



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

**Ανάπτυξη Βάσης Κανόνων σε RuleML για τους  
Κανονισμούς Εναέριας Κυκλοφορίας στην Περιοχή του  
Αεροδρομίου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Θεόδωρος Μήτσικας**

**Επιβλέπων:** Πέτρος Στεφανέας  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Μάρτιος 2016**





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ  
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

**Ανάπτυξη Βάσης Κανόνων σε RuleML για  
τους Κανονισμούς Εναέριας Κυκλοφορίας  
στην Περιοχή του Αεροδρομίου**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Θεόδωρος Μήτσικας**

**Επιβλέπων:** Πέτρος Στεφανέας  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....  
Πέτρος Στεφανέας  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

.....  
Ιωάννης Κολέτσος  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Αντώνιος Συμβώνης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Μάρτιος 2016**

.....  
**Μήτσικας Θεόδωρος**

Διπλωματούχος Μαθηματικός Εφαρμογών Ε.Μ.Π.

©2016 – All rights reserved

Copyright ©–All rights reserved Θεόδωρος Μήτσικας, Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

*Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.*

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Πέτρο Στεφανέα για τη βοήθεια και την καθοδήγησή του, καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Επίσης, ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Ιάκωβο Ουρανό για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της επιτροπής, κ. Ιωάννη Κολέτσο, Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π. και κ. Αντώνιο Συμβώνη, Καθηγητή Ε.Μ.Π.



## Περίληψη

Η ανάγκη βελτίωσης των παραμέτρων που αφορούν συνολικά στις αερομεταφορές επηρεάζει άμεσα το νευραλγικό τομέα του Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας. Η αυξημένη επιβατική κίνηση και οι μεταβολές στις τεχνολογικές παραμέτρους στην αεροπλοΐα, επιφέρουν επανεξέταση και επανακαθορισμό των κανονισμών.

Θέλοντας να αποτελέσει κομμάτι της εν λόγω προβληματικής και να συμβάλει στο βαθμό που της αναλογεί, η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην εξέταση του *ελάχιστου διαχωρισμού*, δηλαδή του ελάχιστου χρόνου ή της ελάχιστης απόστασης μεταξύ δυο αεροσκαφών που προστάζουν οι ισχύοντες και οι μελλοντικοί Κανονισμοί Εναέριας Κυκλοφορίας. Η θεωρητική ανάλυση και η χρήση προγραμματιστικών εργαλείων για τον καθορισμό του ελάχιστου διαχωρισμού, συνιστά ένα ελλιπές πεδίο έρευνας, στο οποίο η παρούσα εργασία ευελπιστεί να συνεισφέρει. Στόχος είναι να τον καταστήσει εφαρμόσιμο μέγεθος στις μελέτες βελτιστοποίησης των αερομεταφορών, καθώς και να αναδείξει τις δυνατότητες χρησιμοποίησης των παραπάνω εργαλείων σε πραγματικό περιβάλλον.

Το ερευνητικό αντικείμενο της εργασίας αφορά στο χώρο του αεροδρομίου, ενώ δίνεται έμφαση στην προσγείωση και απογείωση των αεροσκαφών, θεμελιώδεις διαδικασίες για τη μελέτη θεμάτων που αφορούν στη διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας όπως οι μελέτες κυκλοφορικής συμφόρησης και χωρητικότητας των αεροδρομίων.

**Λέξεις Κλειδιά:** Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας, διαχωρισμός αεροσκαφών, στρόβιλοι του ομήρου, RuleML, OO jDREW.





## **Abstract**

The need to improve all the parameters concerning the aviation industry, directly impacts the field of Air Traffic Control and Air Traffic Management. In the center of the eminent changes, is the process of redefining the separation standards, due to the expected increase in passenger, flight and cargo numbers and the technological background changes in the aircraft industry.

The main goal of this thesis is to contribute to these changes, by providing a flexible and usable solution for the inclusion of the separation standards in the fields of conflict detection, conflict avoidance, and scheduling aircraft landings. Additionally, it can be useful as a decision support tool in real-time environments, ensuring that all the separation standards are applied.

This thesis is focused on the vicinity of the airports, emphasizing on the procedures of take-off and landing, which are the phases of the flight where disruptions are likely to occur. Furthermore, the higher traffic density and the limitations of physical space, specify airport capacity. The benefits of using the exact separation standards during these phases are underestimated by most researches in all fields of the aviation industry, a fact that this thesis hopes to change.

**Keywords:** ATC, ATM, aircraft separation, wake turbulence, RuleML, OO jDREW.



<b>Κατάλογος σχημάτων</b>	<b>xi</b>
<b>Κατάλογος πινάκων</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Γενικά . . . . .	1
1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής . . . . .	3
1.2.1 Συνεισφορά . . . . .	4
1.2.2 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας . . . . .	4
<b>2 Σχετικές Εργασίες</b>	<b>5</b>
2.1 Γενικά . . . . .	5
2.2 Χρονοπρογραμματισμός . . . . .	5
2.2.1 Διαχείριση Εναέριας Κυκλοφορίας Βασισμένη στο Χρόνο, με Χρήση Έμπειρων Συστημάτων . . . . .	6
2.2.2 Χρονοπρογραμματισμός Προσγειώσεων Αεροσκαφών - Δυναμική Περίπτωση . . . . .	7
2.3 Συστήματα Πολλαπλών Πρακτόρων - Τεχνητή Νοημοσύνη . . .	9
2.3.1 Ανίχνευση και Επίλυση Συγκρούσεων με Πολλαπλούς Πράκτορες, Χρησιμοποιώντας Συναρτήσεις Χρησιμότη- τας . . . . .	9
2.3.2 Τεχνολογία Πολλαπλών Πρακτόρων για τον Έλεγχο Ενα- έριας Κυκλοφορίας και τη Διαχείριση Συμβάντων στον Εναέριο Χώρο του Αεροδρομίου . . . . .	10
2.4 Συμπεράσματα . . . . .	10
<b>3 Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας</b>	<b>13</b>
3.1 Γενικά . . . . .	13
3.2 Ιστορική Εξέλιξη . . . . .	14

3.3	Αποφυγή Συγκρούσεων . . . . .	16
3.3.1	Σύγκρουση εν Πτήξει . . . . .	16
3.3.2	Σύγκρουση στο Έδαφος . . . . .	17
3.4	Αποφυγή Στροβιλισμών . . . . .	18
3.5	Διαχωρισμός . . . . .	21
3.6	Βελτιστοποίηση Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας . . . . .	22
3.7	Ελεγκτές Εναέριας Κυκλοφορίας . . . . .	22
3.8	Ο Ρόλος του Ανθρώπινου Παράγοντα σε Ατυχήματα . . . . .	23
3.9	Παραδείγματα Ατυχημάτων Οφειλόμενα στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας . . . . .	23
3.10	Μέλλον . . . . .	24
<b>4</b>	<b>Ισχύοντες Κανονισμοί ΕΕΚ</b>	<b>25</b>
4.1	Μέγιστο Βάρος Απογείωσης . . . . .	25
4.2	Κατηγοριοποίηση Αεροσκαφών Σύμφωνα με τους Κανονισμούς του ICAO . . . . .	26
4.3	Κατηγοριοποίηση Αεροσκαφών Σύμφωνα με τους Κανονισμούς της FAA . . . . .	26
4.4	Παραδείγματα Ελάχιστου Διαχωρισμού . . . . .	27
4.5	Παραδείγματα Ελάχιστου διαχωρισμού - VFR . . . . .	28
4.6	Το Διεθνές Αεροδρόμιο του Memphis - RECAT . . . . .	29
4.7	Μέλλον . . . . .	32
4.7.1	Διαχωρισμός με Βάση το Χρόνο . . . . .	32
4.7.2	Διαχωρισμός Κατά Περίπτωση (RECAT-2) . . . . .	32
4.7.3	Δυναμικός Διαχωρισμός Κατά Περίπτωση (RECAT-3) . . . . .	32
<b>5</b>	<b>Αρχές Σχεδίασης - Τεχνολογικό Υπόβαθρο</b>	<b>33</b>
5.1	RuleML . . . . .	33
5.2	POSL . . . . .	33
5.3	OO jDREW . . . . .	35
5.3.1	Ενσωματωμένες Συναρτήσεις . . . . .	35
5.4	RuleML και Κανονισμοί Εναέριας Κυκλοφορίας . . . . .	37
<b>6</b>	<b>Υλοποίηση</b>	<b>39</b>
6.1	Γενικά . . . . .	39
6.2	Κατασκευή Βάσης Δεδομένων - Αεροσκάφη . . . . .	39
6.3	Κατηγοριοποίηση Αεροσκαφών . . . . .	41
6.3.1	ICAO . . . . .	41
6.3.2	FAA . . . . .	46
6.3.3	RECAT . . . . .	51
6.4	Ελάχιστος Διαχωρισμός . . . . .	57
6.4.1	ICAO . . . . .	57
6.4.2	FAA . . . . .	59
6.4.3	RECAT . . . . .	60

