πίνακας 5.28 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Μέσα Σταθερής Τροχιάς (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NOx	6,4	9,6
CO	3,7	5,5
HC	1,0	1,5

5.5.2 Εκπομπές λόγω στάσης και στάθμευσης στον αερολιμένα

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 4, η διαδικασία της στάθμευσης έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση ρύπων στην ατμόσφαιρα με τον ίδιο τρόπο περίπου που το προκαλεί και η κίνηση του οχήματος επί των οδών. Αυτό συμβαίνει εφόσον και στις δύο περιπτώσεις ο κινητήρας του οχήματος λειτουργεί πραγματοποιώντας κάποιες καύσεις. Βέβαια, στην περίπτωση της στάθμευσης οι ταχύτητες κίνησης του οχήματος είναι πολύ μικρότερες από αυτές που συναντάμε κατά την κίνησή του.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών λόγω καύσεων που πραγματοποιούν τα οχήματα κατά τη στάθμευσή τους δεν πρέπει να διαφέρει σημαντικά από αυτή που ακολουθήσαμε στην παράγραφο 5.5.1 για την εκτίμηση των εκπομπών από την κίνηση των οχημάτων. Στη συνέχεια περιγράφεται λεπτομερώς η διαδικασία εκτίμησης των εκπομπών αυτών από τα οχήματα που στάθμευσαν στον ΔΑΑ κατά τα έτη λειτουργίας 2004 και 2005:

- Αρχικός στόχος μας ήταν η εύρεση των ετήσιων στοιχείων στάθμευσης στους χώρους στάθμευσης του αερολιμένα. Μετά από επικοινωνία με το αρμόδιο τμήμα της διεύθυνσης του αερολιμένα, λάβαμε τα μηνιαία στοιχεία στάθμευσης για τα έτη 2004 και 2005 (βλέπε πίνακες 5.29 και 5.30), τα οποία όμως αφορούσαν στους χώρους στάθμευσης μόνο των επιβατών και των επισκεπτών. Τα στοιχεία αυτά ήταν εύκολο να συγκεντρωθούν, καθώς στους συγκεκριμένους χώρους στάθμευσης λειτουργεί αυτόματο σύστημα καταγραφής και χρέωσης των οχημάτων, οπότε απλά λήφθηκαν από το αντίστοιχο αρχείο δεδομένων.

Πίνακες 5.29 & 5.30 : Στοιχεία Στάθμευσης Επιβατών και Επισκεπτών

2004	P1	P2	P3
Jan	56.637	22.059	22.323
Feb	40.856	18.026	26.522
Mar	56.984	24.357	30.280
Apr	60.352	28.038	28.048
May	57.777	26.214	35.570
Jun	67.595	28.976	36.864
Jul	85.647	34.416	34.376
Aug	102.272	47.957	22.319
Sep	83.270	39.498	30.487
Oct	60.909	27.550	32.000
Nov	49.736	22.395	30.206
Dec	64.643	28.775	27.750

2005	P1	P2	P3
Jan	61.107	26.104	25.447
Feb	44.272	18.943	27.021
Mar	55.623	23.549	33.105
Apr	60.450	25.338	29.989
May	61.779	26.563	33.221
Jun	64.889	27.105	33.337
Jul	81.338	32.397	28.794
Aug	75.491	34.689	18.010
Sep	69.287	29.010	29.413
Oct	59.729	24.231	31.551
Nov	50.368	21.051	29.852
Dec	67.591	28.179	26.887

Παρατήρηση: Οι χώροι στάθμευσης P1 και P2 είναι μικρής διάρκειας, ενώ ο χώρος στάθμευσης P3 είναι μακράς διάρκειας.



Εικόνα 5.6 : Χώρος Στάθμευσης Μακράς Διάρκειας του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών
(Πηγή: www.aia.gr)

- Αντιθέτως, οι χώροι στάθμευσης των εργαζομένων δεν παρακολουθούνται από παρόμοια συστήματα, οπότε ήταν αδύνατο να προμηθευτούμε τις απαραίτητες πληροφορίες με αντίστοιχο τρόπο. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ετήσια στάθμευση οχημάτων των εργαζομένων, χρησιμοποιήσαμε τα αποτελέσματα μίας έρευνας που είχε διεξαχθεί μεταξύ των υπαλλήλων της διεύθυνσης του αερολιμένα. Στην έρευνα αυτή όλοι οι εργαζόμενοι στη διεύθυνση του αεροδρομίου συμπλήρωσαν τυποποιημένα ερωτηματολόγια που αφορούσαν στην πρόσβασή τους στον αερολιμένα και στη στάθμευση των ιδιωτικών τους μέσων, εάν διέθεταν. Από την έρευνα αυτή πληροφορηθήκαμε πόσα οχήματα εργαζομένων σταθμεύουν στους χώρους στάθμευσης της διεύθυνσης ημερησίως και μάλιστα σε ποιους χώρους συγκεκριμένα. Βέβαια, έτσι καταφέραμε να συγκεντρώσουμε στοιχεία μόνο για τους εργαζόμενους της διεύθυνσης και όχι για όσους εργάζονται σε τρίτες εταιρίες εντός της ιδιοκτησίας του αεροδρομίου (όπως για παράδειγμα οι υπάλληλοι των αερομεταφορέων, της Ολυμπιακής Αεροπορίας, κ.λ.π.), οι οποίοι είναι αρκετοί σε αριθμό.
- Ενώ όμως, για τους επιβάτες και επισκέπτες γνωρίζουμε ακριβώς τις ετήσιες κινήσεις που πραγματοποιούνται στον αερολιμένα με σκοπό τη στάθμευση, για τους εργαζόμενους διαθέτουμε μόνο μέσες ημερήσιες τιμές, ως αποτέλεσμα της παραπάνω έρευνας. Οι τιμές αυτές ανάχθηκαν σε ετήσιες πολλαπλασιάζοντάς τις επί τις διακόσιες σαράντα εργάσιμες ημέρες του έτους (52 εβδομάδες x 5 εργάσιμες ημέρες/εβδομάδα – 20 εργάσιμες ημέρες λόγω άδειας = 240 ημέρες προσέλευσης στο αεροδρόμιο ετησίως). Τα διαθέσιμα στοιχεία για τα οχήματα που στάθμευσαν στον αερολιμένα κατά τα έτη ενδιαφέροντος, παρατίθενται στον πίνακα 5.31.

Πίνακας 5.31 : Οχήματα που Στάθμευσαν στον Αερολιμένα κατά τα Έτη 2004 και 2005

Χώρος Στάθμευσης	2004	2005
P1	786.678	751.924
P2	348.261	317.159
P3	356.745	346.627
Κτίρια Διοίκησης	64.320	64.320
Εμπορευματικός Αεροσταθμός	39.840	39.840
Άλλα	1.920	1.920

- Στην εκτίμηση των εκπομπών από τη στάθμευση των οχημάτων, δε λήφθηκε υπόψη η στάθμευση λεωφορείων, φορτηγών και δικύκλων, λόγω έλλειψης πληροφοριών. Έτσι, θεωρούμε ότι τα οχήματα που στάθμευσαν στον αερολιμένα είναι επιβατικά αυτοκίνητα και καθώς δε γνωρίζουμε περισσότερα για τη διαφοροποίησή τους, υποθέτουμε προσεγγιστικά ότι ανήκουν στην ίδια κατηγορία εκπομπών. Η υπόθεση αυτή δεν απέχει σημαντικά από την πραγματικότητα καθώς η σημαντική πλειοψηφία των οχημάτων που σταθμεύουν στο αεροδρόμιο είναι επιβατικά αυτοκίνητα.
- Σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση 5.5, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπομπών λόγω καύσης και άρα μπορεί να εφαρμοστεί και εδώ, απαιτείται η γνώση του πλήθους των κινήσεων που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη στάθμευση και των αποστάσεων που διανύθηκαν από την είσοδο του εκάστοτε οχήματος στο χώρο στάθμευσης μέχρι την ακινητοποίησή του στη συγκεκριμένη θέση όπου στάθμευσε. Τέλος, πρέπει να γνωρίζουμε και τους δείκτες εκπομπών που αντιστοιχούν στις ταχύτητες στάθμευσης.
- Όντας αδύνατη η ακριβής γνώση των διανυόμενων αποστάσεων εντός των χώρων στάθμευσης από τα οχήματα που στάθμευσαν, επιχειρήθηκε μία προσεγγιστική αποτύπωση της πραγματικότητας με τη χρήση μέσων τιμών. Για να βρεθούν οι τιμές αυτές, προμηθευτήκαμε λεπτομερείς χάρτες όλων των χώρων στάθμευσης του αεροδρομίου. Μετά από μελέτη των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των χώρων αυτών, υπολογίστηκαν οι μέσες αποστάσεις που θα χρειαζόταν να διανύσει ένα όχημα σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να σταθμεύσει (πίν. 5.32).

Πίνακας 5.32 : Μέση Διανύομενη Απόσταση για τη Στάθμευση Οχήματος (σε m)

Χώρος Στάθμευσης	Μέση Διανυόμενη Απόσταση
P1	200
P2	194
P3	440
Κτίρια Διοίκησης	200
Εμπορευματικός Αεροσταθμός	120
Άλλα	160

- Έχοντας επιλέξει μία συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων (επιβατικά αυτοκίνητα) για τους υπολογισμούς των εκπομπών στάθμευσης, η εύρεση των κατάλληλων δεικτών εκπομπών αποδείχτηκε απλή διαδικασία. Αφού συμβουλευτήκαμε τον Βρετανικό Εθνικό Κατάλογο Απογραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών, όπως είχαμε πράξει νωρίτερα για την εκτίμηση των εκπομπών κίνησης των μέσων, βρήκαμε τις τιμές των δεικτών εκπομπών που αντιστοιχούν στην ταχύτητα στάθμευσης. Ως αντιπροσωπευτική τιμή ταχύτητας στάθμευσης ορίσαμε τα δεκαπέντε χιλιόμετρα ανά ώρα, καθώς η μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα στους οργανωμένους χώρους στάθμευσης είναι είκοσι χιλιόμετρα ανά ώρα, σύμφωνα με την αρμόδια υπηρεσία της διεύθυνσης του αερολιμένα. Επίσης, θεωρήσαμε ως αντιπροσωπευτικό τύπο επιβατικού οχήματος το βενζινοκίνητο όχημα, χωρητικότητας κινητήρα χιλίων τετρακοσίων έως δύο χιλιάδων κυβικών εκατοστών, το οποίο υπάγεται στο πρότυπο Euro III.
- Πολλαπλασιάζοντας το πλήθος των κινήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε χώρο στάθμευσης με το διπλάσιο της μέσης απόστασης που διένυσαν τα οχήματα (για τη μετάβαση και την επιστροφή), προέκυψαν οι ετήσιες αποστάσεις που διανύθηκαν με σκοπό τη στάθμευση ανά χώρο στάθμευσης. Αθροίζοντας τις τιμές αυτές, υπολογίσαμε τα συνολικά χιλιόμετρα που διανύθηκαν από οχήματα ετησίως με σκοπό τη στάθμευση. Τέλος, πολλαπλασιάσαμε τα ετήσια οχηματοχιλιόμετρα με τον κατάλληλο δείκτη εκπομπών και εκτιμήσαμε τις συνολικές ετήσιες εκπομπές του αερολιμένα λόγω στάθμευσης (πίνακας 5.33). Οι παραπάνω υπολογισμοί συνοψίζονται στη μαθηματική σχέση 5.5 της προηγούμενης παραγράφου.

Πίνακας 5.33 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων λόγω Στάθμευσης των Οδικών Μέσων Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (τόνοι/έτος)

Πίνακας Εκπομπών Ρύπων (Τόνοι/Έτος)		
Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	0,1	0,1
CO	0,8	0,7
HC	0,1	0,1

Στην παράγραφο αυτή δεν έγινε αναφορά ούτε υπολογισμός των ρύπων λόγω στάσης των οχημάτων στον αερολιμένα. Οι εκπομπές αυτές παραλείφθηκαν από το μητρώο λόγω έλλειψης στοιχείων, εφόσον δεν τηρείται κάποιο αρχείο καταγραφής οχημάτων που βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής.

5.5.3 Εκπομπές λόγω εξάτμισης ρύπων από τους κινητήρες των οχημάτων

Οι εκπομπές αυτής της κατηγορίας, σύμφωνα με την παράγραφο 4.2.4.3, μπορούν να υπολογιστούν μόνο με χρήση εξειδικευμένων υπολογιστικών μοντέλων, τα οποία συσχετίζουν

όλες τις απαραίτητες παραμέτρους. Λόγω έλλειψης πληροφοριών γύρω από αυτές τις συνιστώσες, ήταν αδύνατη η εκτίμηση των ρύπων που εκπέμπονται λόγω εξάτμισης από τους κινητήρες και τις δεξαμενές καυσίμων των οχημάτων.

5.5.4 Συνολικές εκπομπές από τα μέσα μετακίνησης

Αθροίζοντας τις ετήσιες εκπομπές όλων των μέσων μετακίνησης λόγω καύσης και εξάτμισης, υπολογίσαμε τις συνολικές ετήσιες εκπομπές ανά ρύπο από τα μέσα μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους πίνακες 5.34, 5.35 και 5.36 εκφρασμένα σε τόνους/έτος, χιλιόγραμμα/αεροπορική κίνηση και γραμμάρια/επιβάτη αντίστοιχα.

Πίνακας 5.34 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Μέσα Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	59,1	57,9
CO	63,2	65,8
HC	7,2	7,3

Πίνακας 5.35 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Μέσα Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (κιλά/αεροπορική κίνηση)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	0,314	0,320
CO	0,336	0,364
HC	0,038	0,040
Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων	188.351	180.734

Πίνακας 5.36 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τα Μέσα Μετακίνησης Επιβατών, Επισκεπτών και Εργαζομένων (γραμμάρια/επιβάτη)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	4,326	4,053
CO	4,628	4,609
HC	0,530	0,509
Αριθμός Επιβατών	13.662.332	14.281.242

5.6 Εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τις σταθερές πηγές

Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται οι επιμέρους διαδικασίες και οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για να εκτιμηθούν οι εκπομπές ρύπων από σταθερές πηγές του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών.

5.6.1 Εκπομπές από τις εγκαταστάσεις θέρμανσης

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 4.2.5.1, για να εκτιμηθούν οι εκπομπές των εγκαταστάσεων θέρμανσης του αερολιμένα, πρέπει να είναι γνωστά τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιμέρους εγκαταστάσεων και να τηρείται αρχείο χρήσης ή κατανάλωσης για κάθε μία εξ' αυτών. Τα στοιχεία αυτά αναζητήθηκαν από τη διεύθυνση του αερολιμένα και από τις τρίτες εταιρίες που λειτουργούν στον ΔΑΑ. Ενώ υπάρχει πλήρες αρχείο με τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε εγκατάστασης, το οποίο προμηθευτήκαμε, δεν τηρείται κάποιο αρχείο χρήσης ή κατανάλωσης, το οποίο θα μας ήταν απαραίτητο για τους υπολογισμούς. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της έλλειψης αυτών των στοιχείων, επιλέξαμε την εφαρμογή διαφορετικής μεθοδολογίας, στην οποία θα χρησιμοποιούσαμε λιγότερο λεπτομερή δεδομένα για τον προσδιορισμό των εκπομπών. Η μεθοδολογία που εφαρμόσαμε παρατίθεται στη συνέχεια:

- Καθώς δεν ήταν δυνατή η εύρεση λεπτομερών στοιχείων, αναζητήθηκε ο ετήσιος συνολικός όγκος καταναλισκόμενων καυσίμων για θέρμανση από τα κτίρια του αεροδρομίου. Μετά από επικοινωνία με το αρμόδιο τμήμα της διεύθυνσης του αερολιμένα, μας παραχωρήθηκαν τα στοιχεία κατανάλωσης καυσίμων ανά κτίριο και ανά έτος για τις εγκαταστάσεις της εταιρίας διαχείρισης του αερολιμένα (με την επωνυμία ΑΙΑ) και των τρίτων εταιριών που λειτουργούν εντός της ιδιοκτησίας του ΔΑΑ. Τα στοιχεία αυτά αθροίστηκαν για όλα τα κτίρια και παρουσιάζονται στον πίνακα 5.37. Πρέπει να αναφέρουμε ότι η μεγάλη πλειοψηφία των καταναλισκόμενων καυσίμων αποτελείται από φυσικό αέριο. Χρησιμοποιείται πετρέλαιο μόνο εφεδρικά σε έκτακτες περιπτώσεις και επομένως δε χρειάζεται να υπολογιστούν οι εκπομπές αυτές, οι οποίες αποτελούν αμελητέο ποσοστό επί του συνόλου.

Πίνακας 5.37 : Ετήσια Κατανάλωση Φυσικού Αερίου στον ΔΑΑ για Θέρμανση (σε κυβικά νιουτόμετρα)

	2001	2002	2003	2004	2005
ΑΙΑ	714.891	1.773.994	1.867.797	2.521.697	2.524.465
Τρίτες Εταιρίες	1.008.054	1.245.723	1.345.546	1.205.535	1.146.008
Σύνολο	1.722.945	3.019.717	3.213.343	3.727.232	3.670.473

- Γνωρίζοντας τα συνολικά στοιχεία κατανάλωσης, χρειαζόμασταν μόνο τους κατάλληλους δείκτες εκπομπών για να υπολογίσουμε τις εκπομπές των εγκαταστάσεων θέρμανσης. Εφόσον μας ήταν άγνωστα τα στοιχεία κατανάλωσης των επιμέρους εγκαταστάσεων, δεν ήταν δυνατό

να προσδιορίσουμε με στάθμιση τα μέσα τεχνικά χαρακτηριστικά των εγκαταστάσεων θέρμανσης και να αντιστοιχίσουμε σε αυτά κάποιους μέσους δείκτες εκπομπών. Ακριβείς δείκτες εκπομπών δε μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε, αφού τα στοιχεία κατανάλωσης που βρίσκονταν στη διάθεσή μας αφορούσαν στο σύνολο των εγκαταστάσεων. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα χρησιμοποιήσαμε δείκτες εκπομπών από τον Βρετανικό Εθνικό Κατάλογο Απογραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών (www.naei.org.uk), οι οποίοι αντιστοιχούν σε σταθερές πηγές καύσης φυσικού αερίου.

- Για να προσδιορίσουμε τις ετήσιες εκπομπές ανά ρύπο πολλαπλασιάσαμε τη συνολική ετήσια κατανάλωση με τον δείκτη εκπομπών κάθε ρύπου. Πρώτα όμως χρειάστηκε η μετατροπή των διαθέσιμων δεδομένων κατανάλωσης σε μονάδες therm στις οποίες ήταν εκφρασμένοι οι δείκτες εκπομπών. Οι τιμές του πίνακα 5.37 μετατράπηκαν αρχικά σε Jouls και στη συνέχεια σε therms με χρήση των κατάλληλων συντελεστών μετατροπής. Οι ετήσιες εκπομπές ρύπων από τις εγκαταστάσεις θέρμανσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.38.

Πίνακας 5.38 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Εγκαταστάσεις Θέρμανσης (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2001	2002	2003	2004	2005
NO_x	5,6	9,8	10,3	12,1	11,9
CO	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3
HC	0,4	0,8	0,8	1,0	1,0

5.6.2 Εκπομπές από τις εγκαταστάσεις ηλεκτροδότησης και της γεννήτριες εκτάκτου ανάγκης

Οι εγκαταστάσεις του ΔΑΑ ηλεκτροδοτούνται απευθείας από το δίκτυο της ΔΕΗ. Δεν υπάρχουν εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που να λειτουργούν αποκλειστικά για τον αερολιμένα. Επομένως, η παροχή της απαραίτητης ηλεκτρικής ισχύος στον ΔΑΑ δεν επιβαρύνει την ατμόσφαιρα της περιοχής με ρύπους.

Πέρα από το βασικό σύστημα τροφοδοσίας του αερολιμένα υπάρχει και το εφεδρικό, το οποίο τίθεται σε λειτουργία σε έκτακτες περιπτώσεις. Το σύστημα αυτό αποτελείται από γεννήτριες εκτάκτου ανάγκης, οι οποίες εξασφαλίζουν την αδιάκοπη λειτουργία των κυριότερων συστημάτων του αερολιμένα, ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν οι προγραμματισμένες αεροπορικές κινήσεις. Μετά από επικοινωνία με το αρμόδιο τμήμα της διεύθυνσης του αερολιμένα, πληροφορηθήκαμε ότι το βοηθητικό σύστημα ηλεκτροδότησης τέθηκε σε λειτουργία για συνολικά πολύ μικρό χρονικό διάστημα μέσα στην περίοδο λειτουργίας του αερολιμένα κι επομένως οι εκπομπές ρύπων από τη λειτουργία των γεννητριών εκτάκτου ανάγκης μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες.

5.6.3 Εκπομπές από τους αποτεφρωτήρες

Από το τμήμα περιβαλλοντικών υπηρεσιών του ΔΑΑ πληροφορηθήκαμε ότι στον συγκεκριμένο αερολιμένα δε λειτουργούν εγκαταστάσεις για την αποτέφρωση αποβλήτων. Συνεπώς δεν περιλήφθηκαν τέτοιου είδους εκπομπές στο μητρώο εκπομπών.

5.6.4 Εκπομπές από τις ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας

Σύμφωνα με την παράγραφο 4.2.5.4, όπου περιγράφηκε η μεθοδολογία υπολογισμού των εκπομπών από τις ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας, για την εκτίμηση αυτών των εκπομπών είναι απαραίτητη η γνώση του τύπου και της ποσότητας του καυσίμου που χρησιμοποιήθηκε ετησίως. Επικοινωνήσαμε με την πυροσβεστική υπηρεσία του ΔΑΑ για να λάβουμε τα απαραίτητα στοιχεία, που αφορούν στην ετήσια κατανάλωση καυσίμων για ασκήσεις στο ύπαιθρο. Πληροφορηθήκαμε ότι στις ασκήσεις χρησιμοποιείται προπάνιο, το οποίο καίγεται ελεύθερα στην ατμόσφαιρα χωρίς να περιορίζονται οι παραγόμενες εκπομπές από ειδικές διατάξεις. Η ποσότητα που καταναλώνεται ετησίως για αυτό το σκοπό ανέρχεται σε σαράντα οχτώ χιλιάδες λίτρα.

Οι δείκτες εκπομπών που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των εκπομπών από τις ασκήσεις αυτές λήφθηκαν από αντίστοιχο πίνακα της Ομοσπονδιακής Διεύθυνσης Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών. Με πολλαπλασιασμό της ποσότητας καυσίμου που καταναλώθηκε ετησίως επί τον αντίστοιχο δείκτη εκπομπών, υπολογίσαμε τις ετήσιες εκπομπές ρύπων από τις ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας (βλέπε πίνακα 5.39).

Πίνακας 5.39 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Ασκήσεις της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	0,037	0,037
CO	0,221	0,221
HC	0,183	0,183

5.6.5 Εκπομπές από τις δοκιμές των κινητήρων των αεροσκαφών

Κατά τις δοκιμές κινητήρων αεροσκαφών, τίθενται σε λειτουργία οι κινητήρες του αεροσκάφους, ένας τη φορά ή όλοι ταυτόχρονα, και δοκιμάζονται για μία ακολουθία επιπέδων ισχύος. Για να υπολογιστούν οι εκπομπές από τις δοκιμές αυτές πρέπει, σύμφωνα με όσα λέχθηκαν στην παράγραφο 4.2.5.5, να είναι γνωστά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε κινητήρα και η διάρκεια κάθε δοκιμής ανά φάση λειτουργίας του κύκλου LTO. Προμηθευτήκαμε τα δεδομένα αυτά από το τμήμα περιβαλλοντικών υπηρεσιών του ΔΑΑ, όπου τηρείται αρχείο των πραγματοποιούμενων δοκιμών για τον έλεγχο της δημιουργούμενης ηχορύπανσης. Αφού τα

επεξεργαστήκαμε ακολουθώντας τη μεθοδολογία που παρουσιάζεται στη συνέχεια, καταλήξαμε στην εκτίμηση των ατμοσφαιρικών εκπομπών από τη δραστηριότητα αυτή.

- Αρχικά αναζητήθηκαν τα αρχεία καταγραφής δεδομένων των δοκιμών των κινητήρων αεροσκαφών από το τμήμα περιβαλλοντικών υπηρεσιών του ΔΑΑ. Οι πληροφορίες που μας παραχώρησαν για κάθε έτος παρουσιάζονται ενδεικτικά στον πίνακα 5.40, ο οποίος αποτελεί ένα μικρό μέρος των συνολικών δεδομένων. Όπως φαίνεται στον πίνακα, τα δεδομένα που καταγράφονται σε κάθε δοκιμή, είναι η ημερομηνία και η διάρκεια διεξαγωγής της, ο τύπος του αεροσκάφους μαζί με το όνομα της ιδιοκτήτριας εταιρίας και τον αριθμό νηολόγησης, οι κινητήρες που εξετάστηκαν στη συγκεκριμένη δοκιμή (TRUE σημαίνει ότι τέθηκε σε λειτουργία, ενώ FALSE ότι δεν τέθηκε) και τέλος το ποσοστό ισχύος που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε φάση της δοκιμής.
- Έπειτα, έπρεπε να αντιστοιχίσουμε κάθε αεροσκάφος του αρχείου με τον τύπο κινητήρων που φέρει, χρησιμοποιώντας τον αριθμό νηολόγησης αυτού. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε ανατρέχοντας στον κατάλογο JP (JP airline fleets international, Edition 2004/2005, Buchair & Co) και εντοπίζοντας τον τύπο κινητήρων που αντιστοιχούν στον εκάστοτε αριθμό νηολόγησης.
- Στη συνέχεια, καθώς δεν ήταν γνωστή η αναλογία με την οποία κατανέμεται η συνολική διάρκεια της δοκιμής (η οποία ήταν διαθέσιμη) στις επιμέρους φάσεις λειτουργίας του κινητήρα, υιοθετήσαμε την εξής παραδοχή: Στις δοκιμές όπου εξεταζόταν μία μόνο φάση λειτουργίας του κινητήρα θεωρήσαμε ότι η συνολική διάρκεια της δοκιμής αναφέρεται στη συγκεκριμένη φάση, ενώ στις δοκιμές όπου ο κινητήρας δοκιμαζόταν σε περισσότερες από μία φάσεις, έγινε κατανομή της συνολικής διάρκειας στις επιμέρους φάσεις σταθμίζοντάς τη σύμφωνα με το ποσοστό ισχύος που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε φάση. Με την παραδοχή αυτή γίνεται η θεώρηση ότι η σχέση της ισχύος με το χρόνο δοκιμής είναι γραμμική και μάλιστα είναι η ίδια για τις τέσσερις φάσεις λειτουργίας, κάτι που δεν γνωρίζουμε αν ισχύει και στην πραγματικότητα. Με τον τρόπο αυτό υποθέσαμε τη διάρκεια κάθε δοκιμής ανά φάση λειτουργίας.
- Για να εφαρμόσουμε τη σχέση υπολογισμού 4.20, χρειάστηκε να προσδιορίσουμε και τους κατάλληλους δείκτες κατανάλωσης και εκπομπών των κινητήρων. Όπως αναπτύχθηκε στην παράγραφο 3.4.5, οι κινητήρες των αεροσκαφών προσομοιάζουν κατά τις δοκιμές την πραγματική λειτουργία τους. Έτσι, οι παραγόμενοι ρύποι από τις δοκιμές γεννώνται από τους ίδιους περίπου μηχανισμούς που τους δημιουργούν και κατά τις πραγματικές αεροπορικές κινήσεις. Συνεπώς, οι δείκτες κατανάλωσης και εκπομπών που απαιτούνται για τους υπολογισμούς μας, μπορούν με καλή προσέγγιση να ληφθούν από το μητρώο δεικτών εκπομπών του ICAO, όπως έγινε και στην περίπτωση των κινήσεων των αεροσκαφών. Χρησιμοποιούμε τον όρο «καλή προσέγγιση», γιατί οι εκπομπές παρουσιάζουν διακυμάνσεις ανάλογα με τις υφιστάμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες και άρα δεν είναι ακριβώς ίδιες οι εκπομπές ακόμα και από τον ίδιο κινητήρα σε επίπεδο εδάφους και σε ύψος πτήσης.

Πίνακας 5.40 : Δείγμα Ληφθέντων Δεδομένων για τις Δοκιμές Κινητήρων Αεροσκαφών

DATE	AIRLINE	AIRCRAFT TYPE	REGISTRATION	ENGINE No 1	ENGINE No 2	ENGINE No 3	ENGINE No 4	TAKE_OFF POWER	PART POWER	FLIGHT IDLE	GROUND IDLE	DUR (min)
2-Ιαν-02	OA	B732	SXBCG	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	100				90
3-Ιαν-02	OA	B734	SXBKK	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE				60	20
5-Ιαν-02	A3	RJ100	SXDVB	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE				12	5
8-Ιαν-02	KM	B733	9HADN	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE				35	10
8-Ιαν-02	OA	B734	SXBKK	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	95				30
10-Ιαν-02	OA	B734	SXBKM	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE				63	15
10-Ιαν-02	OA	B734	SXBKM	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	95				35
12-Ιαν-02	A3	B733	SXBGI	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	92				30
14-Ιαν-02	A3	RJ100	SXDVC	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE				40	2
15-Ιαν-02	A3	ATR72	SXBAO	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE				12	10
15-Ιαν-02	A3	RJ100	SXDVB	FALSE	FALSE	FALSE	TRUE				40	8
17-Ιαν-02	A3	ATR72	SXBAO	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE					45
17-Ιαν-02	OA	B733	SXBLA	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE				30	10
19-Ιαν-02	A3	ATR72	SXBAO	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE	100				35
21-Ιαν-02	A3	ATR72	SXBFK	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE	100				-
21-Ιαν-02	A3	ATR72	SXBFK	TRUE	FALSE	FALSE	FALSE					20
21-Ιαν-02	A3	LJ55	SXBTv	FALSE	TRUE	FALSE	FALSE				55	5
29-Ιαν-02	A3	RJ100	SXDVD	FALSE	FALSE	TRUE	FALSE			50		15
30-Ιαν-02	OA	B734	SXBKK	FALSE	FALSE	FALSE	FALSE				100	8
1-Φεβ-02	A3	ATR72	SXBAO	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE	100				50
1-Φεβ-02	A3	ATR72	SXBFK	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE				100	40
1-Φεβ-02	A3	B734	SXBGI	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE				100	12
1-Φεβ-02	OA	B734	SXBKD	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE				100	3
1-Φεβ-02	OA	B734	SXBKF	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE				100	20
1-Φεβ-02	OA	B734	SXBKN	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE				100	1
1-Φεβ-02	A3	RJ100	SXDVA	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE				50	4
1-Φεβ-02	A3	RJ100	SXDVF	TRUE	FALSE	TRUE	FALSE				50	5
2-Φεβ-02	A3	ATR72	SXBFK	TRUE	TRUE	FALSE	FALSE				20	45

- Έχοντας στη διάθεσή μας όλα τα απαραίτητα δεδομένα ξεκινήσαμε τους υπολογισμούς. Για να προκύψουν οι εκπομπές που εκλύθηκαν από κάθε δοκιμή, πολλαπλασιάστηκε η διάρκεια κάθε φάσης λειτουργίας με το αντίστοιχο ποσοστό ισχύος και τους αντίστοιχους δείκτες κατανάλωσης και εκπομπών και έπειτα αθροίστηκαν τα αποτελέσματα για όλες τις φάσεις. Στις περιπτώσεις εκείνες που στη δοκιμή χρησιμοποιήθηκαν περισσότεροι από έναν κινητήρες, οι εκπομπές ανά ρύπο πολλαπλασιάστηκαν με το πλήθος τους, ώστε να προκύψουν οι συνολικές εκπομπές της δοκιμής.
- Η διαδικασία υπολογισμού των εκπομπών από τις δοκιμές των κινητήρων ολοκληρώθηκε αθροίζοντας για κάθε έτος τις επιμέρους εκπομπές κάθε δοκιμής ανά ρύπο. Τα τελικά αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 5.41.

Πίνακας 5.41 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τις Δοκιμές των Κινητήρων των Αεροσκαφών (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2002	2003	2004	2005
NOx	21,341	15,760	9,621	6,661
CO	1,068	0,676,	0,518	0,173
HC	0,081	0,027	0,022	0,012

5.6.6 Εκπομπές από πηγές έκθεσης στο περιβάλλον

Στις εκπομπές της κατηγορίας αυτής συγκαταλέγονται οι διαφυγές από δεξαμενές καυσίμων, οι εκπομπές εξάτμισης χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται σε εργασίες συντήρησης και οι ρύποι που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα από την έκθεση δομικών υλικών στο περιβάλλον. Όπως πληροφορηθήκαμε, το τμήμα συντήρησης του ΔΑΑ δεν τηρεί αρχείο καταγραφής των εργασιών αυτών κι επομένως δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία που θα μας επέτρεπαν τον υπολογισμό των εκπομπών της συγκεκριμένης κατηγορίας.

5.6.7 Συνολικές εκπομπές από σταθερές πηγές

Συνοψίζοντας, οι καταγεγραμμένες εκπομπές από τις σταθερές πηγές του ΔΑΑ προκύπτουν από τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, τις ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας και τις δοκιμές των κινητήρων των αεροσκαφών. Αθροίζοντας τις τιμές ανά ρύπο που υπολογίσαμε για κάθε μία από αυτές τις πηγές, υπολογίσαμε τις συνολικές ετήσιες εκπομπές του αερολιμένα από τις σταθερές πηγές. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους πίνακες 5.42, 5.43 και 5.44 εκφρασμένα σε τόνους/έτος, χιλιόγραμμα/αεροπορική κίνηση και γραμμάρια/επιβάτη αντίστοιχα.

Πίνακας 5.42 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από Σταθερές Πηγές (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	21,7	18,6
CO	1,1	0,7
HC	1,2	1,1

Πίνακας 5.43 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από Σταθερές Πηγές (κιλά/αεροπορική κίνηση)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	0,115	0,103
CO	0,006	0,004
HC	0,006	0,006
Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων	188.351	180.734

Πίνακας 5.44 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από Σταθερές Πηγές (γραμμάρια/επιβάτη)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	1,591	1,302
CO	0,077	0,050
HC	0,086	0,080
Αριθμός Επιβατών	13.662.332	14.281.242

5.7 Συνολική εκτίμηση εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων από τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών

Η συνολική αποτίμηση των εκπομπών του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, που αναπτύχθηκε στο παρόν κεφάλαιο, ολοκληρώνεται με τη συγκεντρωτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Στους πίνακες 5.45, 5.46 και 5.47 παρατίθενται τα αποτελέσματα της άθροισης των ετήσιων εκπομπών από τις επιμέρους πηγές του ΔΑΑ, οι οποίες αναφέρθηκαν λεπτομερώς στο κεφάλαιο 4. Συνοπτικά, στις τιμές του πίνακα περιλαμβάνονται οι εκπομπές από τις κινήσεις των αεροσκαφών, από τις βοηθητικές μονάδες αυτών, από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους του αερολιμένα, από τα μέσα μετακίνησης των επιβατών, των επισκεπτών και των υπαλλήλων του αεροδρομίου, συμπεριλαμβανομένου και του προαστιακού σιδηροδρόμου και τέλος από τις σταθερές πηγές εκπομπών.