6.5	Κατασκευή Βάσης Δεδομένων - Αεροδρόμια . . . . .	61
6.6	Συνθήκες Εφαρμογής Ελαχίστου Διαχωρισμού . . . . .	63
6.7	Σύνθετες Περιπτώσεις . . . . .	64
6.7.1	Διαρρύθμιση Αεροδρομίου . . . . .	64
6.7.2	Κατευθύνσεις . . . . .	65
6.7.3	Συγκρίσεις Γωνιών . . . . .	66
6.8	RECAT-2/RECAT-3 . . . . .	67
6.8.1	RECAT-2: Διαχωρισμός Κατά Περίπτωση . . . . .	67
6.8.2	RECAT-3: Συνυπολογισμός Μετεωρολογικών Συνθηκών . . . . .	67
<b>7</b>	<b>Συμπεράσματα</b>	<b>71</b>
7.1	Σύνοψη . . . . .	71
7.2	Συμπεράσματα . . . . .	71
7.3	Μελλοντικές Επεκτάσεις . . . . .	72
	<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>75</b>



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

3.1	Φωτογραφία από μελέτη της NASA για τις αναταράξεις . . . . .	18
3.2	Αναπαραστάσεις των στροβίλων του ομόρου . . . . .	19
	α' Αναπαράσταση στροβιλισμών στην άκρη της πτέρυγας	19
	β' Στρώμα των στροβιλισμών πίσω από τις πτέρυγες . . . . .	19
3.3	Μελέτη του NTSB για τα αίτια ατυχήματος . . . . .	20
	α' Είσοδος στην περιοχή των αναταράξεων . . . . .	20
	β' Βίαια αντίδραση . . . . .	20
3.4	Ορατοί στρόβιλοι λόγω ατμοσφαιρικών συνθηκών . . . . .	21
4.1	Σύγκριση κατηγοριοποίησης ICAO - RECAT . . . . .	29
5.1	Το παράθυρο της Top-Down εκδοχής της ΟΟ jDREW . . . . .	36
	α' Είσοδος γεγονότων και συνθηκών στην ΟΟ jDREW . . . . .	36
	β' Ερώτημα και απάντηση της ΟΟ jDREW . . . . .	36
6.1	Κατηγοριοποίηση του Cessna 206, ICAO . . . . .	42
	α' Είσοδος του C206 ως αρχική συνθήκη . . . . .	42
	β' Ερώτημα για την κατηγορία του . . . . .	42
6.2	Κατηγοριοποίηση του Boeing 737-800, ICAO . . . . .	43
6.3	Κατηγοριοποίηση του Boeing 747-200, ICAO . . . . .	44
6.4	Κατηγοριοποίηση του Airbus A380, ICAO . . . . .	45
6.5	Κατηγοριοποίηση του Cessna 206, FAA . . . . .	46
6.6	Κατηγοριοποίηση του Boeing 737-800, FAA . . . . .	47
6.7	Κατηγοριοποίηση του Boeing 747-200, FAA . . . . .	48
6.8	Κατηγοριοποίηση του Antonov An-225 Mriya, FAA . . . . .	49
6.9	Κατηγοριοποίηση του Boeing 757-300, FAA . . . . .	50
6.10	Κατηγοριοποίηση του Airbus A380, RECAT . . . . .	51
6.11	Κατηγοριοποίηση του Boeing 747-200, RECAT . . . . .	52
6.12	Κατηγοριοποίηση του McDonnell Douglas DC-10, RECAT . . . . .	53

6.13	Κατηγοριοποίηση του Airbus A321, RECAT . . . . .	54
6.14	Κατηγοριοποίηση του BAe 146-300, RECAT . . . . .	55
6.15	Κατηγοριοποίηση του Beechcraft 1900, RECAT . . . . .	56
6.16	Ερώτημα για τον ελάχιστο διαχωρισμό, ICAO . . . . .	58
6.17	Ερώτημα για τον ελάχιστο διαχωρισμό, FAA . . . . .	59
6.18	Ερώτημα για τον ελάχιστο διαχωρισμό, RECAT . . . . .	60
6.19	Διαρρύθμιση Αεροδρομίου . . . . .	65
6.20	Ερώτημα για την αρχική κατεύθυνση αεροσκάφους . . . . .	66
6.21	Ερώτημα για τον ελάχιστο διαχωρισμό, RECAT-2, υποθετικά δεδομένα. . . . .	67
6.22	Ερώτημα για τη μείωση του ελαχίστου διαχωρισμού, RECAT-3, υποθετικά δεδομένα . . . . .	68
6.23	Ερώτημα για τη μείωση του ελαχίστου διαχωρισμού, RECAT-3, υποθετικά δεδομένα . . . . .	69



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

4.1	Ελάχιστος Διαχωρισμός, ICAO . . . . .	27
4.2	Ελάχιστος διαχωρισμός, FAA . . . . .	28
4.3	Διαχωρισμός βάσει του χρόνου, ICAO . . . . .	28
4.4	Ενδεικτική κατηγοριοποίηση αεροσκαφών, RECAT . . . . .	31
4.5	Ελάχιστος Διαχωρισμός, RECAT . . . . .	31



### 1.1 Γενικά

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάπτυξη μιας βάσης κανόνων (rule base) οι οποίοι ορίζουν τους Κανονισμούς Εναέριας Κυκλοφορίας. Ειδικότερα, προσπαθεί να απαντήσει στο μείζον ζήτημα του κατά πόσον προγραμματιστικά εργαλεία μπορούν να βελτιστοποιήσουν και να αναλάβουν τη διαχείριση της ομαλής κυκλοφορίας των αεροσκαφών, σε πραγματικό ή εικονικό περιβάλλον, δρώντας στα πλαίσια των θεσμοθετημένων κανονισμών που διέπουν την εναέρια κυκλοφορία. Το σύνολο των κανονισμών που μελετήθηκαν και που βρίσκονται σε διαδικασία εξέλιξης, αφορούν στο διαχωρισμό των αεροσκαφών στην περιοχή του αεροδρομίου. Οι εν λόγω κανονισμοί αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην εναέρια κυκλοφορία καθώς και στη μελέτη της, όπως για παράδειγμα στις μελέτες χωρητικότητας των αεροδρομίων. Η θεωρητική ανάλυση και η χρήση κατάλληλων προγραμματιστικών εργαλείων που επιτρέπουν την επικύρωση και επαλήθευση του κώδικα, καθώς και τη διασφάλιση της αυστηρής τήρησης των κανονισμών αυτών, μπορεί να καταστήσει τα εργαλεία αυτά χρησιμοποιήσιμα σε εφαρμογές, προσομοιώσεις και μελέτες, αλλά και σε πραγματικό περιβάλλον.



## 1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής

Η μελέτη των αερομεταφορών είναι αναγκαία στη σύγχρονη καθημερινότητα, τόσο για τις επιχειρήσεις, όσο και για τους απλούς ανθρώπους. Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μία συνεχώς αυξανόμενη τάση του αριθμού των επιβατών. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το 2012 οι άνθρωποι που έκαναν χρήση εναέριων μέσων συγκοινωνίας έφτασαν περί τα 3 δις, γεγονός που καθιστά απαραίτητη τη βελτίωση των παραμέτρων που αφορούν συνολικά στις αερομεταφορές. Κοινή συνισταμένη των επιστημόνων, της αεροπορικής βιομηχανίας και εν γένει των κοινοτήτων που σχετίζονται καθ' οιονδήποτε τρόπο με την αεροπλοΐα, αποτελεί η επιτακτική ανάγκη για τον εκσυγχρονισμό του καθεστώτος λειτουργίας και των υποδομών με σκοπό να γίνουν πιο ασφαλείς, φθηνότερες και περισσότερο αποδοτικές οι αερομεταφορές.

Από τις πιο βασικές παραμέτρους της ορθής λειτουργίας των αερομεταφορών είναι ο Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας, υπηρεσία υπεύθυνη για την καθοδήγηση των αεροσκαφών τόσο στο έδαφος όσο και εν πτήσει, με σκοπό την ασφαλή, ομαλή και αποτελεσματική κίνηση των αεροσκαφών, ενώ παρέχει συμβουλές και πληροφορίες χρήσιμες για την ασφαλή και αποτελεσματική διεξαγωγή μιας πτήσης, όπως για παράδειγμα ενημέρωση για καιρικά φαινόμενα. Τέλος, αναλαμβάνει την ειδοποίηση των κατάλληλων φορέων σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Ο έλεγχος των αεροσκαφών στην περιοχή ελιγμών του αεροδρομίου είναι καθοριστικός παράγοντας με προεκτάσεις στην ασφάλεια, τη χωρητικότητα των αεροδρομίων, την αποφυγή συμφορήσεων, διασφαλίζοντας έτσι την ομαλή λειτουργία των αεροδρομίων, την ασφάλεια των επιβατών και τη διαχείριση του λειτουργικού κόστους.