Πίνακας 5.45 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τη Λειτουργία του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών (τόνοι/έτος)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	842,9	804,4
CO	636,7	611,5
HC	78,0	82,5

Πίνακας 5.46 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τη Λειτουργία του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών (κιλά/αεροπορική κίνηση)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	4,5	4,5
CO	3,4	3,4
HC	0,4	0,5
Αριθμός Αεροπορικών Κινήσεων	188.351	180.734

Πίνακας 5.47 : Ετήσιες Εκπομπές Ρύπων από τη Λειτουργία του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών (γραμμάρια/επιβάτη)

Ρύποι / Έτος	2004	2005
NO _x	61,7	56,3
CO	46,6	42,8
HC	5,7	5,8
Αριθμός Επιβατών	13.662.332	14.281.242

Στους πίνακες 5.46 και 5.47 τα συνολικά ετήσια αποτελέσματα ανάγονται σε χιλιόγραμμα ρύπου ανά αεροπορική κίνηση και σε γραμμάρια ρύπου ανά επιβάτη, ώστε να αντιληφθούμε τη μέση ρυπαντική συνεισφορά ενός αεροσκάφους το οποίο πραγματοποιεί κάποια αεροπορική κίνηση και την αντίστοιχη συμβολή ενός μέσου επιβάτη, ο οποίος χρησιμοποιώντας τις εγκαταστάσεις του ΔΑΑ για να εξυπηρετηθεί, «κοστίζει» στο περιβάλλον κάποια ποσότητα ρύπων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων

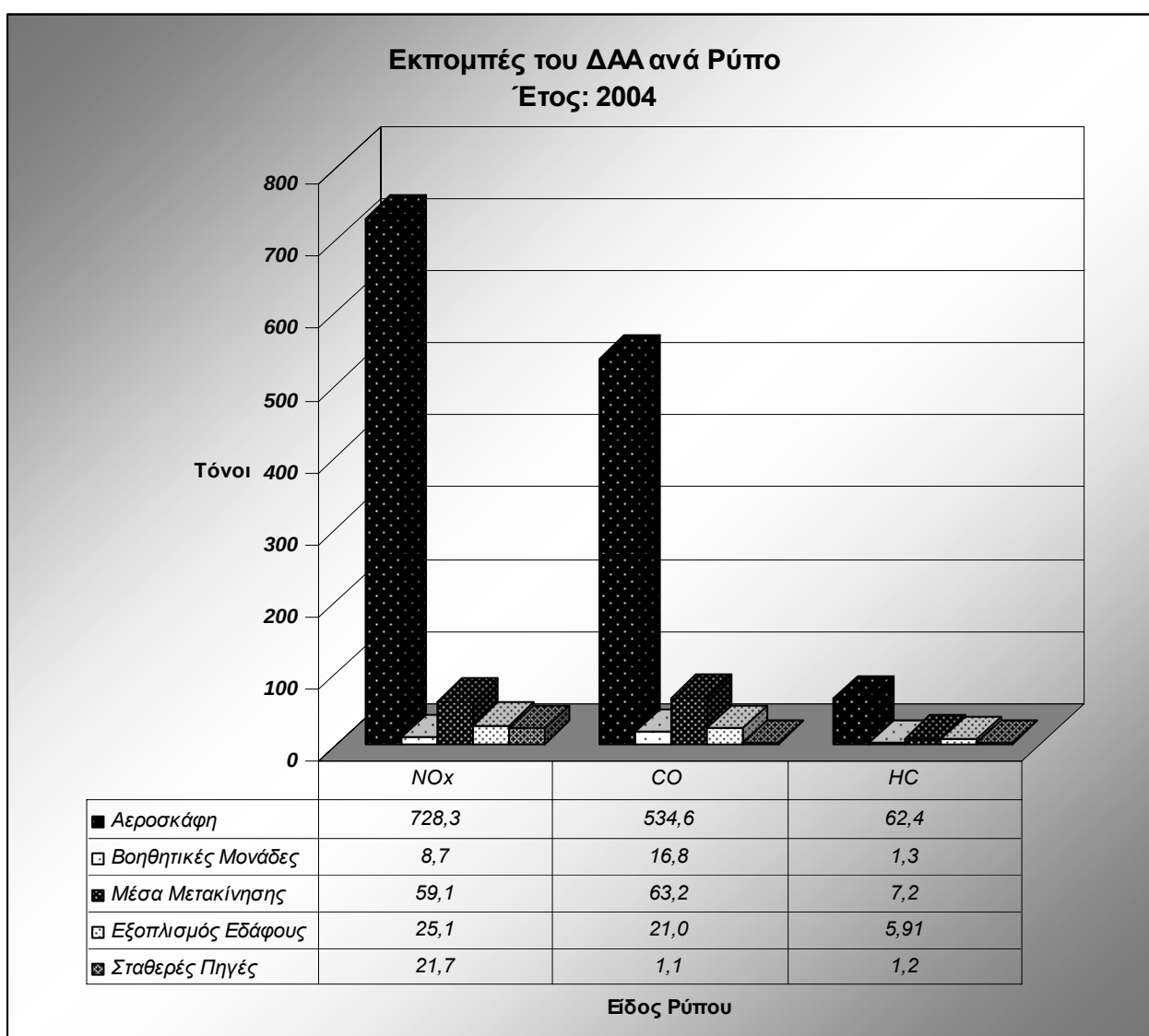
Στο προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκε η ποσοτική εκτίμηση των εκπομπών που εκλύονται από τη λειτουργία του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών στην ατμόσφαιρα της γύρω περιοχής. Οι υπολογιστικές μέθοδοι που εφαρμόστηκαν βασίστηκαν στις γενικές γραμμές της προτεινόμενης μεθοδολογίας του τετάρτου κεφαλαίου και προέκυψαν από την προσαρμογή της στα δεδομένα του συγκεκριμένου αερολιμένα. Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται τόσο στις συγκεκριμένες πρακτικές λειτουργίας που εφαρμόζονται στον ελληνικό χώρο όσο και στα αρχεία δεδομένων που τηρούνται από τη διεύθυνση του εκάστοτε αεροδρομίου.

Από τα διαθέσιμα δεδομένα του ΔΑΑ, προέκυψαν οι ετήσιες τιμές των εκπεμπόμενων ρύπων για τα έτη λειτουργίας 2004 και 2005, οι οποίες παρατίθενται συγκεντρωτικά στα γραφήματα 6.1 και 6.2. Οι τιμές έχουν υπολογιστεί σε τόνους ανά έτος, για να είναι δυνατή η ευθεία σύγκρισή τους, καθώς το εύρος τους κυμαίνεται από λιγότερους του ενός τόνου μέχρι περίπου επτακόσιους τόνους. Στα γραφήματα παρουσιάζεται η συνεισφορά της κάθε μεμονωμένης πηγής στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας, για κάθε ρύπο και για κάθε έτος ξεχωριστά.

Οι εκπομπές των επιμέρους πηγών ρύπανσης προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας ενιαία μεθοδολογία για τα έτη 2004 και 2005. Μοναδική εξαίρεση αποτέλεσαν οι εκπομπές από τις κινήσεις των αεροσκαφών. Στους υπολογισμούς του έτους 2004, χρησιμοποιήθηκε το

επεξεργασμένο αρχείο πτήσεων του αερολιμένα, στο οποίο αντιστοιχίστηκαν οι εκπομπές κάθε τύπου αεροσκάφους με βάση τα πραγματικά στοιχεία των αεροπορικών κινήσεων, όπως αυτά λήφθηκαν από το παγκόσμιο σύστημα πληροφοριών του ΔΑΑ. Οι εκπομπές της κατηγορίας αυτής έχουν υπολογιστεί μία μία με μεγάλη ακρίβεια. Οι μόνες υποθέσεις που κάναμε αφορούν στον προσδιορισμό των χρόνων λειτουργίας των αεροσκαφών σε κάθε φάση και στην παραδοχή ότι το πλήθος των κύκλων LTO είναι ίσο με το ημιάθροισμα των προσγειώσεων και απογειώσεων που πραγματοποιήθηκαν ετησίως.

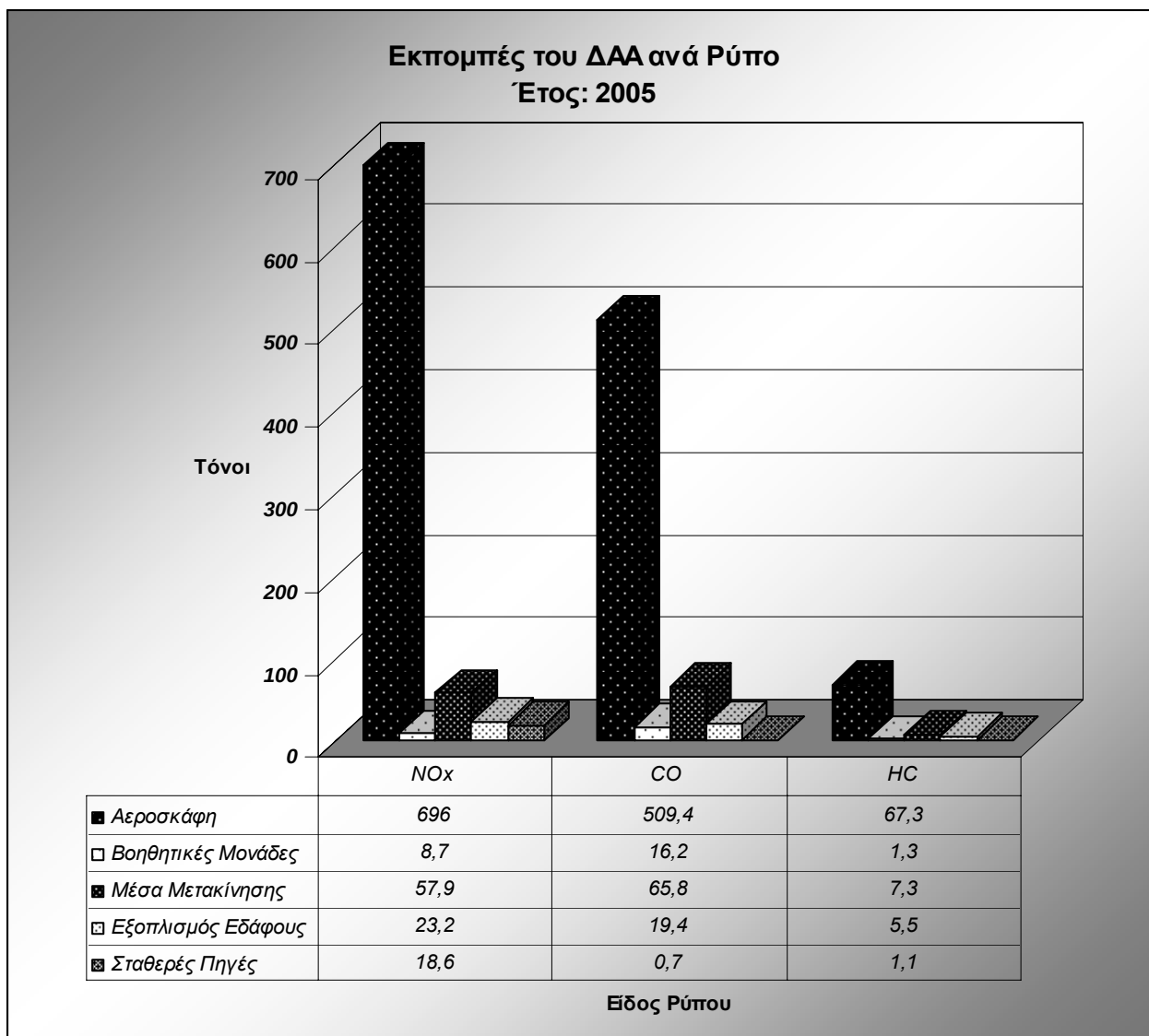
Γράφημα 6.1 : Εκπομπές του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών για το Έτος 2004



Αντίθετα, οι εκπομπές από τα αεροσκάφη για το έτος 2005, προσδιορίστηκαν εξ' ολοκλήρου προσεγγιστικά, προβάλλοντας στο μέλλον τις τάσεις εξέλιξης της ρύπανσης (με βάση τα πραγματικά δεδομένα των ετών 2001 έως 2003) και αντιστοιχίζοντάς τις με τα στοιχεία των αεροπορικών κινήσεων που λάβαμε από τη διεύθυνση του αερολιμένα για το έτος αυτό.

Πραγματοποιώντας τη συσχέτιση αυτή δε λαμβάνουμε υπόψη τη διαφοροποίηση του στόλου των αεροσκαφών με την πάροδο των ετών, η οποία συμβαίνει είτε λόγω συμφωνίας του αερολιμένα με τους αερομεταφορείς είτε λόγω της σταδιακής απόσυρσης αεροσκαφών παλαιού τύπου και της αντικατάστασής τους με νέα, των οποίων οι κινητήρες είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον.

Γράφημα 6.2 : Εκπομπές του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών για το Έτος 2005



Στις υπόλοιπες κατηγορίες εκπομπών οι μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν συμπίπτουν για τα έτη της απογραφής. Οι εκπομπές των βοηθητικών μονάδων παροχής ενέργειας και του εξοπλισμού εδάφους του αερολιμένα, υπολογίστηκαν σε συνάρτηση με το πλήθος των αεροπορικών κινήσεων, καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα αναλυτικά στοιχεία της χρήσης τους. Οι παραδοχές όσον αφορά στη χρήση τους αποτελούν εκτιμήσεις εμπειρογνομόνων και επομένως εμπεριέχουν κάποιο σφάλμα εκτίμησης. Ακόμα, για τις δύο αυτές κατηγορίες εκπομπών, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία του στόλου των αεροσκαφών που εξυπηρετούνται από τον

αερολιμένα της Ζυρίχης και τιμές δεικτών εκπομπών από το αντίστοιχο μητρώο εκπομπών. Θα μπορούσαμε να επιτύχουμε καλύτερο αποτέλεσμα, αν είχαμε τη δυνατότητα προσαρμογής των δεδομένων αυτών στα χαρακτηριστικά του ΔΑΑ. Επιπλέον, η ταξινόμηση του στόλου των αεροσκαφών και των οχημάτων και μηχανημάτων εδάφους σε περιορισμένες κατηγορίες-κλάσεις με κοινά χαρακτηριστικά εκπομπών αποτελεί μία γενίκευση που προκαλεί αλλοίωση των αποτελεσμάτων χάριν της εφαρμοσιμότητας της μεθόδου.

Βέβαια, οι σημαντικότερες γενικεύσεις έχουν πραγματοποιηθεί στην εκτίμηση των εκπομπών των μέσων μετακίνησης επί των οδών. Λόγω ανεπάρκειας στοιχείων όλες οι συνιστώσες έχουν προκύψει από υποθέσεις βασισμένες σε πραγματικά στοιχεία και παρατηρήσεις. Οι διανύμενες αποστάσεις και οι τύποι των οχημάτων έχουν προσεγγιστεί αδρομερώς, καθώς η λεπτομερέστερη εκτίμησή τους θα απαιτούσε την εκπόνηση μιας ξεχωριστής συμπληρωματικής έρευνας. Όμως και τα στοιχεία των διελεύσεων, τα οποία παρουσίαζαν κάποιες ελλείψεις σε συγκεκριμένες περιόδους του έτους, ολοκληρώθηκαν με χρήση γραμμικών παραδοχών για όλη τη διάρκεια του έτους. Τέλος, η εκτίμηση των μέσων ταχυτήτων ταξιδιού μπορεί να βασίστηκε σε πραγματικές μετρήσεις, αλλά οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν εμπεριείχαν και προσωπικές εκτιμήσεις.

Παρόμοιες ήταν και οι παραδοχές που υιοθετήθηκαν στον υπολογισμό των εκπομπών λόγω στάθμευσης στον αερολιμένα. Παρ' ότι και σε αυτή την περίπτωση είχαμε στη διάθεσή μας αναλυτικά στοιχεία για τη στάθμευση των οχημάτων, η άγνοια του τύπου των οχημάτων μας ανάγκασε να θεωρήσουμε μία, όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτική, κατηγορία εκπομπών. Για τον υπολογισμό των εκπομπών χρησιμοποιήθηκαν μέσες αποστάσεις ταξιδιού εντός του χώρου στάθμευσης, οι οποίες προέκυψαν από γεωμετρικούς υπολογισμούς και όχι από πραγματικά δεδομένα και επίσης δεχτήκαμε μία μέση τιμή ταχύτητας. Οι υποθέσεις αυτές σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δε συμπεριλάβαμε τις εκπομπές λόγω στάσης και αναμονής των οχημάτων, μας δημιουργούν αμφιβολίες για την πιστότητα των αποτελεσμάτων από τη συγκεκριμένη κατηγορία.

Εξίσου σημαντική επιρροή στο τελικό αποτέλεσμα υποθέτουμε πως είχε και η υιοθέτηση μέσων δεικτών εκπομπών για τις σταθερές πηγές θέρμανσης του αεροδρομίου. Μη έχοντας τη δυνατότητα αναλυτικού υπολογισμού των εκπομπών κάθε μεμονωμένης εγκατάστασης, δεχτήκαμε κάποιες μέσες τιμές για να αντιπροσωπεύσουν το σύνολο των επιμέρους πηγών. Μόνο στην περίπτωση που οι υποθέσεις μας πλησιάζουν τις μέσες τιμές των σταθμισμένων εκπομπών, θα έχουμε αποτελέσματα με υψηλή ακρίβεια. Σε κάθε άλλη περίπτωση ενδέχεται να υπάρξει σημαντική απόκλιση των υπολογισμών από τις πραγματικές τιμές. Έτσι, παρά το γεγονός ότι οι δύο άλλες σταθερές πηγές εκπομπών, οι ασκήσεις της πυροσβεστικής υπηρεσίας και οι δοκιμές των κινητήρων των αεροσκαφών, αποτιμήθηκαν με μεγάλη ακρίβεια, λόγω της διαθεσιμότητας όλων των απαραίτητων δεδομένων, οι συνολικές ποσότητες εκπομπών των σταθερών πηγών που εκτιμήθηκαν ενδεχομένως να παρουσιάζουν σημαντικό σφάλμα, καθώς οι εγκαταστάσεις θέρμανσης αποτελούν τη σημαντικότερη συνιστώσα των εκπομπών από σταθερές πηγές.