Κυρίαρχο ρόλο στη ερευνητική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία έπαιξε η έννοια του ελάχιστου διαχωρισμού των αεροσκαφών κατά τις φάσεις της προσέγγισης - προσγείωσης και απογείωσης - ανόδου. Με τον συγκεκριμένο όρο εννοείται η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας που πρέπει να τηρείται μεταξύ δυο αεροσκαφών και επιβάλλεται για δύο -κυρίως- λόγους. Αφενός για την αποφυγή συγκρούσεων και αφετέρου για την αποφυγή του μη προφανούς και συνήθως μη ορατού κινδύνου από τους στροβιλισμούς του αέρα που δημιουργούνται από τη διέλευση του αεροσκάφους που ονομάζονται στρόβιλοι του ομίχου (wake turbulence).

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της εργασίας, στόχος ήταν η κατασκευή μιας βάσης κανόνων που θα ορίζουν τον ελάχιστο διαχωρισμό σύμφωνα με τους ισχύοντες αλλά και μελλοντικούς κανονισμούς εναέριας κυκλοφορίας. Για την υλοποίηση αυτού του στόχου, χρησιμοποιήθηκε ως προγραμματιστική γλώσσα η RuleML και συγκεκριμένα η Naf Hornlog πρότυπη υλοποίησή της, OO jDREW. Η χρήση της OO jDREW επιλέχθηκε λόγω του συνδυασμού της ισχυρής βάσης ενσωματωμένων συναρτήσεων και της ικανότητας των προτάσεων Horn να αποτυπώνουν με σαφήνεια προτάσεις που προκύπτουν από τον συνδυασμό συνθηκών - συμπεράσματος, πλαίσιο που απαντάται στους βασικούς κανονισμούς εναέριας κυκλοφορίας. Έτσι, οι κανονισμοί εναέριας κυκλοφορίας μπο-

ρούν να αποτυπωθούν σε προγραμματιστικό περιβάλλον και, ακολούθως, να είναι χρησιμοποιήσιμοι σε πραγματικό περιβάλλον, ή/και εφαρμογές, προσομοιώσεις και μελέτες που λαμβάνουν ή θα λάβουν μελλοντικά χώρα.

### **1.2.1 Συνεισφορά**

Η συνεισφορά της διπλωματικής συνοψίζεται ως εξής:

- Συντάχθηκε κώδικας για τον χωρισμό των αεροσκαφών σε κατηγορίες σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς.
- Συντάχθηκε κώδικας καθορισμού του απαιτούμενου από τους κανονισμούς ελάχιστου διαχωρισμού κατά την προσγείωση, ανάλογα με την κατηγορία του κάθε αεροσκάφους.
- Κατασκευάστηκε βάση δεδομένων που περιέχει περισσότερα από 200 αεροσκάφη και τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά για τον υπολογισμό των παραπάνω.
- Κατασκευάστηκε βάση δεδομένων που περιέχει αεροδρόμια του Ελληνικού χώρου και τα χαρακτηριστικά τους.
- Κατασκευάστηκε το υπόβαθρο ώστε να είναι δυνατός ο χειρισμός κατευθύνσεων και η σύγκριση γωνιών.
- Συντάχθηκε κώδικας και δόθηκε η μεθοδολογία που μπορεί να χειριστεί τους μελλοντικούς κανονισμούς, ενώ αναφέρθηκαν και εναλλακτικές υλοποιήσεις, για την κάλυψη των πιθανών κατευθύνσεων που αυτοί μπορούν να λάβουν.

### **1.2.2 Διάρθρωση Διπλωματικής Εργασίας**

Η διπλωματική εργασία χωρίζεται στις παρακάτω θεματικές ενότητες: Εργασίες σχετικές με το αντικείμενο της διπλωματικής παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας και εξετάζονται οι λόγοι ύπαρξης του ελάχιστου διαχωρισμού.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται κανονισμοί που διέπουν τον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας στην περιοχή του αεροδρομίου.

Η ανάλυση των προγραμματιστικών εργαλείων και του τεχνολογικού υπόβαθρου έγινε στο Κεφάλαιο 5.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα σημεία που χρήζουν ενδιαφέροντος κατά την υλοποίηση του κώδικα, η λογική στην οποία βασίζεται αυτή και ο τρόπος επίλυσης συγκεκριμένων προβλημάτων.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 περιλαμβάνονται η σύνοψη και τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής και προτείνονται πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Στο παρόν Κεφάλαιο περιγράφονται μερικές από τις σχετικές εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί για τη διερεύνηση τεχνικών και τεχνολογιών που αφορούν στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας. Για κάθε εργασία, θα υπάρχει η σύνοψή της, μια σύντομη ανάλυση της κάθε προσέγγισης και πως προσαρμόστηκε για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής, καθώς και ιδέες που προέκυψαν από τη μελέτη των παραπάνω εργασιών.

#### 2.1 Γενικά

Λόγω της αδυναμίας να βρεθεί κάποια προηγούμενη ερευνητική εργασία που να ρίχνει βάρος στην ανάλυση και τον τρόπο καθορισμού του ελάχιστου διαχωρισμού, παρατίθενται εργασίες που εξετάζουν τα συναφή αντικείμενα του χρονοπρογραμματισμού των προσγειώσεων και τη χρησιμοποίηση προγραμματιστικών εργαλείων, πολλαπλών πρακτόρων στον Έλεγχο και τη Διαχείριση Εναέριας Κυκλοφορίας. Λόγω της διαφορετικής κατεύθυνσης, δόθηκε έμφαση στο ερευνητικό έργο που βασίζεται και συνοψίζει η κάθε εργασία και όχι απαραίτητα στη συνεισφορά της κάθε εργασίας.

#### 2.2 Χρονοπρογραμματισμός

Τομή του γνωστικού αντικειμένου της παρούσας διπλωματικής και των εργασιών που έχουν ως αντικείμενο τον χρονοπρογραμματισμό, αποτελεί ο ελάχιστος διαχωρισμός, ο οποίος χρησιμοποιείται ως περιορισμός στους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται. Λόγω του διαφορετικού στόχου, η κατηγορία του κάθε αεροσκάφους πρέπει να εισάγεται ως αρχική συνθήκη. Άλλο κοινό στοιχείο, είναι ο τρόπος χειρισμού του αεροσκάφους μέσα στο χώρο, δηλαδή ο ορισμός της κατεύθυνσης και της αλλαγής πορείας.

## 2.2.1 Διαχείριση Εναέριας Κυκλοφορίας Βασισμένη στο Χρόνο, με Χρήση Έμπειρων Συστημάτων

[1] Πρωτότυπο “Έμπειρο Σύστημα” (Expert System) για το χρονοπρογραμματισμό των αεροσκαφών στην εκτεταμένη περιοχή (από 150 ναυτικά μίλια πριν την προσγείωση έως και την προσγείωση) του αεροδρομίου. Για κάθε νέα προσέγγιση, δημιουργεί νέο σχέδιο πτήσης, παρακολουθεί αποκλίσεις από αυτό και προτείνει διορθώσεις και τέλος, σε περίπτωση μεγάλης απόκλισης, δημιουργεί νέο σχέδιο πτήσης. Οι γλώσσες προγραμματισμού που χρησιμοποιούνται είναι οι MRS (γλώσσα λογικού προγραμματισμού, με σύνταξη παρόμοια με αυτή της Prolog), Lisp και Fortran.

Ο χρονοπρογραμματισμός πραγματοποιείται με τη δημιουργία σχεδίου πτήσης με σκοπό τον έλεγχο των αεροσκαφών και την επίτευξη χρονικών στόχων, ώστε να ελαχιστοποιηθούν πιθανές αλλαγές πορείας για την επίτευξη της τελικής ακολουθίας αεροσκαφών.

Υλοποιείται με τον σχεδιασμό ενός 4-D αλγορίθμου, που λαμβάνει υπόψη την τρέχουσα θέση του αεροσκάφους, την πορεία του και το χρόνο προσγείωσης και ως αποτέλεσμα δίνει τη χρονική θέση της κάθε εντολής ελέγχου του αεροσκάφους, ώστε αυτό να ακολουθήσει την πορεία και τον χρόνο προσγείωσης. Τοποθετείται σε συγκεκριμένο αεροδρόμιο, σε συγκεκριμένο διάδρομο προσγείωσης και χρησιμοποιεί τα πραγματικά σημεία εισόδου στην περιοχή ελέγχου του αεροδρομίου. Χρησιμοποιεί την κατηγοριοποίηση αεροσκαφών σύμφωνα με τους κανονισμούς της FAA και ορίζονται τρεις κατηγορίες light, large και heavy, με τον ορισμό από της κατηγορίας του κάθε αεροσκάφους από το χρήστη, ενώ ορίζεται η (χρονική) απόσταση του κάθε συνδυασμού κατηγοριών, με τις παρακάτω γραμμές κώδικα (σε Lisp) αντίστοιχα:

```
1 (DefFlavor FLIGHT
2   ;This is the generic flight flavor to represent aircraft in the .
3   ;system.
4   ((class nil)           ;aircraft size class
5    (current-arc nil)    ;current position
6    (current-route nil) ;current route
7    (advisories nil)    ;advisories list
8    (segments nil)      ;plan segment list
9    (label nil)         ;printed label string
10   (icon #/a)          ;graphics character
11   )
12   ;
13   ()
14   ;
15   :gettable-instance-variables ;these flags mean that any of the
16   :settable-instance-variables ;flavors slot can be initialized ,
17   :initable-instance-variables ;accessed or reset
18   )
```



```

1 (DefMethod (FLIGHT :time-sep)
2           (other-flight)
3           ;
4           (cadr (assoc (cons (send other-flight :class))
5                         '(((HEAVY . HEAVY) 94)((HEAVY . LARGE) 74 ) ((HEAVY . SMALL) 74)
6                           ((LARGE . HEAVY) 114) ((LARGE . LARGE) 74) ((LARGE . SMALL) 74)
7                           ((SMALL . HEAVY) 167) ((SMALL . LARGE) 38) ((SMALL . SMALL) 98))
8             ))
9 )

```

Για το χειρισμό κάθε νέας πτήσης, οι κανόνες παράγουν ένα σχέδιο πτήσης ακολουθώντας την εξής διαδικασία:

1. Χρήση ευρετικών μεθόδων για την ανάπτυξη πιθανής στρατηγικής
2. Κλήση αριθμητικών υπορουτινών (numeric subroutines) για τον υπολογισμό του σχεδίου που αντιστοιχεί σε αυτή
3. Έλεγχος βάσει των περιορισμών που ορίζονται από τους κανόνες για πιθανές παραβιάσεις

Η αποτυχία ικανοποίησης των περιορισμών σε οποιαδήποτε στιγμή, οδηγεί σε επανιχνήλαση (backtracking), για την εύρεση νέας στρατηγικής.

Τέλος, περιλαμβάνονται κάποιες αρχικές διαδικασίες για το χειρισμό επανακυκλώσεων και κλειστών διαδρόμων προσγείωσης.

Ως μελλοντική επέκταση, αναφέρεται εκτός των άλλων, η καλύτερη κατανόηση του εύρους του προβλήματος, χρησιμοποιώντας τεχνογνωσία του τομέα του Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας, προσομοιώσεις και έρευνα σε πραγματικές συνθήκες και τέλος, υλοποίηση λαμβάνοντας υπόψη την αυστηρή εφαρμογή των θεσμοθετημένων κανονισμών και πολιτικών που διέπουν την εναέρια κυκλοφορία.

## 2.2.2 Χρονοπρογραμματισμός Προσγειώσεων Αεροσκαφών - Δυναμική Περίπτωση

[2] Βασισμένη σε προηγούμενες ερευνητικές εργασίες που εξετάζουν στατικές περιπτώσεις, που όμως δε δίνουν λεπτομέρειες για την υλοποίησή τους, η εργασία αυτή εξετάζει τη δυναμική περίπτωση<sup>1</sup> του χρονοπρογραμματισμού προσγειώσεων αεροσκαφών. Συγκρίνει τα αποτελέσματα της μεθόδου FCFS (first come, first served) με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούν ευρετικούς αλγόριθμους. Η υλοποίηση έχει γίνει σε Java, ενώ ο κώδικας είναι διαθέσιμος. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό δυνατών λύσεων για δεδομένο πρόβλημα που αφορά στις αφίξεις αεροσκαφών. Όσον αφορά στο διαχωρισμό μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιορισμοί είτε για δεδομένα ζεύγη αεροσκαφών, είτε ανάλογα με τις κατηγορίες των ξεταζόμενων αεροσκαφών. Ο κώδι-

<sup>1</sup>Η άφιξη των αεροσκαφών δε γίνεται σύμφωνα με την προγραμματισμένη σειρά ή στον αναμενόμενο χρόνο.

κας υπεύθυνος για το διαχωρισμό των αεροσκαφών (σε Java) παρατίθεται, ενώ η κατηγορία του κάθε αεροσκάφους ορίζεται ως αρχική συνθήκη<sup>2</sup>.

```
1 package model;
2
3 public class Separation Constraints {
4     private int [][] lookup = new int [5][5];
5
6     public Separation Constraints () {
7         // Distances after a light or small aircraft
8         for (int i=0; i<5; i++){
9             lookup [0][i]=3;
10            lookup [1][i]=3;
11        }
12        // Distances after a lower-medium aircraft
13        lookup [2][0] = 6;
14        lookup [2][1] = 5;
15        lookup [2][2] = 3;
16        lookup [2][3] = 3;
17        lookup [2][4] = 3;
18        // Distances after a upper-medium aircraft
19        lookup [3][0] = 7;
20        lookup [3][1] = 6;
21        lookup [3][2] = 4;
22        lookup [3][3] = 3;
23        lookup [3][4] = 3;
24
25        // Distances after a heavy aircraft
26        lookup [4][0] = 8;
27        lookup [4][1] = 7;
28        lookup [4][2] = 6;
29        lookup [4][3] = 5;
30        lookup [4][4] = 4;
31    }
32    /**
33     * get Separation returns the separation constrain in
34     * seconds when a aircraft-type
35     * i is followed by aircraft-type j .
36     *
37     * @param aircraft type i
38     * @param aircraft type j
39     * @return separation constraints in seconds
40     */
41    public int getSeparation(int i, int j){
42        int temp = lookup [i-1][j-1];
43        return temp*3600/160 ;
44        //return temp*60/160;
45    }
46 }
```

---

<sup>2</sup>Χρησιμοποιούνται πέντε κατηγορίες, σε αντιστοιχία με τους κανονισμούς ΕΕΚ που χρησιμοποιούνται στο Ηνωμένο Βασίλειο

Η χρησιμότητα της εργασίας περιορίζεται από τη μη αποτελεσματικότητα των χρησιμοποιηθέντων αλγορίθμων, καθώς τα αποτελέσματα δεν ήταν καλύτερα από την απλή FCFS λύση, αποτέλεσμα αντίθετο με τις ερευνητικές εργασίες στις οποίες βασίζεται, οι οποίες όμως δεν παρουσιάζουν αναλυτικά τους αλγορίθμους που χρησιμοποίησαν. Έτσι, η χρήση της FCFS λύσης για τη διασφάλιση της τήρησης του απαιτούμενου διαχωρισμού, μπορεί να είναι χρήσιμο υποστηρικτικό εργαλείο, δεδομένου του μικρού χρόνου υπολογισμού.

## **2.3 Συστήματα Πολλαπλών Πρακτόρων - Τεχνητή Νοημοσύνη**

Τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων (multi-agent systems) χρησιμοποιούνται σε πολλούς ερευνητικούς τομείς. Είναι προσέγγιση που έχει εφαρμογή και στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας και πρόκειται να βρει ακόμα μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής σε αυτόν με την καθιέρωση του μοντέλου “Free Flight”<sup>3</sup>.

Λόγω της άμεσης σχέσης μια βάσης κανόνων και των έξυπνων ή πολλαπλών πρακτόρων, εξετάστηκε και αυτή η προσέγγιση, αφού η βάση κανόνων μπορεί να βρει εφαρμογή σε τέτοια συστήματα. Συγκεκριμένα, δόθηκε έμφαση στον σχεδιασμό και τη σχέση των διάφορων υποσυστημάτων και όχι στα μαθηματικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται από την κάθε εργασία για την υλοποίηση του στόχου της.

Στην πλειοψηφία των εργασιών που ακολουθούν αυτή την προσέγγιση, δίνεται βάση στο μοντέλο του “Free Flight” και στην αποφυγή συγκρούσεων<sup>4</sup> εν πτήση με το μικρότερο δυνατό κόστος.

### **2.3.1 Ανίχνευση και Επίλυση Συγκρούσεων με Πολλαπλούς Πράκτορες, Χρησιμοποιώντας Συναρτήσεις Χρησιμότητας**

[3] Η πλατφόρμα NAMA, σχεδιάστηκε με στόχο να διερευνηθεί εάν είναι δυνατή η πτήση από αεροδρόμιο σε αεροδρόμιο, χωρίς κεντρικό έλεγχο. Για την ανάπτυξη χρησιμοποιήθηκε Java, ενώ ως περιβάλλον ανάπτυξης των πρακτόρων, JADE.

Το κάθε αεροσκάφος αποτελεί έναν πράκτορα. Οι βασικές αρμοδιότητες του κάθε πράκτορα είναι η πλοήγηση και η επικοινωνία. Άλλα χαρακτηριστικά της πλατφόρμας είναι η υποστήριξη για δεδομένα όπως χάρτες πλοήγησης, GPS, ραντάρ κ.ά., χωρίς όμως να επηρεάζεται ο αποκεντρωμένος σχεδιασμός. Επίσης προσφέρει δυνατότητες δισδιάστατης απεικόνισης και συνυπολογισμού καιρικών φαινομένων.

Η πλατφόρμα μπορεί να επεκταθεί ώστε να εμπεριέχει παραμέτρους, ειδικές

<sup>3</sup>Μια σύντομη περιγραφή του μοντέλου “Free Flight” δίνεται στην Ενότητα 3.10.

<sup>4</sup>Ως σύγκρουση νοείται η οποιαδήποτε παραβίαση του ελάχιστου διαχωρισμού, ή γενικότερα, μιας περιοχής ασφαλείας.