6.2 Συμπεράσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στην περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών

Οι παραδοχές που υιοθετήθηκαν για την εκτίμηση των εκπομπών από τη λειτουργία του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, επέφεραν την τροποποίηση της μεθοδολογίας που προτάθηκε στο κεφάλαιο 4 της παρούσας εργασίας. Αυτό ήταν αναπόφευκτο καθώς για να γίνει εφικτή η εκτίμηση των εκπομπών, έπρεπε να προσαρμοστεί η μεθοδολογία στα διαθέσιμα δεδομένα. Έτσι, όπου δεν υπήρχαν τα απαραίτητα στοιχεία για την ακριβή εφαρμογή της μεθοδολογίας, τροποποιήσαμε τις διαδικασίες υπολογισμού και καλύψαμε τις ελλείψεις δεδομένων εισόδου με λογικές υποθέσεις και εμπειρικές παρατηρήσεις. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μεταβληθούν ενδεχομένως τα αποτελέσματα, εκτός και αν οι υποθέσεις μας αποδειχθούν πολύ κοντά στην πραγματικότητα. Δεδομένου όμως του γεγονότος ότι αντικαταστήσαμε μετρηθείσες τιμές (η προτεινόμενη μεθοδολογία λειτουργεί κυρίως με μετρηθείσες τιμές) με προσεγγιστικές θεωρητικές τιμές, αναμένουμε κάποια σφάλματα στα τελικά αποτελέσματα τόσο των επί μέρους πηγών όσο και του αερολιμένα ως σύνολο.

Μετά από μία σύντομη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, που προέκυψαν από την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία στον ΔΑΑ, σε συνεργασία με τα μέλη του τμήματος περιβαλλοντικών υπηρεσιών του αερολιμένα, καταλήξαμε στο εξής συμπέρασμα: Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε περιείχε μεγάλο αριθμό υποθέσεων και προσωπικών εκτιμήσεων και αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μεγάλη απόκλιση των τελικών αποτελεσμάτων από την πραγματικότητα. Εντούτοις το πιθανό σφάλμα αναμένεται σχετικά μικρό, καθώς οι εκπομπές των αεροσκαφών, οι οποίες υπολογίστηκαν με μεγάλη ακρίβεια, κατέχουν την πρώτη θέση στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ποσοστό που πλησιάζει το ογδόντα τοις εκατό (βλέπε γραφήματα 6.1 και 6.2). Βέβαια, οι εκτιμήσεις των υπολοίπων πηγών ρύπανσης μπορεί να εμπεριέχουν σημαντικά σφάλματα κι επομένως δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαδικασίες λήψης αποφάσεων προτού επαληθευτούν.

Όσον αφορά στα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, έχουμε να προσθέσουμε τα εξής:

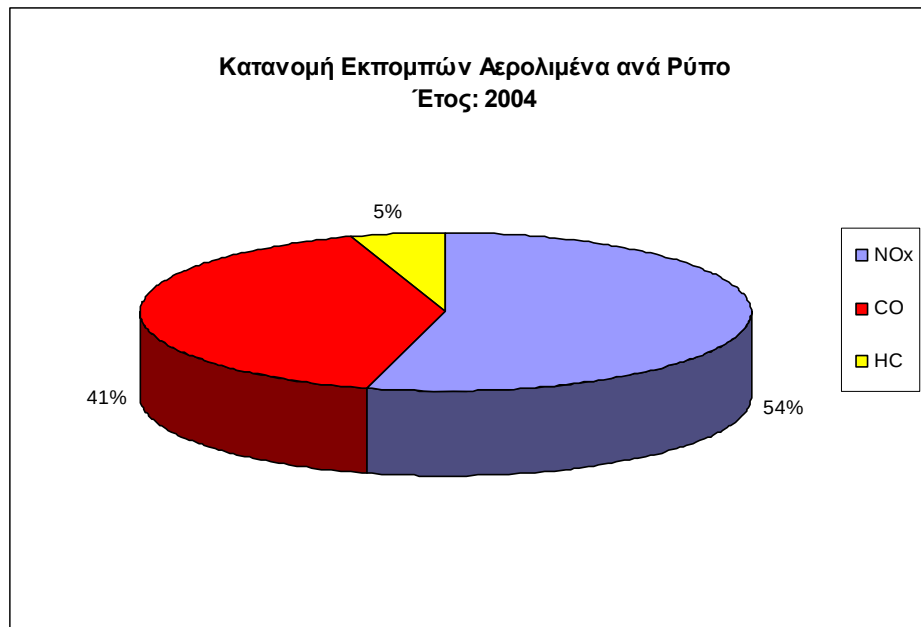
Η στιγμιαία συγκέντρωση των ρύπων στον αέρα μεταβάλλεται διαρκώς κι επομένως οι ετήσιες αθροιστικές τιμές που υπολογίσαμε δεν έχουν φυσική έννοια. Τα φαινόμενα μεταφοράς και διασποράς των ρύπων προκαλούν τη σταδιακή μείωση των συγκεντρώσεων τους στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα οι συνολικές ποσότητες ρύπων, που απομένουν στην ατμόσφαιρα της περιοχής μετά το πέρας του έτους, να διαφέρουν κατά πολύ από αυτές που εκτιμήθηκαν παραπάνω. Εν τούτοις, για τη θεώρηση που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική, δηλαδή την εκτίμηση των εκπομπών που παράγονται από τη λειτουργία του αεροδρομίου, μπορούμε να έχουμε μια σαφή εικόνα μόνο με την άθροιση όλων των εκπομπών που εκλύθηκαν κατά τη διάρκεια του έτους από τις διάφορες δραστηριότητες του αεροδρομίου. Παρά το γεγονός ότι τα

υπολογισμένα μεγέθη είναι πλασματικά, η αξία τους για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη συγκριτική μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αεροδρομίων είναι σημαντική.

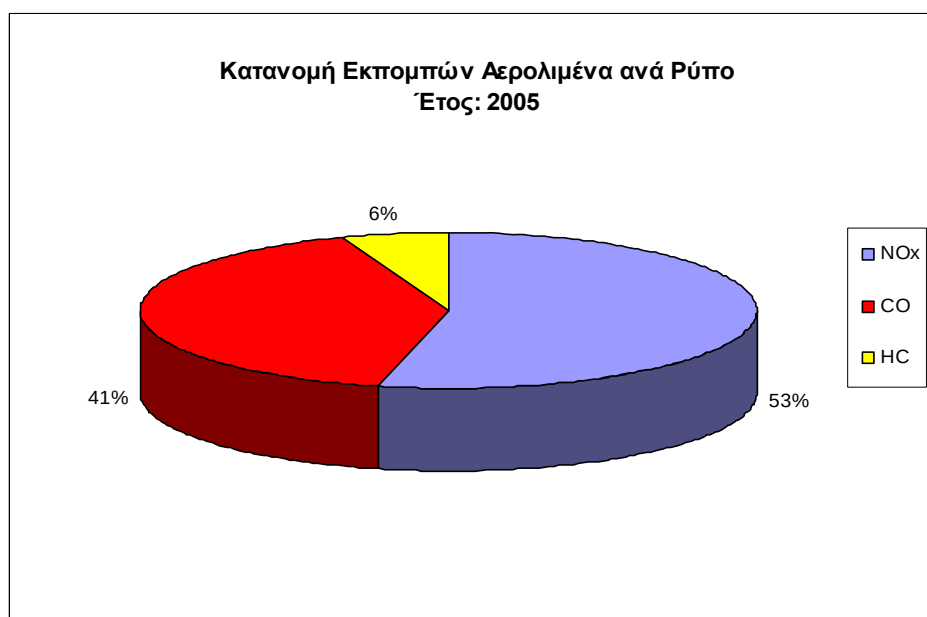
Με μια πρώτη ματιά στα γραφήματα 6.1 και 6.2, τα οποία συγκεντρώνουν τα αποτελέσματα των υπολογισμών, μπορούμε να αποφανθούμε ότι ο σημαντικότερος παράγοντας της ρύπανσης που προκαλείται από το αεροδρόμιο στην ευρύτερη περιοχή γύρω από τον αερολιμένα, είναι οι κινήσεις των αεροσκαφών με ποσοστό συμμετοχής πάνω από 80%. Καταλαβαίνουμε συνεπώς ότι η επιβατική κίνηση του αεροδρομίου καθορίζει την περιβαλλοντική επιβάρυνση που δημιουργείται, κυρίως λόγω του συνεπαγόμενου αριθμού αεροπορικών κινήσεων. Επομένως, τα μέτρα περιορισμού της ρύπανσης και οι εφαρμοζόμενες πολιτικές διαχείρισης του αερολιμένα πρέπει πρωτίστως να στοχεύουν στη μείωση των εκπομπών από τα αεροσκάφη. Η αμέσως επόμενη μεγαλύτερη υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα προκαλείται από τις εκπομπές των μέσων μετακίνησης επιβατών, επισκεπτών και εργαζομένων. Το ποσοστό συμμετοχής αυτών είναι πολύ μικρότερο απ' ό,τι των αεροσκαφών και για τους τρεις ρύπους που εξετάζονται. Βέβαια, στο σημείο αυτό πρέπει να επισημάνουμε ότι από όλες τις πηγές ατμοσφαιρικών εκπομπών του αεροδρομίου τα αεροσκάφη παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη διασπορά ρύπων κυρίως εξαιτίας της απελευθέρωσης αυτών σε μεγάλη απόσταση από το έδαφος. Για το λόγο αυτό, τη λήψη σχετικών αποφάσεων διαχείρισης της ρύπανσης πρέπει πάντα να συνοδεύει και ένας έλεγχος διασποράς ρύπων, ώστε να σχηματίζεται μια πιο αντιπροσωπευτική και ολοκληρωμένη εικόνα για την πραγματικότητα.

Εξετάζοντας τα γραφήματα 6.3 και 6.4, που παρουσιάζουν την κατανομή των εκπομπών του αερολιμένα ανά ρύπο για τα έτη 2004 και 2005, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (πάνω από 50%) καταλαμβάνουν τα οξείδια του αζώτου, λίγο μικρότερο είναι το ποσοστό του μονοξειδίου του άνθρακα (περίπου 40%) ενώ οι υδρογονάνθρακες αποτελούν μόλις το 5% περίπου των ετήσιων εκπομπών. Τα αποτελέσματα αυτά είναι απολύτως λογικά και μπορούν απλοποιητικά να ερμηνευτούν αναφέροντας μόνο την περίπτωση των αεροσκαφών, τα οποία εκλύουν τον κύριο όγκο των εκπομπών, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τα τελευταία χρόνια πραγματοποιείται μία συντονισμένη προσπάθεια μείωσης των εκπομπών που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σημαντική είναι η συμβολή των υδρογονανθράκων στο φαινόμενο αυτό και κυρίως του μεθανίου. Έτσι, στο πλαίσιο του περιορισμού των ρύπων αυτών έχουν επιστρατευτεί τεχνολογίες που περιορίζουν την έκλυση υδρογονανθράκων. Οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται και στους κινητήρες των αεροσκαφών, οι οποίοι έχουν περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης για να φτάσουν στο σημερινό επίπεδο εκπομπών. Οι σημερινοί κινητήρες, η χρήση των οποίων επιβάλλεται από το νόμο, εκπέμπουν πολύ μικρές ποσότητες υδρογονανθράκων με το περιβαλλοντικό κόστος της έκλυσης μεγάλων ποσοτήτων οξειδίων του αζώτου, καθώς έτσι λειτουργούν οι διατάξεις περιορισμού των υδρογονανθράκων. Όσον αφορά στο εκπεμπόμενο μονοξείδιο του άνθρακα, η ποσότητα του υπήρξε ανέκαθεν αναλογικά μεγάλη εξαιτίας της οξείδωσης των οργανικών ενώσεων, που πραγματοποιείται στους κινητήρες. Εφόσον, λοιπόν, οι κινητήρες των αεροσκαφών παράγουν τους τρεις ρύπους που εξετάζουμε με αυτή την αναλογία, την ίδια αντιστοιχία αναμένουμε και στο σύνολο των εκπομπών του αεροδρομίου.

Γράφημα 6.3 : Κατανομή των Εκπομπών του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών ανά Ρύπο για το Έτος 2004



Γράφημα 6.4 : Κατανομή των Εκπομπών του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών ανά Ρύπο για το Έτος 2005



Όσον αφορά στην εξέλιξη της ρύπανσης στο χρόνο, δε μπορούμε να εξάγουμε κάποια ασφαλή συμπεράσματα, καθώς διαθέτουμε τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα μόνο δύο ετών

λειτουργίας του αερολιμένα. Επιπρόσθετα, το έτος 2004 αποτελεί εξαιρετική περίπτωση λόγω των Ολυμπιακών Αγώνων που διεξήχθησαν και της αυξημένης επιβατικής κίνησης που προκλήθηκε στον ΔΑΑ.

6.3 Συνολικά συμπεράσματα

Τα συνολικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια:

- Η ολοκληρωμένη αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία αεροδρομίου απαιτεί την κατάστρωση μητρώου καταγραφής όλων των εκπομπών.
- Ακριβής καταγραφή των εκπεμπόμενων ρύπων μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο με τη διάκριση των εκπομπών σε κατηγορίες ανάλογα με την πηγή της ρύπανσης.
- Οι κατηγορίες στις οποίες μπορούμε να διακρίνουμε τις εκπομπές ώστε να τις εκτιμήσουμε καλύτερα είναι οι εξής: Εκπομπές από τις κινήσεις των αεροσκαφών, εκπομπές από τις βοηθητικές μονάδες παροχής ενέργειας των αεροσκαφών, εκπομπές από τα οχήματα και τον εξοπλισμό εδάφους, εκπομπές από τα μέσα μετακίνησης, εκπομπές από τις σταθερές πηγές. Οι κατηγορίες αυτές περιλαμβάνουν όλους τους μηχανισμούς δημιουργίας ρύπων που ενδεχομένως να δρουν σε ένα αεροδρόμιο.
- Η αναλυτική εκτίμηση των εκπομπών κάθε επί μέρους πηγής ρύπανσης, σύμφωνα με την προτεινόμενη μεθοδολογία απαιτεί τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή των παραγόμενων ρύπων. Επομένως, για να εφαρμοστεί χρειάζεται υψηλός βαθμός οργάνωσης της διεύθυνσης του εκάστοτε αερολιμένα.
- Η προτεινόμενη μεθοδολογία απαιτεί τη χρήση μεγάλου όγκου δεδομένων εισόδου. Η δυσκολία στη συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων και οι χρονοβόρες διαδικασίες επεξεργασίας των στοιχείων αποτελούν τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της μεθοδολογίας. Η χρήση πραγματικών καταγεγραμμένων δεδομένων και ο μικρός αριθμός υιοθετούμενων παραδοχών αυξάνουν σημαντικά το βαθμό ακρίβειας της μεθοδολογίας.
- Η μεθοδολογία περιλαμβάνει όλες τις πιθανές πηγές εκπομπών ενός αεροδρομίου κι επομένως μπορεί να προσαρμοστεί σε όλες τις κατηγορίες αεροδρομίων. Τηρώντας τις γενικές αρχές της μεθοδολογίας χρειάζεται μόνο η τροποποίηση των σχέσεων υπολογισμού σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα, ώστε να γίνει δυνατή η εφαρμογή αυτής στην εκάστοτε περίπτωση.
- Οι ετήσιες αθροιστικές τιμές που υπολογίζονται από την προτεινόμενη μεθοδολογία δεν έχουν πραγματικό φυσικό νόημα. Όμως η εκτίμηση των παραγόμενων εκπομπών και η αποτίμηση της συνεισφοράς των επί μέρους πηγών ρύπανσης πραγματοποιείται ευκολότερα με τη χρήση αθροιστικών τιμών.
- Η εκτίμηση των εκπεμπόμενων ρύπων από κάθε πηγή του αεροδρομίου είναι απαραίτητη για την εφαρμογή μέτρων διαχείρισης και περιορισμού της ρύπανσης. Έτσι μόνο μπορούν να προσανατολιστούν προς συγκεκριμένους στόχους οι εφαρμοζόμενες στρατηγικές και να αξιολογηθεί η απόδοσή τους.
- Η εκτίμηση των εκπομπών από τη λειτουργία των αεροδρομίων μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

6.4 Προτάσεις

Όπως αναφέρθηκε αναλυτικά στην πρώτη παράγραφο του παρόντος κεφαλαίου, οι εκπομπές που υπολογίστηκαν για την περίπτωση του Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών, προέκυψαν άλλοτε από την επεξεργασία πραγματικών δεδομένων και άλλοτε από τη χρήση υποθέσεων και εμπειρικών εκτιμήσεων. Για το λόγο αυτό, αναμένουμε κάποιο σφάλμα στις συγκεντρωτικές εκπομπές που υπολογίσαμε. Το σφάλμα αυτό μπορεί να είναι μεγάλο ή μικρό, ανάλογα με το πόσο εύστοχες θα αποδειχθούν οι παραδοχές που υιοθετήσαμε. Στην περίπτωση μας δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί επαλήθευση συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με μετρηθείσες τιμές, καθώς οι μετρήσεις είναι στιγμιαίες και δε μπορούν να αθροιστούν σε ετήσια βάση. Γενικότερα, η επαλήθευση των αποτελεσμάτων δε μπορεί να πραγματοποιηθεί στην προκειμένη χρονική περίοδο, καθώς θα ήταν απαραίτητη η γνώση περαιτέρω πληροφοριών που δε μπορούμε εκ των υστέρων να γνωρίζουμε εφόσον δεν υπάρχουν καταγραφές των διαφόρων δραστηριοτήτων. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, το μόνο που θα μπορούσε να εφαρμοστεί είναι κάποιοι έλεγχοι συσχέτισης για τις υποθέσεις που κάναμε και σε περίπτωση μεγάλης απόκλισης από την πραγματικότητα μία λεπτομερέστερη μελέτη για την εξαγωγή πιο αντιπροσωπευτικών υποθέσεων.