για το κάθε αεροσκάφος, όπως κατανάλωση καυσίμων, μέγιστο επιτρεπτό ύψος πτήσης, μέγιστη ταχύτητα κ.ά.

Λόγω της μη ντετερμινιστικής φύσης των διαπραγματεύσεων μεταξύ των πρακτόρων σε περίπτωση επικείμενης σύγκρουσης, δε χρησιμοποιείται κάποιου είδους διαπραγμάτευση μεταξύ των πρακτόρων, αλλά συναρτήσεις χρησιμότητας. Αυτή η προσέγγιση είναι και η βασική συνεισφορά της εργασίας.

### **2.3.2 Τεχνολογία Πολλαπλών Πρακτόρων για τον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας και τη Διαχείριση Συμβάντων στον Εναέριο Χώρο του Αεροδρομίου**

[4] Η προσαρμογή του μοντέλου του “Free Flight” στην περιοχή του αεροδρομίου είναι πεδίο χωρίς πλούσια ερευνητική εργασία. Η συγκεκριμένη εργασία, προσπαθώντας να καλύψει αυτό το κενό, εξετάζει την εφαρμογή των συστημάτων Πολλαπλών Πρακτόρων στην περιοχή του αεροδρομίου, όπου αντικειμενικά το πλήθος των αεροσκαφών είναι μεγαλύτερο. Παρόλο που δεν παρουσιάζεται κάποιος κώδικας, δίνει στοιχεία για τις σχεδιαστικές αρχές που ακολουθήθηκαν.

Συγκεκριμένα, στη δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται μερικά στοιχεία που λήφθηκαν υπόψη ως αποστάσεις ασφαλείας, ενώ εξετάζονται οι διάφορες ζώνες ελέγχου του αεροδρομίου. Δεδομένου ότι παρουσιάζονται σχεδιαστικές αρχές, δεν έχει δοθεί βάση στην αποτελεσματικότητα του συστήματος και συνεπώς οι διαχωρισμοί που ακολουθούνται δεν αλλάζουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των αεροσκαφών όπως συμβαίνει στους ισχύοντες κανονισμούς.

Όσον αφορά στη μεθοδολογία για την αποφυγή συγκρούσεων, σε περίπτωση ανίχνευσης πιθανότητας σύγκρουσης, ξεκινάει η επικοινωνία των αεροσκαφών - πρακτόρων (με την τεχνολογία P2P), όπου και υλοποιείται ο αλγόριθμος αποφυγής συγκρούσεων.

Συνολικά, η εργασία περιγράφει την αρχιτεκτονική των πρακτόρων, τη μεθοδολογία των τυπικών προδιαγραφών και την ανάπτυξη του πρότυπου λογισμικού που υλοποιεί το σύστημα Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας.

## **2.4 Συμπεράσματα**

Παρά το πλούσιο ερευνητικό έργο που αφορά στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας, η αυστηρή εφαρμογή των θεσμοθετημένων κανονισμών δε λαμβάνεται υπόψη, καθώς χρησιμοποιούνται ενδεικτικά κάποιες αποστάσεις, δεδομένου ότι η κατεύθυνση της κάθε έρευνας είναι διαφορετική.

Όμως αντλήθηκαν χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά στο σχεδιασμό και την υλοποίηση της βάσης κανόνων, με σκοπό αυτή να είναι χρησιμοποιήσιμη από αντίστοιχες μελέτες. Χαρακτηριστικά που πρέπει να διαθέτει, εκτός των άλλων, είναι τα εξής:

- Κάλυψη μεγαλύτερου μέρους σε σχέση με τις υπάρχουσες έρευνες, των Κανονισμών Εναέριας Κυκλοφορίας.
- Δυνατότητα χειρισμού κατευθύνσεων, πορείας και στροφών.
- Δυνατότητες επέκτασης και διασύνδεσης με υπάρχοντα ή μελλοντικά περιβάλλοντα.
- Ευελιξία ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΝΑΕΡΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο δίνεται μια περιγραφή του Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας και του ρόλου που κατέχει στην Αεροπορική Βιομηχανία. Επιπροσθέτως, περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των στροβίλων του ομόρου και ο ρόλος τους στον καθορισμό του ελαχίστου διαχωρισμού.

#### 3.1 Γενικά

Ο Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας (ΕΕΚ) είναι υπηρεσία η οποία παρέχεται στους αεροναυτιλομένους με στόχο την πρόληψη των συγκρούσεων μεταξύ αεροσκαφών, την πρόληψη των συγκρούσεων μεταξύ αεροσκαφών και εμποδίων στην περιοχή ελιγμών ενός αεροδρομίου και την επιτάχυνση και διατήρηση τακτικής ροής της εναέριας κυκλοφορίας.

Η υπηρεσία ΕΕΚ ανήκει σε ένα σύνολο υπηρεσιών που δρουν παράλληλα και που αποδίδονται με τον όρο υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας. Σε αυτές τις υπηρεσίες ανήκουν, εκτός από τον ΕΕΚ, οι υπηρεσίες πληροφοριών πτήσης, οι υπηρεσίες συναγερμού και οι συμβουλευτικές υπηρεσίες στον τομέα της εναέριας κυκλοφορίας. Οι υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας μαζί με τις υπηρεσίες επικοινωνιών, πλοήγησης, επιτήρησης, τις υπηρεσίες αεροναυτικών πληροφοριών και τις μετεωρολογικές υπηρεσίες που προορίζονται για την αεροναυτιλία αποτελούν τις υπηρεσίες αεροναυτιλίας.

Οι υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας είναι λοιπόν υπεύθυνες για τον ασφαλή διαχωρισμό των αεροσκαφών στον αέρα και στο έδαφος (στην περιοχή ελιγμών ενός αεροδρομίου), για τη στοιχειοθέτηση και διανομή των πολλαπλών πληροφοριών που είναι αναγκαίες να διατίθενται προς τους πιλότους σε μόνη, εποχιακή ή παροδική βάση και για τη συνέγερση όλων των απαραίτητων φορέων και μέσων σε περιπτώσεις που απειλείται ή ενδέχεται να απειληθεί η ασφάλεια πτήσεων. Στο έργο τους οι υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας υποστηρίζονται από τις υπόλοιπες υπηρεσίες αεροναυτιλίας οι οποίες είναι υπεύ-

θυνες μεταξύ άλλων και για την κατασκευή, συντήρηση και εφαρμογή πολύπλοκων και εντελώς εξειδικευμένων ηλεκτρονικών συστημάτων. Όσοι φορείς παρέχουν όλες τις παραπάνω υπηρεσίες οφείλουν να τηρούν ειδικούς κανονισμούς ασφαλείας.

Λειτουργούν επίσης υπηρεσίες που ασχολούνται με τον σχεδιασμό και τη διαχείριση του εναέριου χώρου και τη διαχείριση της ροής της εναέριας κυκλοφορίας. Αυτές οι υπηρεσίες μαζί με τις υπηρεσίες εναέριας κυκλοφορίας αποτελούν τμήμα της διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας. Με γνώμονα την αποτελεσματικότερη διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός για την Ασφάλεια της Αεροναυτιλίας - Eurocontrol (European Organisation for the Safety of Air Navigation, μέλος του οποίου είναι και η Ελλάδα) έχει θεσπίσει έναν φορέα ο οποίος προαποφασίζει για την ώρα αναχώρησης κάθε πτήσης εντός του ευρωπαϊκού εναέριου χώρου με σκοπό να περιορίσει σε όρια ασφαλείας τον αριθμό πτήσεων σε κάθε περιοχή που ασκείται ΕΕΚ. Η υπηρεσία αυτή δρα ως αναπόσπαστο κομμάτι του ευρωπαϊκού συστήματος ΕΕΚ.[5]

## 3.2 Ιστορική Εξέλιξη

Η ανάγκη παροχής πληροφοριών καιρού, πλοήγησης και αποφυγής εναέριων συγκρούσεων για τους αεροναυτιλομένους ξεκίνησε στην Ευρώπη, κυρίως μεταξύ Αγγλίας και Γαλλίας, το 1921, μετά από ένα εναέριο ατύχημα. Εντούτοις δεν υπήρξε επίσημη έναρξη μιας οργανωμένης υπηρεσίας. Μετά το 1930 ωστόσο στις ΗΠΑ η ύπαρξη πολλών πτήσεων αεροταχυδρομείων που πετούσαν καθημερινά μεταξύ των διαφόρων πολιτειών προκάλεσε επικίνδυνες προσεγγίσεις αεροπλάνων όπως επίσης απαίτησε και την οργάνωση δικτύου επιγείων βοηθημάτων αεροναυτιλίας και παροχής πληροφοριών για τη συνεχή και κατά το δυνατόν καθημερινή εκτέλεση των πτήσεων. Το 1932 οι αεροπορικές εταιρείες αποφάσισαν να εκπονήσουν ένα σύστημα, για την ασφάλειά τους, στον χώρο των Νοτιοανατολικών ΗΠΑ. Ο Earl Ward, πιλότος αεροταχυδρομείων, εργάστηκε προς αυτήν την κατεύθυνση και επινόησε πρώτος ένα σύστημα παροχής πληροφοριών μέσω ασυρμάτου και ορατών σημάτων εδάφους ενώ προώθησε ένα δίκτυο φωτεινών φάρων που καθοδηγούσαν οπτικά τους πιλότους στη διαδρομή τους σε συνδυασμό με αναφορές όταν περνούσαν από πάνω τους για τον έλεγχο της προόδου κάθε πτήσης και υπολογισμού της θέσης της. Έτσι ιδρύθηκε το πρώτο δίκτυο μέσω αεροδιαδρόμων<sup>1</sup> και διατυπώθηκαν οι πρώτοι βασικοί κανονισμοί εναέριας κυκλοφορίας με έδρα το αεροδρόμιο του Κλήβελαντ. Το 1934 υπήρχαν τουλάχιστον 20 παρόμοια κέντρα παρακολούθησης των πτήσεων με πλήρη τηλεφωνική επικοινωνία μεταξύ τους και σχεδόν όλα τα αεροπλάνα εφοδιάστηκαν με ασύρματο.