Σε μελλοντικές προσπάθειες εκτίμησης των εκπομπών από τη λειτουργία αεροδρομίου, συστήνουμε την κατάστρωση αρχείου δεδομένων όλων των πηγών και των συνιστωσών της ρύπανσης προτού ξεκινήσει η διαδικασία υπολογισμού. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί υψηλή διαθεσιμότητα στοιχείων και να μειωθεί ο αριθμός των πραγματοποιούμενων υποθέσεων, αυξάνοντας αυτομάτως την ακρίβεια των υπολογισμών.

6.5 Περαιτέρω έρευνα

Η μεθοδολογία που παρατέθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία, βρίσκει εφαρμογή σε όλες τις περιπτώσεις αεροδρομίων, καθώς περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά που μπορεί να συναντήσουμε σε ένα αερολιμένα. Βέβαια, λόγω της ποικιλίας των υφιστάμενων περιπτώσεων οφείλουμε να προσαρμόσουμε τη διαδικασία εκτίμησης σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες κάθε περίπτωσης. Ακόμα, η πληρότητα των διαθέσιμων στοιχείων διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο στην ακριβή εφαρμογή της μεθοδολογίας και στην περίπτωση που τα δεδομένα είναι ανεπαρκή πρέπει να την εμπλουτίσουμε με όσο το δυνατόν ακριβέστερες παραδοχές.

Για να αποφέρει τα μέγιστα οφέλη η μεθοδολογία που αναπτύξαμε, πρέπει να είναι ενταγμένη στα πλαίσια ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης της ρύπανσης, όπως αυτό περιγράφεται στο κεφάλαιο 2. Η μεμονωμένη εφαρμογή της μπορεί να προσφέρει μόνο ενδεικτικές εκτιμήσεις και άρα να οδηγήσει σε μονομερή αντιμετώπιση του φαινομένου της ρύπανσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Ashford Norman, Wright H. Paul.** *Airport Engineering, Third Edition.* Wiley Interscience Publication.
- **Athens International Airport.** *Aircraft Emissions Inventory for Athens International Airport. Final Report (Years 2001-2004).* Athens 2005
- **BAA Heathrow.** *Sustainability Report 2003/04.* Heathrow 2005
- **Buchair & Co.** *JP airline fleets international.* Edition 2004/2005
- **Boyle A. Karleen.** *Evaluating Particulate Emissions from Jet Engines: Analysis of Chemical and Physical Characteristics and Potential Impacts on Coastal Environments and Human Health.* Transportation Research, Record 1517
- **Bristow A., Tight M.** *Monetary evaluation for environmental impacts.* Notes from the module Transport and the Environment. Institute of Transport Studies. University of Leeds. Leeds 2001
- **Bristow A., Tight M.** *Global impacts of transport.* Notes from the module Transport and the Environment. Institute of Transport Studies. University of Leeds. Leeds 2001
- **CAA Finland.** *CAA Environment Report 2003.* Finnish Civil Aviation Authority. Vantaa 2004
- **CAA Finland.** *CAA Environment Report 2004.* Finnish Civil Aviation Authority. Helsinki 2005
- **Clark I. Alistair, McIntyre E. Alun, Perry Roger, Lester N. John.** *Air Quality Measurement in the Vicinity of Airports.* Environmental Pollution (Series B) 6 , 245-261. Applied Science Publishers Ltd. London 1983
- **Dillingham L. Gerald.** *Aviation's Effects on the Global Atmosphere Are Potentially Significant and Expected to Grow.* United States General Accounting Office. Washington 2000
- **Dusseldorf International Airport.** *Summary of the Aircraft Emissions and Dispersion Calculation.* Aircraft Noise and Air Quality. Dusseldorf 2000
- **Dusseldorf International Airport.** *Umweltreport.* Dusseldorf 2002
- **Farias F., Apsimon H.** *Relative contributions from traffic and aircraft NOx emissions to exposure in West London.* Environmental Modelling & Software. Elsevier Ltd (www.elsevier/locate/envsoft) 2005
- **Ferrar A. Terry.** *The allocation of airport capacity with emphasis on environmental quality.* Transportation Research, Vol.8, pp. 163-169. Pergamon Press 1974
- **Fleuti Emanuel.** *Airport Air Quality.* Air & Space Europe Vol.2, No 3. 2001

- **Francis Graham, Humphreys Ian, Fry Jackie.** *The benchmarking of airport performance.* Journal of Air Transport Management, 8, 239-247 (Internet Database). Elsevier Science Ltd (www.elsevier.com/locate/jairtraman) 2002
- **Fraport.** *Environmental Statement 2002. Environmental Protection and Management at Frankfurt Airport.* Frankfurt Airport Services Worldwide 2002
- **Hamburg Airport.** *Environmental Statement 2002.* Hamburg 2002
- **Herz Olivier.** *Transport aérien et pollution atmosphérique.* The Science of the Total Environment, 134, 335-342. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam 1993
- **ICAO.** *ICAO Engine Exhaust Emissions Data Bank* (Doc 9646-AN/943). Issue 13
- **Janic Milan.** *Aviation and externalities: the accomplishments and problems.* Transportation Research Part D, 4, 159-180. Elsevier Science Ltd 1999
- **Moussiopoulos N., Sahm P., Karatzas K., Papalexiou S., Karagiannidis A.** *Assessing the impact of the new Athens airport to urban air quality with contemporary air pollution models.* Atmospheric Environment Vol. 31, No 10, pp. 1497-1511 Elsevier Science Ltd. Great Britain 1997
- **Munich International Airport.** *Environmental Protection at Munich Airport.* Munich 2000
- **Neville Richard, Odoni Amedeo.** *Airport Systems. Planning, design and management.* McGraw Hill.
- **New Tokyo International Airport Authority.** *2001 Environmental Report. Creating an Eco-Airport.* Narita 2001
- **Nichols T. P., Leinster P., McIntyre A.E., Lester J. N., Perry R.** *A survey of air pollution in the vicinity of Heathrow airport (London).* The science of the Total Environment, 19, 285-292. Elsevier Scientific Publishing Company 1981
- **Peace Hazel, Maughan Janet, Owen Bethan, Raper David.** *Identifying the contribution of different airport related sources to local urban air quality.* Environmental Modelling & Software. Elsevier Ltd (www.elsevier.com/locate/envsoft) 2005
- **Perl Anthony, Paterson Judith, Perez Marc.** *Pricing aircraft emissions at Lyon-Satolas airport.* Transportation Research Part D, Vol.2, No.2, pp.89-105. Elsevier Science Ltd 1997
- **Pison Isabelle, Menut Laurent.** *Quantification of the impact of aircraft traffic emissions on tropospheric ozone over Paris area.* Atmospheric Environment, 38, 971-983. Elsevier Ltd (www.elsevier.com/locate/atmosenv) 2004

- **Plante Liang, Draper Webb, Augustine Pernigotti.** *Air Quality Procedures For Civilian Airports & Air Force Bases (FAA Air Quality Handbook).* Federal Aviation Administration. Washington DC 1997
- **Unal Alper, Hu Yongtao, Chang E. Michael, Odman T. M., Russell G. Armistead.** *Airport related emissions and impacts on air quality: Application to the Atlanta International Airport.* Atmospheric Environment, 39, 5787-5798. Elsevier Ltd (www.elsevier.com/locate/atmosenv) 2005
- **Unique.** *2004 Environmental Report.* Unique (Flughafen Zurich AG) Zurich Airport 2005
- **Upham Paul, Raper David, Thomas Callum, McLellan Mark, Lever Martin, Lieuwen Arthur.** *Environmental capacity and European air transport: stakeholder opinion and implications for modelling.* Journal of Air Transport Management, 10, 199-205. Elsevier Ltd (www.elsevier.com/locate/jairtraman) 2004
- **Wacker Manfred, Schmid Volker.** *Environmental Effects of Various Modes of Passenger Transportation.* Transportation Research, Record 1815, Paper No. 02-3465
- **Wiley R. John.** *Airport administration and management.* ENO Foundation for transportation, inc. Westport. Connecticut 1986
- **Winther Morten.** *Improved overview of aircraft pollution and fuel consumption.* Project title: 1998 Fuel use and emissions for Danish IFR flights. National Environmental Research Institute. Internet Database (<http://www.mst.dk/project/NyViden/2001/09010000.htm>)
- **Yacobucci Brent.** *Diesel Fuel and Engines: An Overview of New Emissions Regulations.* Congressional Research Service. Internet Database (<http://www.ncseonline.org/NLE/CRSreports/Air/air-37.cfm>) 2000
- **Yu N. K., Cheung P. Y., Cheung T., Henry C. Ronald.** *Identifying the impact of large urban airports on local air quality by nonparametric regression.* Atmospheric Environment, 38, 4501-4507. Elsevier Ltd (www.elsevier.com/locate/atmosenv) 2004
- **Αμπακούμκιν Κ. Γ.** *Αεροδρόμια.* Εκδόσεις Συμμετρία. Αθήνα 1990
- **Ζαϊμη Γ. Ευαγγελία, Σταθόπουλος Α.** *Συσχέτιση κυκλοφορίας και ρύπανσης – Μέτρα και πολιτικές μείωσης εκπομπών στην ευρωπαϊκή ένωση.* Μεταπτυχιακή Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παραγωγή και Διαχείριση Ενέργειας». Αθήνα 2005
- **Καββαδάς Μ., Πανταζίδου Μ.** *Στοιχεία Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής.* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Έκδοση Ε.Μ.Πολυτεχνείου. Αθήνα 2004
- **Καπατσώρης Δ., Μπαλλής Δ.** *Θόρυβος Αεροδρομίων και Συμβατές Χρήσεις Γης.* Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής. Αθήνα 2004

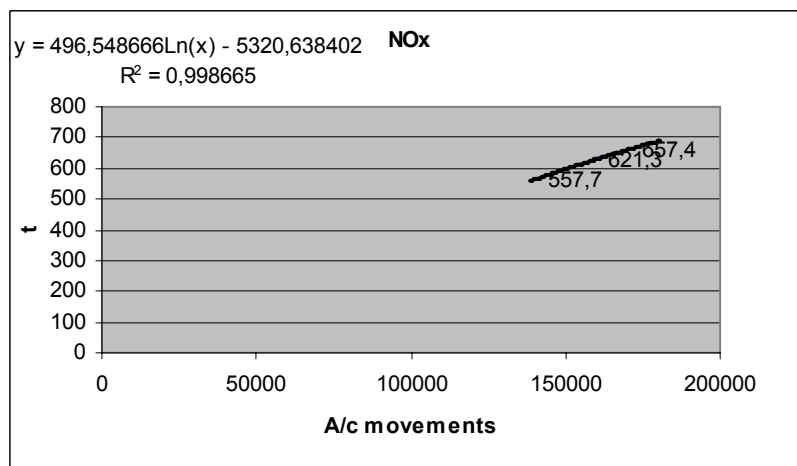
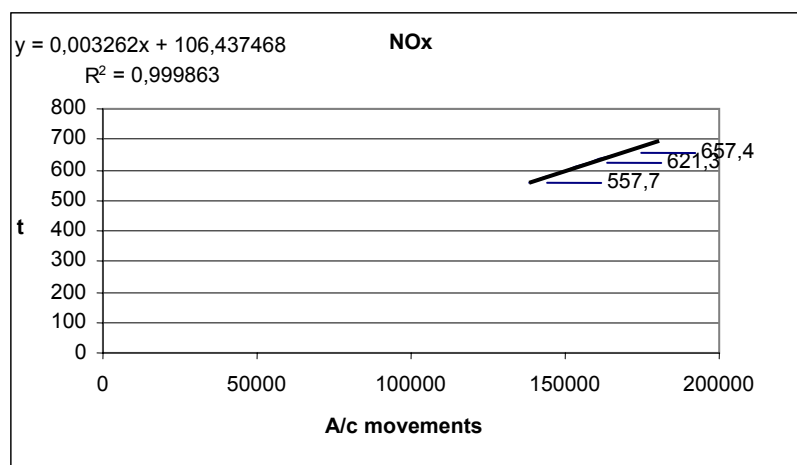
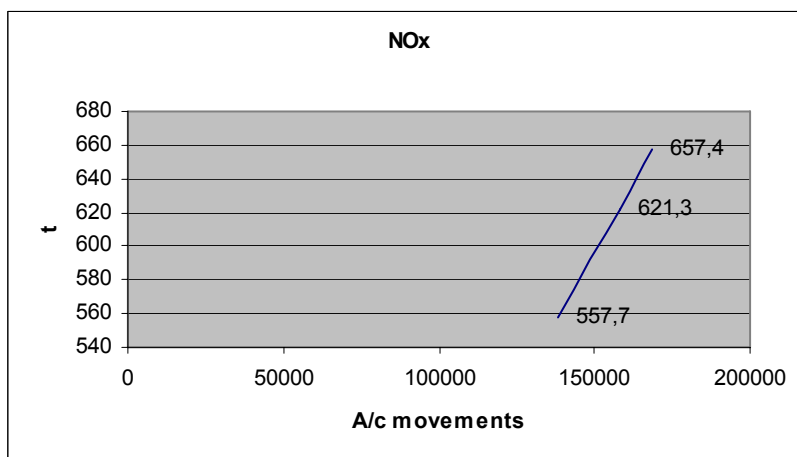
- **Ροντήρη Κλεάνθη, Σίμον Δημήτρα, Τσαμπούλας Δημήτριος.** *Εκτίμηση Παραμέτρων Σχεδιασμού Χώρου Στάθμευσης σε Αεροδρόμια.* Διπλωματική Εργασία. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής. Αθήνα 2005
- **Τσαμπούλας Δ., Κορυζής Δ., Ροϊδάκης Α.** *Οικονομικός και οργανωτικός σχεδιασμός ανάπτυξης Ελληνικών αεροδρομίων.*
- **Τσαμπούλας Δ., Αμπακούμιν Κ., Σταθόπουλος Α., Καρλαύτης Μ., Κόλιας Σ., Λοΐζος Α., Γκόλιας Ι., Λυμπέρης Κ.** *Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις Συστημάτων Μεταφορών.* Σημειώσεις κατά την παράδοση. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής. Αθήνα 2002
- **Τσώχος Γεώργιος.** *Περιβαλλοντική Οδοποιία.* University studio press. Θεσσαλονίκη 1997
- **Χατζημπίρος Κίμων, Ανδρεαδάκης Ανδρέας.** *Οικολογία για Μηχανικούς.* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσίων Έργων. Αθήνα 2000

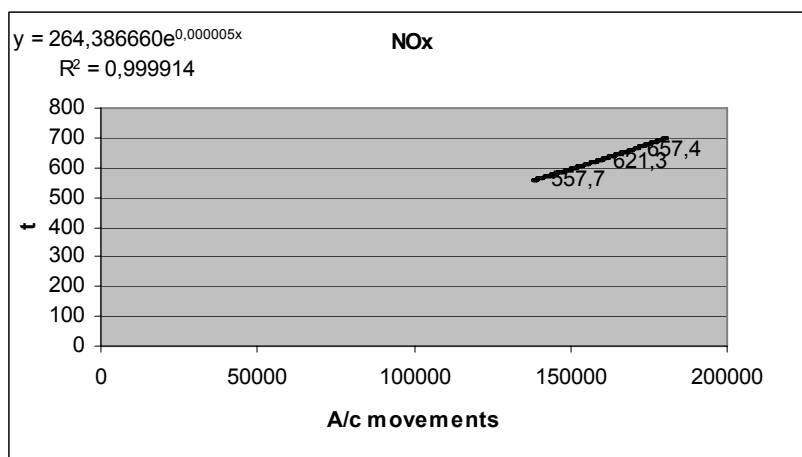
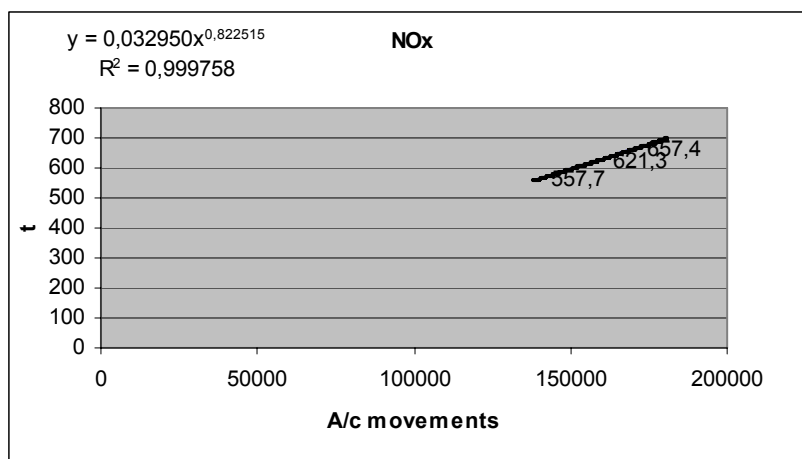
Δικτυακοί Τόποι

- www.aia.gr
- www.epa.gov
- www.faa.gov
- www.google.gr
- www.heal-link.gr
- www.icao.int
- www.lib.ntua.gr
- www.naei.org.uk
- www.sciencedirect.com
- <http://en.wikipedia.org>
- <http://ntl.bts.gov>
- <http://reports.eea.eu.int/EMEP-CORINAIR3/en>
- <http://www.oecd.org/env>

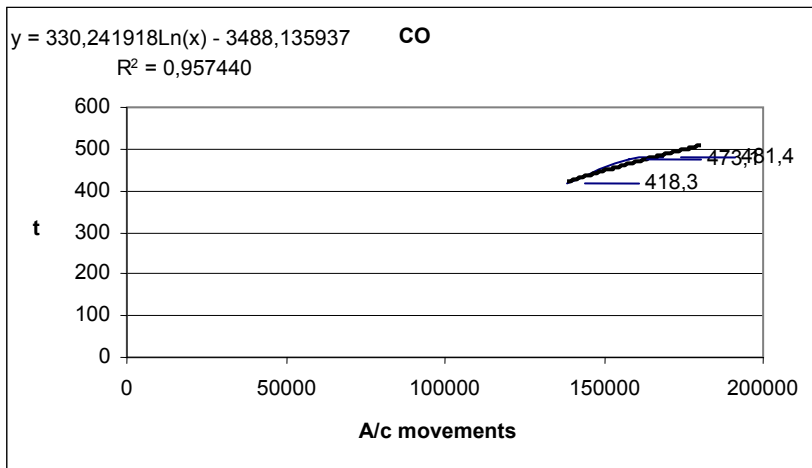
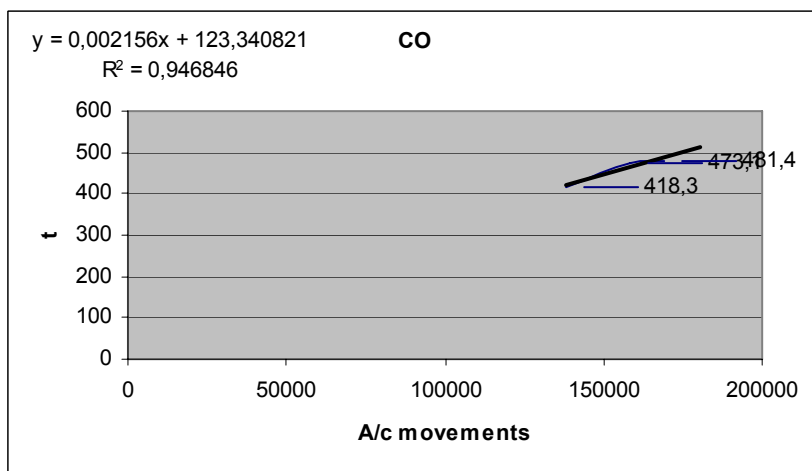
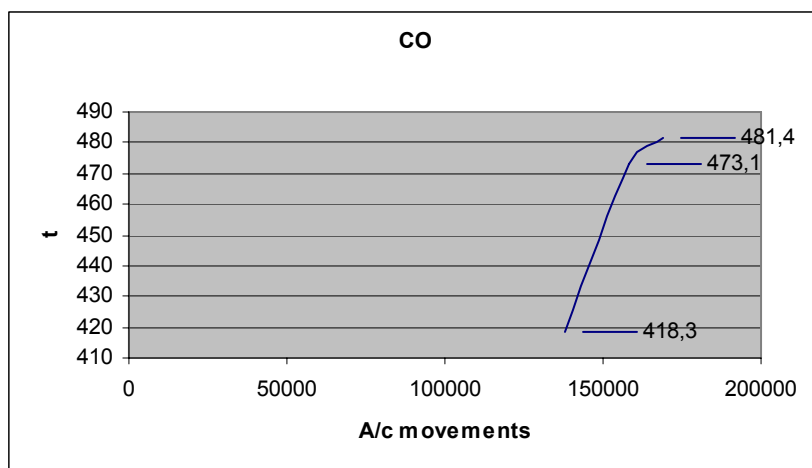
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

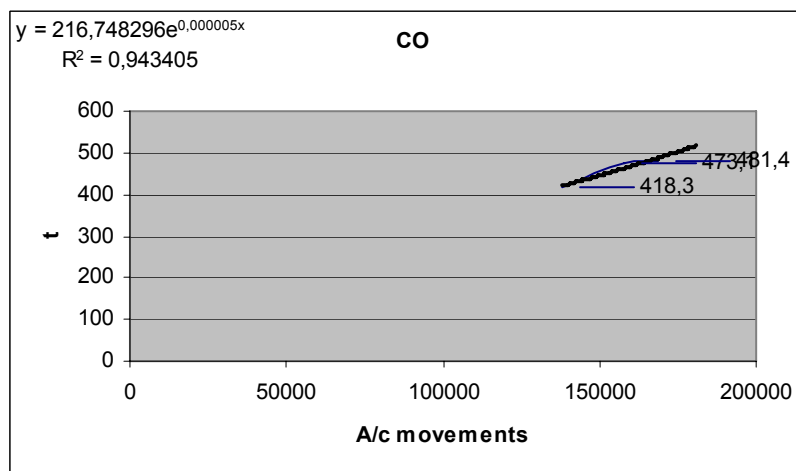
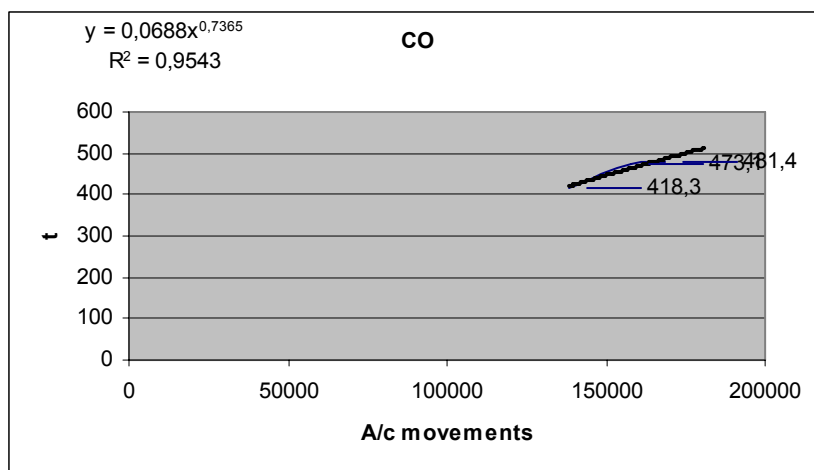
ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ



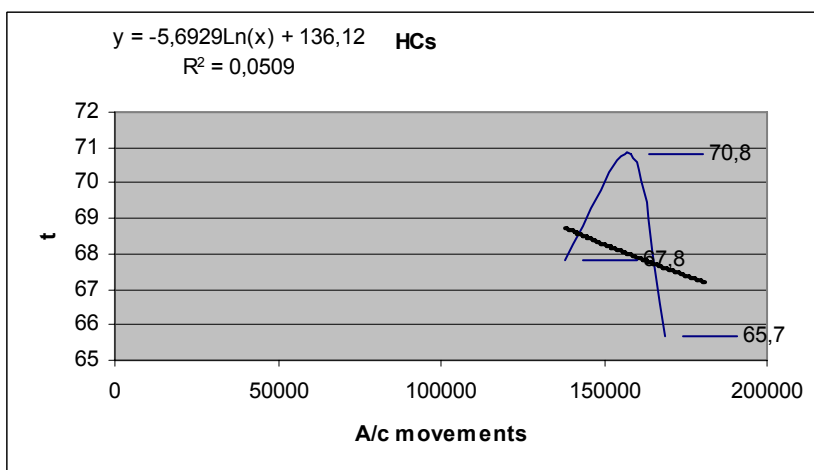
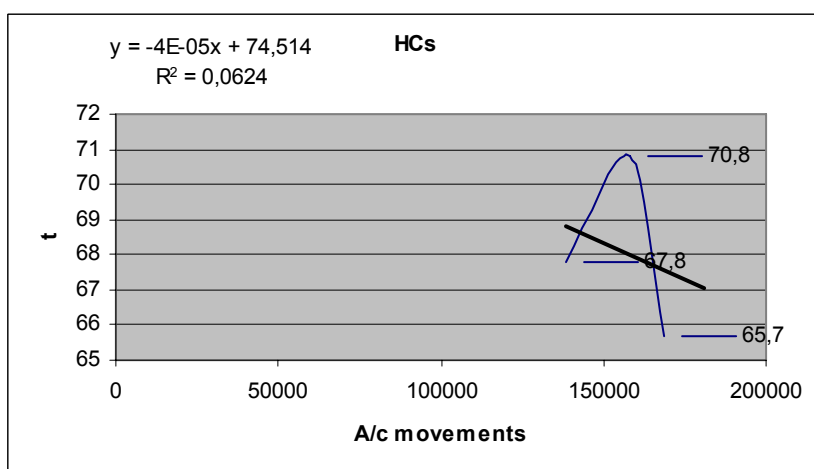
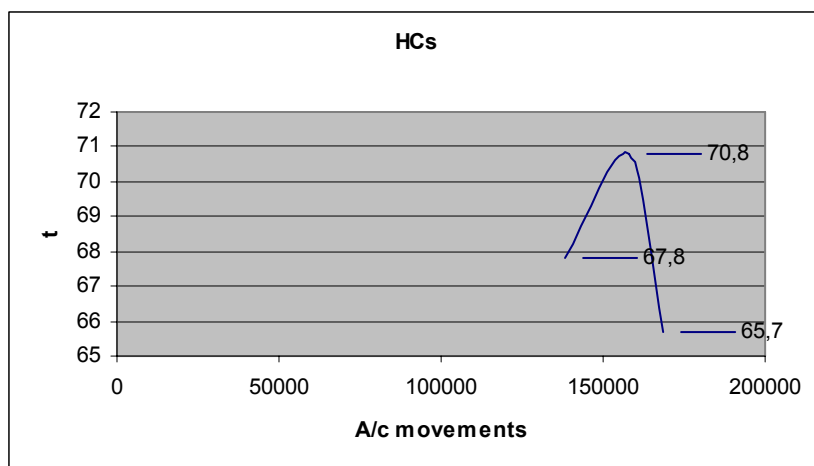


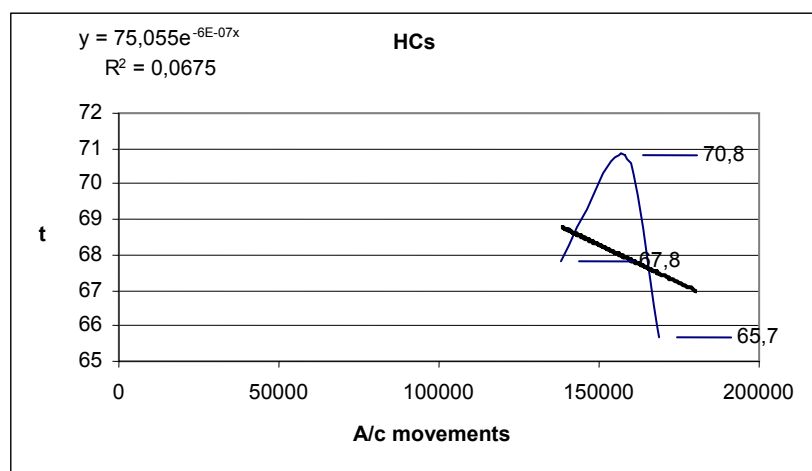
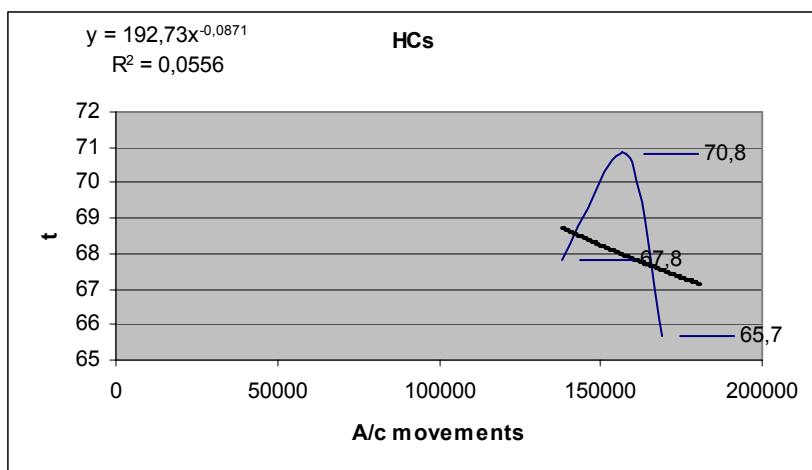
Etos	Rupos	a/c
	Nox	
2001	557,7	138276
2002	621,3	158053
2003	657,4	168781
2005	696	180734





Etos	Rupos	a/c
	CO	
2001	418,3	138276
2002	473,1	158053
2003	481,4	168781
2005	509,4	180734





Etos	Rupos	a/c
	HCs	
2001	67,8	138276
2002	70,8	158053
2003	65,7	168781
2005	67,3	180734

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ Α/Φ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ APU (2004)

Aircraft Type	2. Engine Type	3. APU Group	Movements
A300, all Series	CF6-50C	J2	1.339
A310, all Series	CF6-80A	J2	508
A318, A319	CFM56-5A5	J1	1.905
A320	CFM56-5A1	J1	6.992
A321	V2530-A5	J1	3.538
A330	PW4168	J3	363
A340	CFM56-5C4	J3	785
Antonov	IV A1-20K (Dart RDa7)		314
ATR-42	PW-120		4.539
ATR-72	PW-125B		8.950
Boeing 707, all Series	JT3D-3B	J2	1
Boeing 717, 727	JT8D-15	J2	2.322
Boeing 737, unknown	CFM56-3B1	J1	-
Boeing 737-200	JT8D-9	J1	15
Boeing 737-300	CFM56-3B1	J1	9.635
Boeing 737-400	CFM56-3C1	J1	19.805
Boeing 737-500	CFM56-3B1	J1	848
Boeing 737-600	CFM56-7B18	J1	178
Boeing 737-700	CFM56-7B18	J1	1.741
Boeing 737-800, 900	CFM56-7B26	J1	1.701
Boeing 747, all Series	CF6-80C2B4	J3	230
Boeing 757-200	PW2040	J2	484
Boeing 757-300	PW2040	J2	292
Boeing 767-200, 300	PW4060	J2	1.451
Boeing 777	TRENT 872	J3	213
BAC 1-11, all Series	Spey MK 511-8	J1	31
BAe 146 all Series	LF507	J1	617
Beech Super King 200	PT6A-42		357
Canadair Challenger	CF34-3A1	J1	583
CL65 Regional Jet	CF34-3A1	J1	-
DC-10, all Series	CF6-50C	J3	4
DC-8, all Series	CFM56-5C2	J3	7
Dash 8, all Series	PW125B		2.928
Embraer EMB-121	PT6A-27		12
Embraer EMB-135	AE3007A1/3	J1	703
Embraer EMB-145	AE3007A1/3	J1	9
Fokker F27	RR Dart 528-7E		87
Fokker F28	Spey 555	J1	-
Fokker F50	PW125B		15
Fokker F70	RR Tay MK620-15	J1	185
Fokker F100	RR Tay MK650-15	J1	815
Ilyushin Il 76	D-30KP-2	J3	20
MD-11	PW4460	J3	284
MD-80, all Series	JT8D-217	J1	1.675
MD-90/95	V2525-D5	J1	261
Avro RJ, all Series	LF507	J1	8.340
Saab 2000	GMA 2100A		-
Saab 340	CT7-9B		807
Swearingen Metro III	TPE331-2		-
Swearingen Metro IV	TPE331-3		2.703
Tupolev 134 A	D-30-2	J1	2
Tupolev 154 M	NK-8-2U	J1	300

Yak 40	D-36	J1	305
Jets, 2-engines	CFM56-3C-1	J1	-
Jets, 3-engines	CFM56-3C-1	J2	-
Jets, 4-engines	CFM56-3C-1	J3	-
Businessjets, 2-engines	CF700-2D	J1	-
Businessjets, 3-engines	CF700-2D	J2	-
Turboprops, 1-engine	PT6A-27		-
Turboprops, 2-engines	PT6A-27		-
Turboprops, 3-engines	RR Dart 552-7R		-
Turboprops, 4-engines	501D22A		-
Piston 1-engine	IO-320-DIAD		-
Piston 2-engines	IO-360-B		-
Piston 4-engines	R2800		-
Helicopter, 1 Turbine	Artouste IIIB		82
Helicopter, 2 Turbines	Makila		2.394
Total Air Traffic		Cycles	89.199

ΠΟΣΟΣΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ APUs

APU	Share/Use of A/C		
21. APU-running time for group J1	55%	h/cycle	0,50
22. APU-running time for group J2	55%	h/cycle	0,50
23. APU-running time for group J3	55%	h/cycle	0,50

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ APUs (2004)

APU		
31. APU-Factors Group J1		
Fuel	kg/h	69
Nox	g/kg	5,1
VOC	g/kg	1,0
CO	g/kg	12,0
PM	g/kg	0,2
32. APU-Factors Group J2		
Fuel	kg/h	121
Nox	g/kg	7,4
VOC	g/kg	0,7
CO	g/kg	10,4
PM	g/kg	0,2
33. APU-Factors Group J3		
Fuel	kg/h	314
Nox	g/kg	7,6
VOC	g/kg	

		0,3
CO	g/kg	5,6
PM	g/kg	0,2
34. Cycles		
Cylces Group J1		33.101
Cylces Group J2		3.518
Cylces Group J3		1.048
35. Results		
Fuel APU	t/a	1.519,8
NOx APU	t/a	8,7
VOC APU	t/a	1,3
CO APU	t/a	16,8
PM APU	t/a	0,3
CO2 APU	t/a	4.817,9

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ Α/Φ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ APU (2005)

Aircraft Type	2. Engine Type	3. APU Group	Movements
A300, all Series	CF6-50C	J2	1.970
A310, all Series	CF6-80A	J2	329
A318, A319	CFM56-5A5	J1	1.633
A320	CFM56-5A1	J1	6.018
A321	V2530-A5	J1	4.147
A330	PW4168	J3	456
A340	CFM56-5C4	J3	1.363
Antonov	IV A1-20K (Dart RDa7)		233
ATR-42	PW-120		5.570
ATR-72	PW-125B		8.144
Boeing 707, all Series	JT3D-3B	J2	6
Boeing 717, 727	JT8D-15	J2	3.183
Boeing 737, unknown	CFM56-3B1	J1	-
Boeing 737-200	JT8D-9	J1	4
Boeing 737-300	CFM56-3B1	J1	7.279
Boeing 737-400	CFM56-3C1	J1	19.548
Boeing 737-500	CFM56-3B1	J1	585
Boeing 737-600	CFM56-7B18	J1	212
Boeing 737-700	CFM56-7B18	J1	1.164
Boeing 737-800, 900	CFM56-7B26	J1	1.545
Boeing 747, all Series	CF6-80C2B4	J3	108
Boeing 757-200	PW2040	J2	496
Boeing 757-300	PW2040	J2	98
Boeing 767-200, 300	PW4060	J2	1.360
Boeing 777	TRENT 872	J3	228
BAC 1-11, all Series	Spey MK 511-8	J1	-
BAe 146 all Series	LF507	J1	499