Επίσης υιοθετήθηκε σύστημα καταγραφής των αναφορών σε λωρίδες χαρτιού

<sup>1</sup>Αεροδιάδρομος (airway): ο εναέριος διάδρομος μέσα στον οποίο υποχρεούνται να κινούνται τα αεροσκάφη που υπόκεινται στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας. Συχνά χρησιμοποιείται στην καθομιλουμένη λανθασμένα για να δηλώσει τον διάδρομο αποπροσγείωσης.



ενώ σε ένα μεγάλο χάρτη κινούσαν ειδικά σημάδια που έδειχναν τη θέση κάθε πτήσης όπως εκτιμόταν από τις αναφορές των πιλότων, τις αποστάσεις, την ώρα και τις ταχύτητες. Ο άμεσος βοηθός του Ward, ονόματι Glen Gilbert ανέλαβε να κωδικοποιήσει όλο το σύνολο των κανόνων μεταξύ των πιλότων και των ανθρώπων που παρακολουθούσαν τις πτήσεις στα κέντρα αυτά εκδίδοντας ειδικά εγχειρίδια. Χάρης στον Gilbert δόθηκε και μια άλλη διάσταση στο έργο αυτών των ανθρώπων. Αναγνωρίστηκε ότι την ασφαλή καθοδήγηση των πτήσεων θα αναλάμβαναν πλέον τα κέντρα εκδίδοντας εντολές στις οποίες θα υπάκουαν όλοι οι πιλότοι που πετούσαν μέσα στην ίδια περιοχή αναλαμβάνοντας εκείνα την ευθύνη διαχωρισμού των πτήσεων κι όχι οι πιλότοι μεταξύ τους. Έκτοτε καθιερώθηκε ο όρος “έλεγχος” στο ήδη υπάρχον σύστημα “εναέριας κυκλοφορίας” και από το 1934-35, ο όρος εμφανίζεται επίσημα για πρώτη φορά με την πλήρη του μορφή ως Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας (EEK).

Διαπιστώθηκε όμως ότι όλοι αυτοί οι κανονισμοί δε θα είχαν αξία παρά μόνο αν όλοι ανεξαιρέτως οι αεροναυτιλόμενοι υπάκουαν σε αυτούς και παράλληλα έγινε αντιληπτό ότι επρόκειτο για ένα δαπανηρό σύστημα που ξεπερνούσε τα όρια των εταιρειών ενώ επρόκειτο στην ουσία για μια δημόσια κοινωφελή υπηρεσία. Η κυβέρνηση των ΗΠΑ που αντιλήφθηκε την οικονομική σημασία της ανάπτυξης των αερομεταφορών αποφάσισε να αναλάβει το σύστημα υπό την κρατική κηδεμονία. Το 1936 η συντήρηση των φάρων διαδρομής και το σύστημα των αεροδιαδρόμων σε όλη τη χώρα περιήλθε στον προϋπολογισμό του κράτους αν και η λειτουργία των αεροδρομίων παρέμεινε υπό το παλιό καθεστώς. Στο διάστημα μεταξύ 1941-44, η νεοϊδρυθείσα Αμερικανική Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (CAA, Civil Aviation Authority) ανέλαβε και τα αεροδρόμια και τους πύργους ελέγχου μέσα σε αυτά, περίπου 115 ως τότε. Η βασική διάρθρωση αυτή του EEK μέσω των υπηρεσιών πολιτικής αεροπορίας χρησιμοποιήθηκε ως μοντέλο που υιοθετήθηκε αργότερα από όλες τις χώρες.

Μεταπολεμικά η Αγγλία ήταν η πρώτη Ευρωπαϊκή χώρα στην οποία οι υπηρεσίες EEK ξεκίνησαν μια συστηματική οργάνωση και τυποποίηση. Ιδρύθηκε κέντρο EEK, καθιερώθηκαν τοπικοί κανονισμοί, παρόμοιοι αν κι όχι πάντα ταυτόσημοι με εκείνους στις ΗΠΑ, κι ιδρύθηκαν οι πρώτοι Ευρωπαϊκοί αεροδιάδρομοι. Επίσης ο εναέριος χώρος χαρακτηρίστηκε σε Κατώτερο κι Ανώτερο, με διαχωριστική γραμμή το ύψος των 20.000-24.000 ποδών στην Ευρώπη και 18.000 στις ΗΠΑ, διαχωρίζοντας θεωρητικά τον χώρο των πλέον αργών κι ελαφρών πτήσεων κι εκείνο, τον ανώτερο, που επρόκειτο να κυριαρχηθεί απ τα ταχύτερα νέα αεριωθούμενα επιβατηγά αεροπλάνα.[5]

Από το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 50, ο αριθμός των πτήσεων στις ΗΠΑ υπερδιπλασιάστηκε, χωρίς όμως να ληφθούν κάποια μέτρα για την αποφυγή εναέριων συγκρούσεων ή για τη δυνατότητα χειρισμού της αυξημένης κίνησης. Σε διάστημα 5 ετών, από το 1950 ως το 1955 συνέβησαν 65 τέτοια ατυχήματα<sup>2</sup>. Η εναέρια σύγκρουση δυο αεροσκα-

---

<sup>2</sup>FAA Historical Chronology, 1926-1996,  
<https://www.faa.gov/about/media/b-chron.pdf>

φών πάνω από το Grand Canyon των ΗΠΑ στις 30/6/1956, με 128 νεκρούς, έφερε στην επιφάνεια το πρόβλημα και πλέον άρχισε να γίνεται κατανοητή η έκτασή του. Έγινε φανερό ότι είναι αδύνατο να αποφευχθούν παρόμοια περιστατικά εάν η πτήση και η πλοήγηση γίνεται μόνο με οπτικά μέσα, αφού η ορατότητα μέσα στο πιλοτήριο είναι περιορισμένη<sup>3</sup>.

Αυτό οδήγησε στη σύσταση μιας αρχής, που εξελίχθηκε στη σημερινή Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας (Federal Aviation Administration, FAA) με σκοπό να επιβλέπει τις πολιτικές και αργότερα και τις στρατιωτικές πτήσεις. Ως πρώτο βήμα, η χρήση ραντάρ για τη διαπίστωση της θέσης έγινε υποχρεωτική.

Το 1947 ιδρύθηκε ο Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας (International Civil Aviation Organization, ICAO), ο οποίος είναι τμήμα του ΟΗΕ και δημιουργήθηκε λόγω της ανάγκης οργάνωσης της κυκλοφορίας πολιτικών και στρατιωτικών αεροσκαφών καθώς και για τη ρύθμιση της συνεχώς αυξανόμενης κυκλοφορίας παγκοσμίως. Η Ευρώπη δημιούργησε το Eurocontrol που υπόκειται στους κανόνες του ICAO και βρίσκεται σε στενή συνεργασία με αυτόν.

Με την πάροδο του χρόνου, ο εξοπλισμός για τη διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας εκσυγχρονίστηκε και αυτοματοποιήθηκε όπως και τα αντίστοιχα συστήματα των αεροσκαφών, οι κανονισμοί και οι προβλεπόμενες διαδικασίες τροποποιήθηκαν, με αποτέλεσμα τη μεγάλη μείωση του αριθμού τέτοιων περιστατικών. Ένα μέρος των αλλαγών προέκυψε λόγω της τεχνολογικής προόδου όπως η χρήση ραντάρ, η χρησιμοποίηση αισθητήρων, τα αυτόματα συστήματα. Άλλες αλλαγές προέκυψαν μετά από την ανάλυση ατυχημάτων.