Beech Super King 200	PT6A-42		405
Canadair Challenger	CF34-3A1	J1	365
CL65 Regional Jet	CF34-3A1	J1	178
DC-10, all Series	CF6-50C	J3	-
DC-8, all Series	CFM56-5C2	J3	11
Dash 8, all Series	PW125B		2.515
Embraer EMB-121	PT6A-27		154
Embraer EMB-135	AE3007A1/3	J1	23
Embraer EMB-145	AE3007A1/3	J1	456
Fokker F27	RR Dart 528-7E		20
Fokker F28	Spey 555	J1	-
Fokker F50	PW125B		740
Fokker F70	RR Tay MK620-15	J1	130
Fokker F100	RR Tay MK650-15	J1	494
Ilyushin Il 76	D-30KP-2	J3	5
MD-11	PW4460	J3	204
MD-80, all Series	JT8D-217	J1	1.367
MD-90/95	V2525-D5	J1	85
Avro RJ, all Series	LF507	J1	8.673
Saab 2000	GMA 2100A		4
Saab 340	CT7-9B		1
Swearingen Metro III	TPE331-2		-
Swearingen Metro IV	TPE331-3		-
Tupolev 134 A	D-30-2	J1	2
Tupolev 154 M	NK-8-2U	J1	233
Yak 40	D-36	J1	125
Jets, 2-engines	CFM56-3C-1	J1	-
Jets, 3-engines	CFM56-3C-1	J2	-
Jets, 4-engines	CFM56-3C-1	J3	-
Businessjets, 2-engines	CF700-2D	J1	-
Businessjets, 3-engines	CF700-2D	J2	-
Turboprops, 1-engine	PT6A-27		-
Turboprops, 2-engines	PT6A-27		-
Turboprops, 3-engines	RR Dart 552-7R		-
Turboprops, 4-engines	501D22A		-
Piston 1-engine	IO-320-DIAD		-
Piston 2-engines	IO-360-B		-
Piston 4-engines	R2800		-
Helicopter, 1 Turbine	Artouste IIIB		-
Helicopter, 2 Turbines	Makila		-
Total Air Traffic		Cylces	82.368

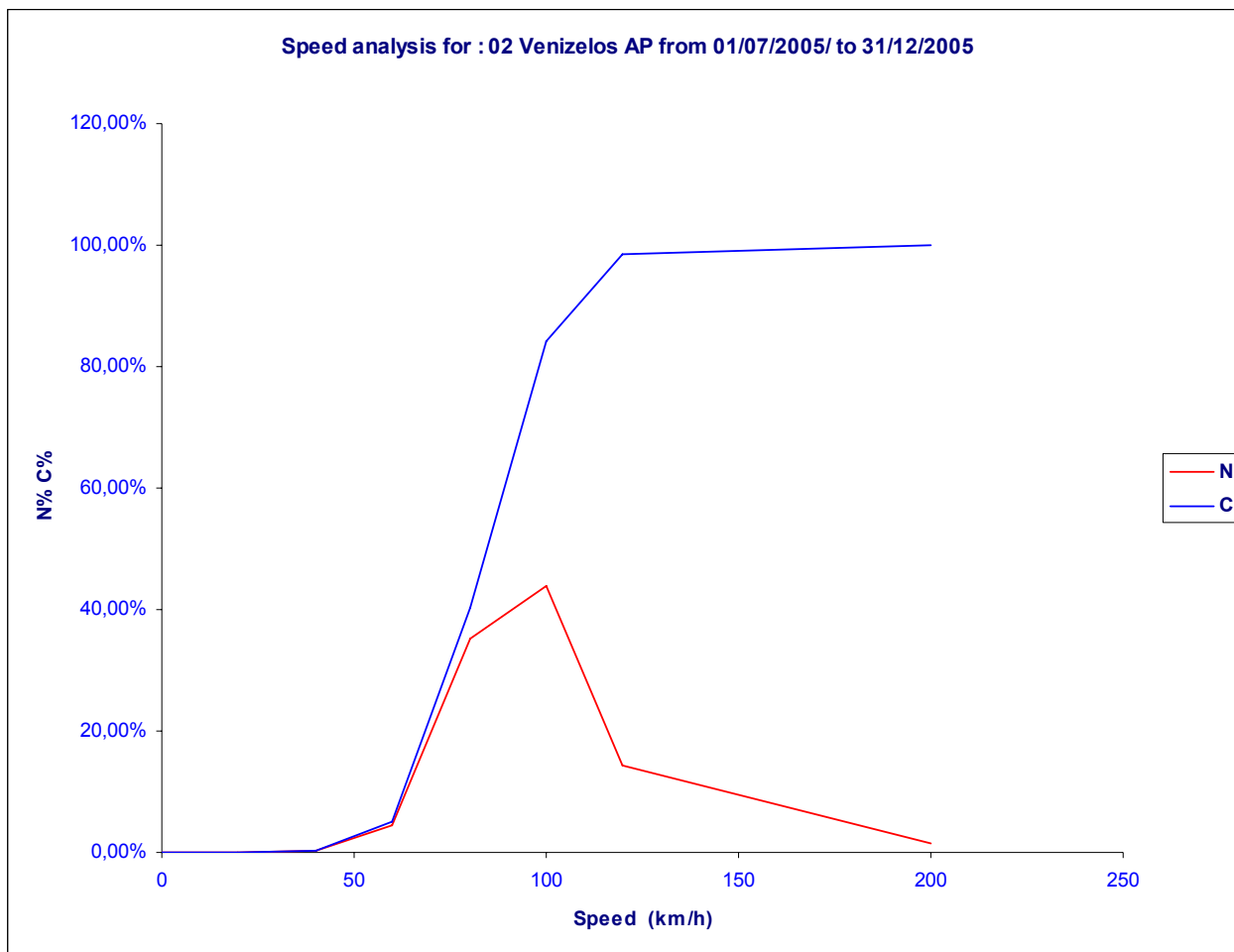
ΠΟΣΟΣΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ APUs

APU	Share/Use of A/C		
21. APU-running time for group J1	55%	h/cycle	0,50
22. APU-running time for group J2	55%	h/cycle	0,50
23. APU-running time for group J3	55%	h/cycle	0,50

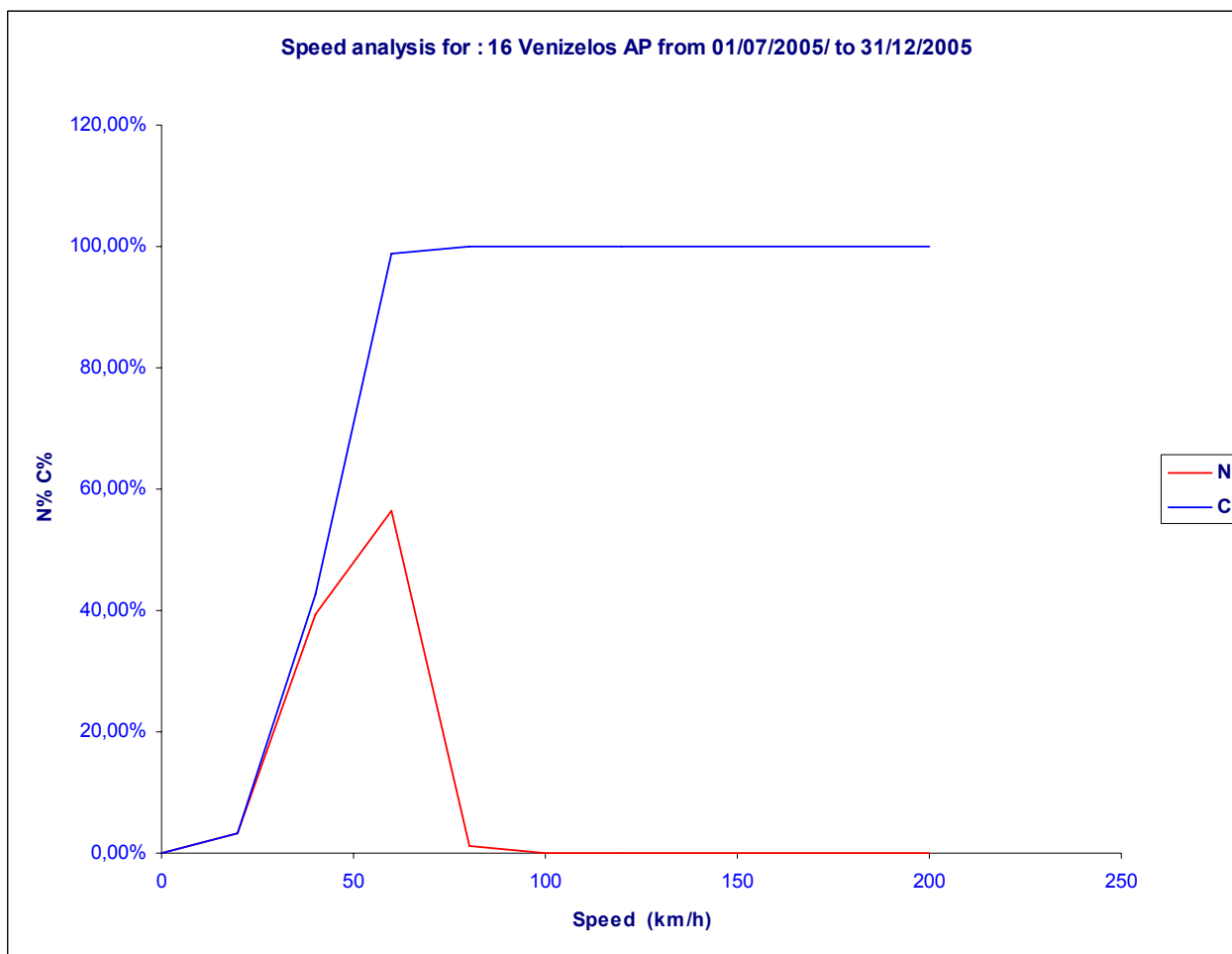
ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ APUs (2005)

APU		
31. APU-Factors Group J1		
Fuel	kg/h	69
Nox	g/kg	5,1
VOC	g/kg	1,0
CO	g/kg	12,0
PM	g/kg	0,2
32. APU-Factors Group J2		
Fuel	kg/h	121
Nox	g/kg	7,4
VOC	g/kg	0,7
CO	g/kg	10,4
PM	g/kg	0,2
33. APU-Factors Group J3		
Fuel	kg/h	314
Nox	g/kg	7,6
VOC	g/kg	0,3
CO	g/kg	5,6
PM	g/kg	0,2
34. Cycles		
Cylces Group J1		30.121
Cylces Group J2		4.093
Cylces Group J3		1.306
35. Results		
Fuel APU	t/a	1.492,4
NOx APU	t/a	8,7
VOC APU	t/a	1,3
CO APU	t/a	16,2
PM APU	t/a	0,3
CO2 APU	t/a	4.730,8

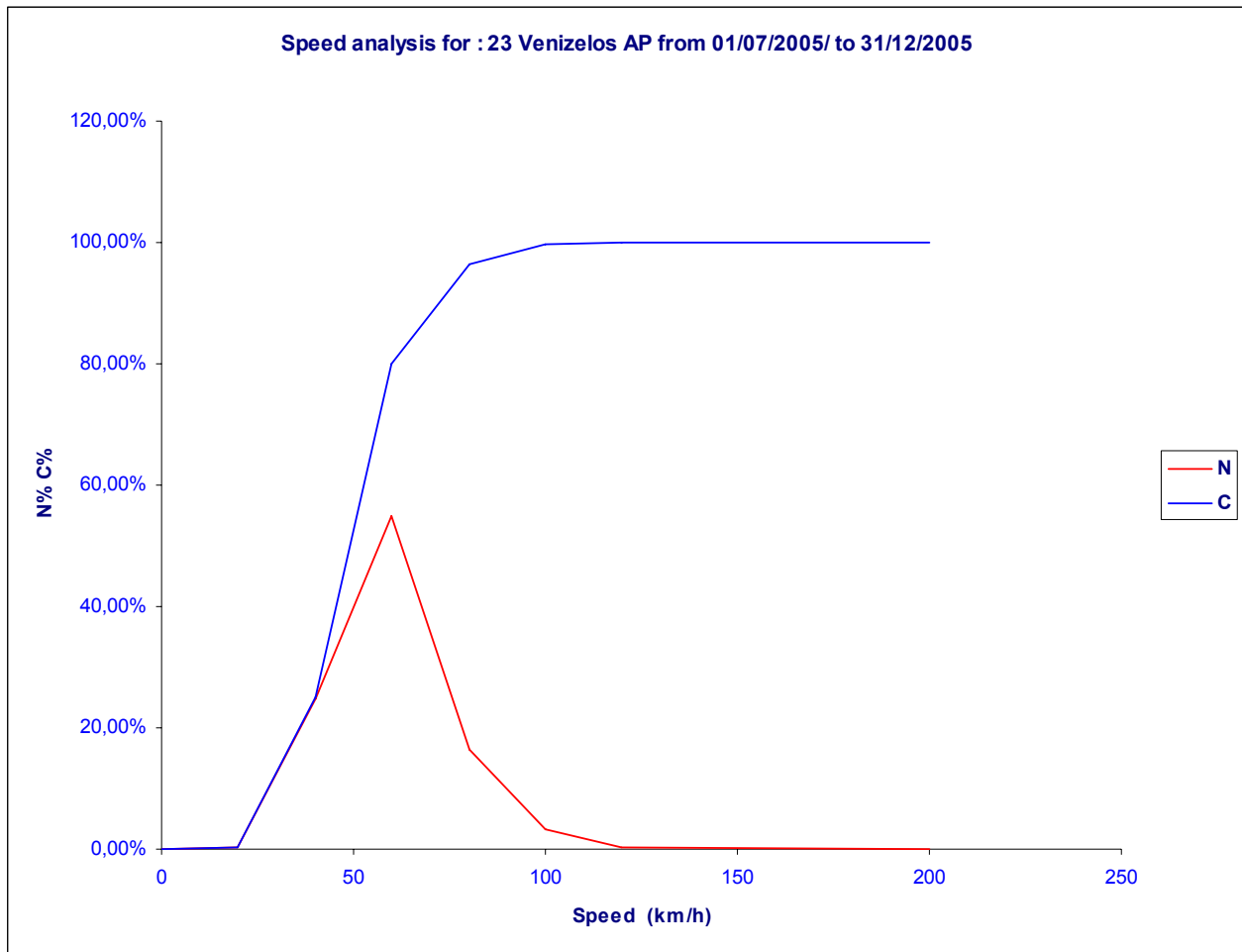
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΣΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ



S	N	C
0	0,00%	0,00%
20	0,03%	0,03%
40	0,32%	0,35%
60	4,60%	4,95%
80	35,29%	40,24%
100	43,91%	84,15%
120	14,38%	98,53%
200	1,47%	100,00%



S	N	C
0	0,00%	0,00%
20	3,19%	3,19%
40	39,45%	42,64%
60	56,28%	98,92%
80	1,07%	99,99%
100	0,01%	100,00%
120	0,00%	100,00%
200	0,00%	100,00%



S	N	C
0	0,00%	0,00%
20	0,29%	0,29%
40	24,86%	25,15%
60	54,95%	80,10%
80	16,30%	96,40%
100	3,32%	99,73%
120	0,26%	99,99%
200	0,01%	100,00%

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Συντελεστές Εκπομπών NOx μοτοσυκλετών (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
0,629	0,337	0,337	0,629
0,629	0,152	0,152	0,629
0,629	0,152	0,152	0,629
0,629	0,152	0,152	0,629

Συντελεστές Εκπομπών NOx Ι.Χ. (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
0,385	0,268	0,268	0,385
0,385	0,196	0,196	0,385
0,385	0,196	0,196	0,385
0,385	0,196	0,196	0,385

Συντελεστές Εκπομπών NOx φορτηγών (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
5,161	6,478	6,478	5,161
5,161	6,599	6,599	5,161
5,161	6,599	6,599	5,161
5,161	6,599	6,599	5,161

Συντελεστές Εκπομπών NOx λεωφορείων (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
4,597	3,936	3,936	4,597
4,597	4,009	4,009	4,597
4,597	4,009	4,009	4,597
4,597	4,009	4,009	4,597

Εκπομπές NOx μέσων (gr)				
Μοτοσυκλέτες	Ι.Χ.	Φορτηγά	Λεωφορεία	Σύνολα
260885	19030011	6800951	2465339	28557187
17314	1005747	1403885	2147350	4574296
19548	1400204	617347	36013	2073112
67208	2403693	9124151	5729629	17324681
364954	23839655	17946335	10378331	52529275
Μοτοσυκλέτες	Ι.Χ.	Φορτηγά	Λεωφορεία	Σύνολα
244923	19489441	4818141	2139220	26691726
12064	890005	1379122	1894137	4175329
31460	2458300	749761	53569	3293090
63096	2461724	6464015	4971704	13960538
351544	25299471	13411039	9058630	48120684

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Συντελεστές Εκπομπών CO μοτοσυκλετών (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
19,252	15,575	15,575	19,252
19,252	14,019	14,019	19,252
19,252	14,019	14,019	19,252
19,252	14,019	14,019	19,252

Συντελεστές Εκπομπών CO Ι.Χ. (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
0,520	0,539	0,539	0,520
0,520	0,603	0,603	0,520
0,520	0,603	0,603	0,520
0,520	0,603	0,603	0,520

Συντελεστές Εκπομπών CO φορτηγών (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
1,109	1,171	1,171	1,109
1,109	1,411	1,411	1,109
1,109	1,411	1,411	1,109
1,109	1,411	1,411	1,109

Συντελεστές Εκπομπών CO λεωφορείων (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
0,564	0,595	0,595	0,564
0,564	0,717	0,717	0,564
0,564	0,717	0,717	0,564
0,564	0,717	0,717	0,564