### 3.3 Αποφυγή Συγκρούσεων

#### 3.3.1 Σύγκρουση εν Πτήξει

Πιθανή σύγκρουση αεροσκάφους με άλλο αεροσκάφος εν πτήξει, συνήθως αποβαίνει μοιραία τουλάχιστον για ένα εκ των δυο αεροσκαφών. Λόγω των υψηλών ταχυτήτων οποιαδήποτε επαφή μπορεί να επιφέρει σημαντική καταστροφή ή σε μεγάλο μέρος του αεροσκάφους ή σε κρίσιμα δομικά στοιχεία του αεροσκάφους ή να επηρεαστούν επιφάνειες ελέγχου και υδραυλικά συστήματα που τις ελέγχουν. Στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις η σύγκρουση με το έδαφος είναι αναπόφευκτη. Το συγκριτικό μέγεθος των δυο αεροπλάνων δεν έχει πάντα σχέση με το αποτέλεσμα, όπως για παράδειγμα στην πτήση 1907 της Gol Transportes Aéreos, που ένα Boeing 737 και ένα bussiness jet (Embraer Legacy 600) συγκρούστηκαν. Το συγκριτικά μικρό αεροσκάφος υπέστη λίγες ζημιές και προσγειώθηκε ασφαλώς ενώ το μεγάλο επιβατηγό jet κατέπεσε.

Οι Κανονισμοί Εναέριας Κυκλοφορίας προβλέπουν ικανοποιητική απόσταση (διαχωρισμό) μεταξύ των αεροσκαφών ενώ οι πιλότοι και οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας έχουν στη διάθεσή τους ηλεκτρονικά συστήματα που προειδο-

<sup>3</sup>Από την αναφορά του ατυχήματος, [lessonslearned.faa.gov/UAL718/CAB\\_accident\\_report.pdf](http://lessonslearned.faa.gov/UAL718/CAB_accident_report.pdf)

ποιούν έγκαιρα για την πιθανότητα σύγκρουσης και υποδεικνύουν τις απαραίτητες ενέργειες. Για παράδειγμα το STCA (Short-term conflict alert) προειδοποιεί τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας για πιθανό κίνδυνο σύγκρουσης ή για παραβίαση του ελάχιστου διαχωρισμού. Αντίστοιχα το TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) είναι ένα σύστημα που προειδοποιεί τους πιλότους δυο αεροπλάνων για το ενδεχόμενο σύγκρουσης. Τα παραπάνω συστήματα επεμβαίνουν σε περίπτωση άμεσου κινδύνου. Υπό κανονικές συνθήκες, τα αεροσκάφη κινούνται σε προκαθορισμένους αεροδιάδρομους με συγκεκριμένα σημεία εισόδου και εξόδου, με την πτήση να πραγματοποιείται σε συγκεκριμένα υψόμετρα.

Όμως, παρόμοια ατυχήματα συνεχίζουν να συμβαίνουν με κύρια αιτία το ανθρώπινο λάθος. Επιπλέον, η αύξηση της ακρίβειας των οργάνων πλοήγησης όπως για παράδειγμα στα όργανα μέτρησης υψομέτρου δε συνεπάγεται μειωμένη πιθανότητα σύγκρουσης όπως διαισθητικά θα περιμέναμε. Με την υπάρχουσα πρακτική των αεροδιαδρόμων με προκαθορισμένα επίπεδα πτήσης, σε περίπτωση ανθρώπινου λάθους ο κίνδυνος σύγκρουσης εν πτήσει αυξάνεται δραματικά (σε προσομοιώσεις έως και 33 φορές) συγκριτικά με το αν χρησιμοποιούνται όργανα πλοήγησης μειωμένης ακρίβειας ή πτήσεις σε τυχαία υψόμετρα[6, 7].

### 3.3.2 Σύγκρουση στο Έδαφος

Περιστατικά με σύγκρουση αεροσκάφους που βρίσκεται στο έδαφος (εκτός των φάσεων της προσγείωσης ή της απογείωσης) με άλλο αεροσκάφος ή με σταθερό εμπόδιο ή με οχήματα που κινούνται εντός της περιοχής του αεροδρομίου, ενώ συμβαίνουν σχετικά συχνά, λόγω των χαμηλών ταχυτήτων τις περισσότερες φορές το αποτέλεσμα περιορίζεται σε ελαφρείς τραυματισμούς. Σπάνια έχουν υπάρξει ανθρώπινες απώλειες, ενώ οι υλικές ζημιές κυμαίνονται από ασήμαντες έως και πολύ μεγάλες.[8, 9]

Κατά τη φάση της απογείωσης ή της προσγείωσης όμως, σύγκρουση με άλλο αεροσκάφος ή με σταθερό εμπόδιο ή με άλλο όχημα λόγω των υψηλών ταχυτήτων και (στη φάση της απογείωσης) τις γεμάτες δεξαμενές καυσίμων, τα αποτελέσματα είναι καταστροφικά. Ατυχήματα έχουν συμβεί στο παρελθόν, λόγω της ύπαρξης εμποδίου στον διάδρομο αποπροσγείωσης, της απογείωσης από λάθος (κλειστό εκείνη τη στιγμή) αεροδιάδρομο ή ακόμα και από διάδρομο τροχοδρόμησης, παράλληλο με τον διάδρομο αποπροσγείωσης. Βασικός παράγοντας σε όλα τα περιστατικά αυτά ήταν το ανθρώπινο λάθος, σε συνδυασμό τις περισσότερες φορές με μειωμένη ορατότητα.

Ενδεικτικό είναι ότι μόνο το 2010 υπήρξαν 966 αναφερθέντα περιστατικά παραβίασης του διαδρόμου αποπροσγείωσης (runway incursion), με τα σοβαρά όμως ατυχήματα να μειώνονται κατά πολύ σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Σε ποσοστό λίγο πάνω από 60% την περίοδο 2008-2011 η παραβίαση ήταν αποτέλεσμα των ενεργειών του πιλότου[10].

### 3.4 Αποφυγή Στροβιλισμών

Ο βασικός λόγος για την επιβολή ελαχίστου διαχωρισμού μεταξύ των αεροσκαφών είναι (εκτός από τον προφανή λόγο της σύγκρουσης) ο μη προφανής και συνήθως μη ορατός κίνδυνος από τους στροβιλισμούς του αέρα που δημιουργούνται από τη διέλευση του αεροσκάφους που ονομάζονται στρόβιλοι του ομόρου (wake turbulence). Αποτελείται κυρίως από τις δίνες που δημιουργούνται στις πτέρυγες και από τα αέρια που αποβάλλονται από τον κινητήρα (jetwash).

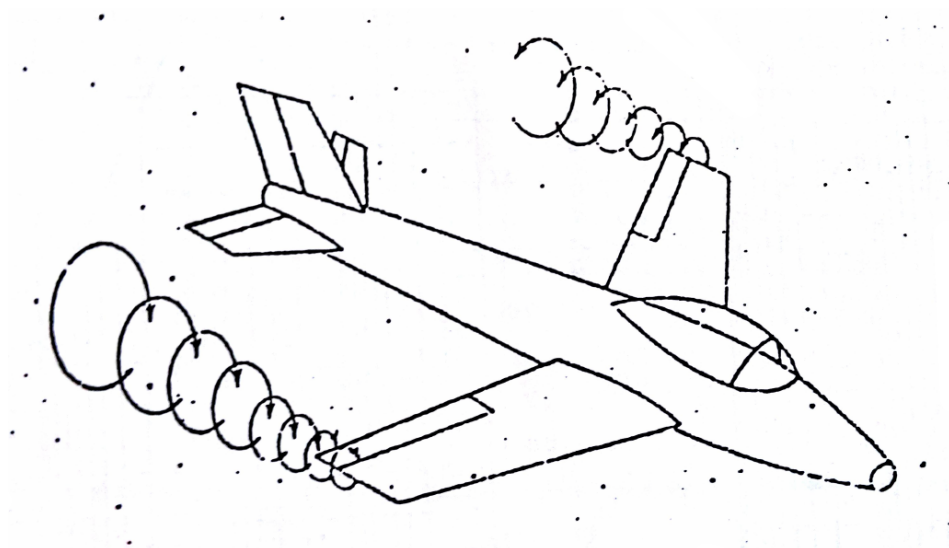


**Σχήμα 3.1:** Φωτογραφία από μελέτη της NASA για τις αναταράξεις, όπου φαίνεται το σχήμα των αναταράξεων που δημιουργεί η πτέρυγα αυτού του μικρού αεροσκάφους. Πηγή: <http://lisar.larc.nasa.gov/UTILS/info.cgi?id=EL-1996-00130>

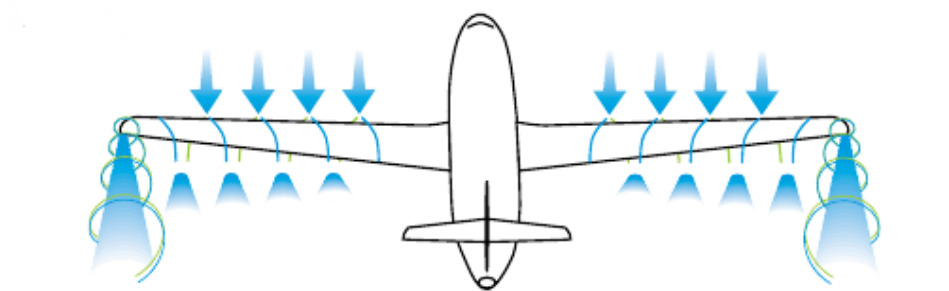
Οι στρόβιλοι του ομόρου λόγω της πτέρυγας δημιουργούνται ως εξής [11, σελ. 17]: Κατά την κίνηση του αεροσκάφους και όταν δημιουργείται άντωση στην πτέρυγα, εμφανίζεται υψηλή πίεση στην κάτω επιφάνειά της και χαμηλή στην επάνω. Στην άκρη της πτέρυγας, ο αέρας υψηλής πίεσης από την κάτω επιφάνεια κινείται προς την περιοχή της χαμηλής πίεσης στην πάνω μεριά της πτέρυγας. Καθώς το αεροσκάφος κινείται, οι άκρες των πτερυγίων δίνουν στον αέρα μορφή σπείρας. Αυτές οι σπείρες, ονομάζονται “στροβιλισμοί στην άκρη της πτέρυγας” (wingtip vortices) και φαίνονται στο Σχήμα 3.2. Εντός των στρο-

βίων ο αέρας κινείται με μεγάλη ταχύτητα, η οποία μπορεί να ξεπεράσει τα 330 km/h για μεγάλα αεροσκάφη[12].