Εκπομπές CO μέσων (gr)				
Μοτοσυκλέτες	Ι.Χ.	Φορτηγά	Λεωφορεία	Σύνολα
9760697	32002395	1311904	341276	43416272
609874	1611460	301221	290735	2813290
702545	2293255	132438	4934	3133172
2534947	4140791	1956654	805948	9438340
13608063	40047901	3702216	1442894	58801073
Μοτοσυκλέτες	Ι.Χ.	Φορτηγά	Λεωφορεία	Σύνολα
9163507	32775010	929420	296132	43164068
424969	1426013	295908	256452	2403342
1130676	4026206	160844	7339	5325065
2379851	4240760	1386194	699336	8706140
13099003	42467988	2772365	1259259	59598615

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ

Συντελεστές Εκπομπών HC μοτοσυκλετών (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
0,900	0,765	0,765	0,900
0,900	0,984	0,984	0,900
0,900	0,984	0,984	0,900
0,900	0,984	0,984	0,900

Συντελεστές Εκπομπών HC Ι.Χ. (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
0,036	0,036	0,036	0,036
0,036	0,038	0,038	0,036
0,036	0,038	0,038	0,036
0,036	0,038	0,038	0,036

Συντελεστές Εκπομπών HC φορτηγών (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
0,539	0,523	0,523	0,539
0,539	1,223	1,223	0,539
0,539	1,223	1,223	0,539
0,539	1,223	1,223	0,539

Συντελεστές Εκπομπών HC λεωφορείων (gr/km)			
Κόμβος - PLL	PLL - προορισμός	προορισμός - PLL	PLL - Κόμβος
0,273	0,264	0,264	0,273
0,273	0,310	0,310	0,273
0,273	0,310	0,310	0,273
0,273	0,310	0,310	0,273

Εκπομπές HC μέσων (gr)				
Μοτοσυκλέτες	Ι.Χ.	Φορτηγά	Λεωφορεία	Σύνολα
468751	2168742	606410	156882	3400785
31316	108760	180691	136238	457005
36500	154311	81149	2303	274264
135271	276767	1254294	373161	2039493
671839	2708580	2122543	668585	6171546
Μοτοσυκλέτες	Ι.Χ.	Φορτηγά	Λεωφορεία	Σύνολα
440071	2221101	429612	136129	3226913
21821	96244	177504	120173	415742
58744	270920	98554	3426	431644
126995	283449	888606	323799	1622848
647631	2871714	1594275	583527	5697147

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΠΡΟΑΣΤΙΑΚΟΥ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΥ

Έτος	2004	2005
Αριθμός Διελύσεων	35200	52714
Χρόνος Χρήσης (min)	176000	263570
Χρόνος Χρήσης (h)	2933	4393
Καταναλισκόμενη Ισχύς (KWh)	918133	1374957
Κατανάλωση Καυσίμου (Kg)	213925	320365
Εκπομπές CO (Kg) [max 4,0 g/KWh]	3673	5500
Εκπομπές NOx (Kg) [max 7,0 g/KWh]	6427	9625
Εκπομπές HC (Kg) [max 1,1 g/KWh]	1010	1512

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

2004	P1	P2	P3
Jan	56637	22059	22323
Feb	40856	18026	26522
Mar	56984	24357	30280
Apr	60352	28038	28048
May	57777	26214	35570
Jun	67595	28976	36864
Jul	85647	34416	34376
Aug	102272	47957	22319
Sep	83270	39498	30487
Oct	60909	27550	32000
Nov	49736	22395	30206
Dec	64643	28775	27750
	786678	348261	356745

2005	P1	P2	P3
Jan	61107	26104	25447
Feb	44272	18943	27021
Mar	55623	23549	33105
Apr	60450	25338	29989
May	61779	26563	33221
Jun	64889	27105	33337
Jul	81338	32397	28794
Aug	75491	34689	18010
Sep	69287	29010	29413
Oct	59729	24231	31551
Nov	50368	21051	29852
Dec	67591	28179	26887
	751924	317159	346627

	Apostasi (m)	Dieleuseis	Dieleuseis	Etisia aapostasi (m)	Etisia aapostasi (m)
		2004	2005	2004	2005
P1	200	786678	751924	314671200	300769600
P2	194	348261	317159	135125268	123057692
P3	440	356745	346627	313935600	305031760
Staff	200	64320	64320	25728000	25728000
Cargo	120	39840	39840	9561600	9561600
Other	160	1920	1920	614400	614400
				799638072	764765057

ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΣΤΑΘΜΕΥΣΗΣ

	EI (gr/km)	Emissions 2004 (gr)	Emissions 2005 (gr)	Emissions 2004 (kgr)	Emissions 2005 (kgr)	Emissions 2004 (tn)	Emissions 2005 (tn)
Nox	0,18	145534,13	139187,24	145,53	139,19	0,15	0,14
CO	0,94	751659,79	718879,15	751,66	718,88	0,75	0,72
HCs	0,07	58373,58	55827,85	58,37	55,83	0,06	0,06

Staff Parking 2003- 2005

QUESTIONNAIRE RESULTS

In which area do you work in the airport?		
	Persons	%
MTB	501	68,63%
B17	81	11,10%
Cargo Area	124	16,99%
OA Technical Base	4	0,55%
B97	3	0,41%
Other Area	17	2,33%
Total	730	100,00%

In which area do you park?		
	Persons	%
Staff Parking Area	268	60,63%
Cargo Parking Area	166	37,56%
Other Area	8	1,81%
Total	442	100,00%

Do you have parking sticker?		
	Persons	%
Yes	268	60,63%
No	174	39,37%
Total	442	100,00%

Who is paying the parking sticker?		
	Persons	%
Employee	30	11,15%
Employer	239	88,85%
Total	269	100,00%

Do you work shifts?		
	Persons	%
Fixed	219	30,00%
Shift	458	62,74%
Flying Personnel	53	7,26%
Total	730	100,00%

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

Airside Traffic and Handling			
41. Engine Running Time			
Car	min/cycle		11
Van	min/cycle		16
Truck/Bus	min/cycle		7,50
Machinery (GSE)	min/cycle		15
42. Fuel Consumption			
Car	kg/h		15,00
Van	kg/h		19,00
Truck/Bus	kg/h		30,00
Machinery (GSE)	kg/h		30,00
43. Allocation of Fuel			
Car	% Diesel		30%
Van	% Diesel		50%
Truck/Bus	% Diesel		100%
Machinery (GSE)	% Diesel		100%

ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2004

Airside Traffic/GSE			
51. Fuel consumption			
Unit Factor	Gasoline	kg/l	0,75
Car	Gasoline	kg/a	171.708,1
Van/Pick-up	Gasoline	kg/a	225.970,8
Total	Gasoline	kg/a	397.678,9
Total	Gasoline	l/a	530.238,5
Unit Factor	Diesel	kg/l	0,83
Car	Diesel	kg/a	73.589,2
Van/Pick-up	Diesel	kg/a	225.970,8
Truck/Bus	Diesel	kg/a	334.496,3
Machinery	Diesel	kg/a	668.992,5
Total	Diesel	kg/a	1.303.048,7
Total	Diesel	l/a	1.569.938,2
52. Emission Factors Gasoline			
Car	Factor in g/kg	Concept	
Car	Nox	GKat_91ff	3,381265136
Car	VOC		0,952613502
Car	CO		15,24638526
Car	PM		0,106497236
Van/Pick-up	Nox	GKat<91	5,004537013

Van/Pick-up	VOC		1,516804455
Van/Pick-up	CO		16,02183466
Van/Pick-up	PM		0,940677946
all	CO2		3170
53. Emission Factors Diesel		all in g/kg	
Car	Nox	Diesel_XXIII/FAV1	11,40616769
Car	VOC		1,716340914
Car	CO		11,02975468
Car	PM		0,106497236
Van/Pick-up	Nox	Euro 2	9,33653925
Van/Pick-up	VOC		1,410732418
Van/Pick-up	CO		9,267910035
Van/Pick-up	PM		0,940677946
Truck/Bus	Nox	Euro 1	35,41370158
Truck/Bus	VOC		7,962284222
Truck/Bus	CO		13,12257961
Truck/Bus	PM		3,417668694
Machinery	Nox	Diesel_conv.	12,83726682
Machinery	VOC		3,428029204
Machinery	CO		11,10861241
Machinery	PM		3,417668694
all	CO2		3170
54. Emissions			
all	Nox	t/a	25,09
all	VOC	t/a	5,91
all	CO	t/a	20,97
all	PM	t/a	3,88
all	CO2	t/a	5.391,31

ΕΚΠΟΜΠΕΣ 2005

Airside Traffic/GSE			
51. Fuel consumption			
Unit Factor	Gasoline	kg/l	0,75
Car	Gasoline	kg/a	158.558,4
Van/Pick-up	Gasoline	kg/a	208.665,6
Total	Gasoline	kg/a	367.224,0
Total	Gasoline	l/a	489.632,0
Unit Factor	Diesel	kg/l	0,83
Car	Diesel	kg/a	67.953,6
Van/Pick-up	Diesel	kg/a	208.665,6
Truck/Bus	Diesel	kg/a	308.880,0
Machinery	Diesel	kg/a	617.760,0
Total	Diesel	kg/a	

			1.203.259,2
Total	Diesel	l/a	1.449.709,9
52. Emission Factors Gasoline	Factor in g/kg	Conzept	
Car	Nox	GKat_91ff	3,381265136
Car	VOC		0,952613502
Car	CO		15,24638526
Car	PM		0,106497236
Van/Pick-up	Nox	GKat<91	5,004537013
Van/Pick-up	VOC		1,516804455
Van/Pick-up	CO		16,02183466
Van/Pick-up	PM		0,940677946
all	CO2		3170
53. Emission Factors Diesel		all in g/kg	
Car	Nox	Diesel_XXIII/FAV1	11,40616769
Car	VOC		1,716340914
Car	CO		11,02975468
Car	PM		0,106497236
Van/Pick-up	Nox	Euro 2	9,33653925
Van/Pick-up	VOC		1,410732418
Van/Pick-up	CO		9,267910035
Van/Pick-up	PM		0,940677946
Truck/Bus	Nox	Euro 1	35,41370158
Truck/Bus	VOC		7,962284222
Truck/Bus	CO		13,12257961
Truck/Bus	PM		3,417668694
Machinery	Nox	Diesel_conv.	12,83726682
Machinery	VOC		3,428029204
Machinery	CO		11,10861241
Machinery	PM		3,417668694
all	CO2		3170
54. Emissions			
all	Nox	t/a	23,17
all	VOC	t/a	5,46
all	CO	t/a	19,36
all	PM	t/a	3,58
all	CO2	t/a	4.978,43

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΤΡΙΤΩΝ ΑΝΑ ΕΤΟΣ

CUSTOMER -Gas	Meter Type	Nm3 consumption for the period: 01/04/2001 - 31/12/2001
ABELA GR YPIRESIES S.A.	Kitchen & Boiler	1.008.053,8
ATROTON (ERMHS) -DIAXEIRHSH B27-AIA	Boiler	
EAT -EUROPEAN AIR TRANS.	Boiler	
ELTA -ELLINIKΑ TAXIDROMIA	Boiler	
GOLDAIR EXIPIRETISIS EDAFOUS	Boiler	
HOTEL	Kitchen & Boiler	
OIC (50% of meter)	Boiler	
OLYMPIC AIRWAYS S.A. CARGO	Boiler	
OLYMPIC CATERING S.A.	Kitchen & Boiler	
POLICE- ELLHNIKH ASTYNOMIA	Boiler	
SAFCO (50% of meter)	Boiler	
SWISSPORT FREIGHT PLUS GR S.A.	Boiler	

CUSTOMER -Gas	Meter Type	Nm3 consumption for the period: 01/01/2002 - 31/12/2002
ABELA GR YPIRESIES S.A.	Kitchen & Boiler	1.245.723,4
ATROTON (ERMHS) -DIAXEIRHSH B27-AIA	Boiler	
EAT -EUROPEAN AIR TRANS.	Boiler	
ELTA -ELLINIKΑ TAXIDROMIA	Boiler	
GOLDAIR EXIPIRETISIS EDAFOUS	Boiler	
HOTEL	Kitchen & Boiler	
OIC (50% of meter)	Boiler	
OLYMPIC AIRWAYS S.A. CARGO	Boiler	
OLYMPIC CATERING S.A.	Kitchen & Boiler	
POLICE- ELLHNIKH ASTYNOMIA	Boiler	
SAFCO (50% of meter)	Boiler	
SWISSPORT FREIGHT PLUS GR S.A.	Boiler	

CUSTOMER -Gas	Meter Type	Nm3 consumption for the period: 01/01/2003 - 31/12/2003
ABELA GR YPIRESIES S.A.	Kitchen & Boiler	1.345.546,0
ATROTON (ERMHS) -DIAXEIRHSH B27-AIA	Boiler	
EAT -EUROPEAN AIR TRANS.	Boiler	
ELTA -ELLINIKΑ TAXIDROMIA	Boiler	
GOLDAIR EXIPIRETISIS EDAFOUS	Boiler	
HOTEL	Kitchen & Boiler	
OIC (50% of meter)	Boiler	
OLYMPIC AIRWAYS S.A. CARGO	Boiler	

OLYMPIC CATERING S.A.	Kitchen & Boiler
POLICE- ELLHNIKH ASTYNOMIA	Boiler
SAFCO (50% of meter)	Boiler
SWISSPORT FREIGHT PLUS GR S.A.	Boiler

CUSTOMER -Gas	Meter Type	Nm3 consumption for the period: 01/01/2004 - 31/12/2004
ABELA GR YPIRESIES S.A.	Kitchen & Boiler	1.205.535,0
ATROTON (ERMHS) -DIAXEIRHSH B27-AIA	Boiler	
EAT -EUROPEAN AIR TRANS.	Boiler	
ELTA -ELLINIKA TAXIDROMIA	Boiler	
GOLDAIR EXIPIRETISIS EDAFOUS	Boiler	
HOTEL	Kitchen & Boiler	
IKEA	Boiler	
OIC (50% of meter)	Boiler	
OLYMPIC AIRWAYS S.A. CARGO	Boiler	
OLYMPIC CATERING S.A.	Kitchen & Boiler	
POLICE- ELLHNIKH ASTYNOMIA	Boiler	
SAFCO (50% of meter)	Boiler	
SWISSPORT FREIGHT PLUS GR S.A.	Boiler	

CUSTOMER -Gas	Meter Type	Nm3 consumption for the period: 01/01/2005 - 30/11/2005
ABELA GR YPIRESIES S.A.	Kitchen & Boiler	1.146.008,0
ATROTON (ERMHS) -DIAXEIRHSH B27-AIA	Boiler	
EAT -EUROPEAN AIR TRANS.	Boiler	
ELTA -ELLINIKA TAXIDROMIA	Boiler	
GOLDAIR EXIPIRETISIS EDAFOUS	Boiler	
HOTEL	Kitchen & Boiler	
IKEA	Boiler	
OIC (50% of meter)	Boiler	
OLYMPIC AIRWAYS S.A. CARGO	Boiler	
OLYMPIC CATERING S.A.	Kitchen & Boiler	
POLICE- ELLHNIKH ASTYNOMIA	Boiler	
SAFCO (50% of meter)	Boiler	
SWISSPORT FREIGHT PLUS GR S.A.	Boiler	

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΑΠΟ ΤΑ ΚΤΙΡΙΑ ΤΟΥ ΔΑΑ ΑΝΑ ΕΤΟΣ

Building	Nm3 consumption for the period: 01/04/2001 - 31/12/2001
B11	40.549
B12	28.295
B17	27.027
B18	12.842
B19	9.778
B33	29.107
B34	5.395
MTB/ B117/ B32/ATC	488.833
SAT	73.065

Total	714.891
--------------	----------------

Building	Nm3 consumption for the period: 01/01/2002 - 31/12/2002
B11	144.351
B12	89.980
B17	64.497
B18	35.266
B19	37.807
B33	61.010
B34	20.921
MTB/ B117/ B32/ATC	1.106.513
SAT	213.649

Total	1.773.994
--------------	------------------

Building	Nm3 consumption for the period: 01/01/2003 - 31/12/2003
B11	164123
B12	125926
B17	60540
B18	33681
B19	38345
B33	79613
B34	18852
MTB/ B117/ B32/ATC	1135618
SAT	211099

Total	1.867.797
--------------	------------------

Building	Nm3 consumption for the period: 01/01/2004 - 31/12/2004
B11	173286

B12	168388
B17	51193
B18	34899
B19	38331
B33	100151
B34	21080
MTB/ B117/ B32/ATC	1718251
SAT	216078

Total	2.521.657
--------------	------------------

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Nm ³ Gas Consumption					
	2001	2002	2003	2004	2005
AIA	714891	1773994	1867797	2521697	2524465
3rd Parties	1008054	1245723	1345546	1205535	1146008
Total	1722945	3019717	3213343	3727232	3670473
MJouls	62026020	108709812	115680348	134180352	132137028
Mth	0,587893	1,0303702	1,0964381	1,2717843	1,2524173
tn					
Nox (9,5)	5,584985	9,7885166	10,416162	12,081951	11,897965
CO (0,25)	0,146973	0,2575925	0,2741095	0,3179461	0,3131043
HCs (0,76)	0,446799	0,7830813	0,833293	0,9665561	0,9518372

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗΣ

Εκπομπές Ασκήσεων Πυροσβεστικής			
Ρύπος	NOx	CO	HC
Δείκτης Εκπομπών (lb/gal)	0,0064	0,0384	0,0318
Δείκτης Εκπομπών (gr/lt)	0,766912	4,601472	3,810594
Ετήσιες Εκπομπές (kg/a)	36,81	220,87	182,91
Ετήσιες παραγόμενες εκπομπές από την καύση προπανίου κατά τη διάρκεια ασκήσεων της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας στο χώρο του Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών			
Παρατήρηση: Η Πυροσβεστική Υπηρεσία του Αερολιμένα καταναλώνει ετησίως περίπου 48000 λίτρα προπανίου, τα οποία υπόκεινται σε καύση στο ύπαιθρο στα πλαίσια εκπαιδευτικών ασκήσεων. Οι παραπάνω τιμές αφορούν στα έτη λειτουργίας 2001-2005.			