Παρόλο που στην άκρη της πτέρυγας το φαινόμενο είναι έντονο, όπως απέδειξε ο Ludwig Prandtl, ο στροβιλισμός δεν περιορίζεται μόνο στις άκρες των πτερύγων, αλλά αποτελείται από ένα ολόκληρο στρώμα στροβιλισμών πίσω από την πτέρυγα (Σχήμα 3.2β'). Επίσης δημιουργείται στη ροή του αέρα γύρω από το αεροσκάφος μια συνιστώσα της ταχύτητας προς τα κάτω που ονομάζεται κατώρευμα (downwash), συνέπεια του στρώματος των στροβιλισμών στην πτέρυγα και το ουραίο πτερύγιο.



(α') Αναπαράσταση των στροβιλισμών στην άκρη της πτέρυγας. Πηγή: [11, σελ. 45]



(β') Μία ακόμα αναπαράσταση, που δείχνει όλο το στρώμα των στροβιλισμών πίσω από τις πτέρυγες. Πηγή: Civil Aviation Authority of New Zealand

**Σχήμα 3.2:** Αναπαραστάσεις των στροβίλων του ομόρου. Βλέποντας το αεροσκάφος από πίσω, η δίνη της αριστερής πτέρυγας περιστρέφεται ωρολογιακά, ενώ της δεξιάς αντιωρολογιακά.

Οι στρόβιλοι του ομόρου εξαρτώνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πτερύγων και των ακροπτερυγίων, την ταχύτητα του αεροσκάφους (οριζόντια και κάθετη), τη γωνία προσβολής (angle of attack) κ.ά. Παρασύρονται από τον αέρα, ενώ μπορεί να παραμείνουν ενεργοί και “σταθεροί” για κάποια λεπτά της ώρας, ειδικά σε συνθήκες νηνεμίας ή ασθενούς ανέμου, αφού έντονες αναταράξεις λόγω άλλων αιτιών όπως καιρικά φαινόμενα, βοηθούν στην πιο γρήγορη διάλυσή τους[13]. Τυπικά, χάνουν υψόμετρο με την πάροδο του χρόνου, συνήθως τα πρώτα 30 δευτερόλεπτα με ρυθμό περίπου 100 με 150 μέτρα το λεπτό, ενώ σταδιακά σταθεροποιούνται έχοντας χάσει υψόμετρο από 150 μέχρι 275 μέτρα περίπου[12]. Τα αέρια του κινητήρα προκαλούν έντονες αναταράξεις, ωστόσο αυτές δεν έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και διαλύονται σύντομα<sup>4</sup>. Ο αέρας γύρω από την άτρακτο στα συμβατικά επιβατηγά αεροσκάφη έχει σχετικά ομαλή ροή οπότε το μέγεθος της ατράκτου, ενάντια στη διαίσθησή μας, δε συνεισφέρει άμεσα στο φαινόμενο σε σημαντικό βαθμό. Όμως ένα “μεγάλο” αεροσκάφος έχει συνήθως και μεγάλο βάρος, οπότε και οι πτέρυγές του είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να το υποστηρίζουν, παράγοντας αντίστοιχα μεγάλη άντωση.

Εάν ένα αεροσκάφος συναντήσει έντονες τέτοιες αναταράξεις, αντιδρά βίαια. Συνήθως αποκτά απότομα κλίση ή βυθίζεται, με μεγάλο ρυθμό αλλαγής γωνίας και οι επιφάνειες ελέγχου μπορεί και να είναι ανεπαρκείς για τη διόρθωση.



(α') Το Boeing 737 μπαίνει στην περιοχή των αναταράξεων (β') Περίπου ένα δευτερόλεπτο μετά, έχει αποκτήσει μεγάλη κλίση

**Σχήμα 3.3:** Μελέτη του Εθνικού Συμβουλίου Ασφάλειας των Μεταφορών των ΗΠΑ (NTSB) για τα αίτια του ατυχήματος της πτήσης 427 της USAIR. Το προπορευόμενο αεροσκάφος (Boeing 727) έχει γεννήτριες καπνού στις άκρες των πτερύγων ώστε να είναι ορατές οι περιοχές που το πεδίο ροής είναι στροβιλό[14].

Τα αεροσκάφη κινδυνεύουν πολύ περισσότερο κατά τη φάση της απογείωσης/ανόδου και της προσέγγισης/προσγείωσης, διότι σε αυτές τις φάσεις πραγματοποιούν την πτήση σε χαμηλό υψόμετρο, υπό μεγάλη γωνία προσβολής, έχουν ανεπτυγμένα τα πτερύγια καμπυλότητας (flaps), οπότε η παραγόμενη

<sup>4</sup>Όμως υπό κατάλληλες συνθήκες τα παραγόμενα αυτά αέρια μπορεί να υγροποιηθούν και να παραμείνουν στην ατμόσφαιρα για αρκετά λεπτά θυμίζοντας τις γραμμές που αφήνουν τα αγροτικά αεροσκάφη αεροψεκασμών, οδηγώντας κάποιους σε παρόμοια συμπεράσματα.





**Σχήμα 3.4:** Ένα Boeing 757 καθώς προσεγγίζει τον διάδρομο προσγείωσης. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες κάνουν τους στροβίλους μερικώς ορατούς, όπου και φαίνονται μερικά από τα χαρακτηριστικά τους.

άντωση είναι μεγάλη άρα και οι στρόβιλοι που δημιουργούνται είναι έντονοι. Επιπλέον, σε πολύ χαμηλά υψόμετρα, λόγω του φαινομένου της επίδρασης του εδάφους (ground effect), οι στρόβιλοι ενισχύονται και αυξάνει η διάρκεια ζωής τους[12]. Οι δύο κύριοι στρόβιλοι, σε συνθήκες νηνεμίας έχουν την τάση να απομακρύνονται με ταχύτητα περίπου 5 κόμβων, οπότε ένας ασθενής πλευρικός άνεμος μπορεί να κρατήσει τον έναν από τους δύο “σταθερό” πάνω στον διάδρομο.

Τέλος, λόγω του χαμηλού ύψους, το περιθώριο διορθώσεων και επαναφοράς του αεροσκάφους είναι πολύ μικρό.

### 3.5 Διαχωρισμός

Στους κανονισμούς εναέριας κυκλοφορίας προβλέπεται η ελάχιστη απόσταση ή ο ελάχιστος χρόνος ασφαλείας μεταξύ δυο αεροσκαφών ώστε να μην υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ τους, ανάλογα με τον τύπο τους, τόσο κατά την προσγείωση/απογείωση όσο και εν πτήση τόσο για την αποφυγή συγκρούσεων όσο και για την αποφυγή των στροβιλισμών. Ονομάζεται ελάχιστος διαχωρισμός (separation minima), ενώ γενικά η απόσταση ή ο χρόνος μεταξύ δυο αεροσκαφών ονομάζεται διαχωρισμός (separation).

Οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας οφείλουν ή να τηρούν τον ελάχιστο διαχω-

ρισμό εάν η πτήση γίνεται με κανόνες πτήσης δια οργάνων (IFR) ή στην περίπτωση που ισχύουν κανόνες πτήσης εξ όψεως (VFR) να τηρούν τον ελάχιστο χρόνο ασφαλείας και να προειδοποιούν τους πιλότους αναφέροντάς τους πιθανή ύπαρξη αναταράξεων και τον τύπο του προπορευόμενου αεροσκάφους, ενώ οι πιλότοι είναι υποχρεωμένοι να τηρούν απόσταση ασφαλείας. Επίσης, λόγω της μεταφοράς των στροβίλων με την πάροδο του χρόνου, τα επίπεδα πτήσης του κάθε αεροσκάφους και τα σημεία απογείωσης και προσέγγισης (rotation point, touchdown point) στον διάδρομο αποπροσγείωσης επηρεάζουν τον ελάχιστο διαχωρισμό.

### **3.6 Βελτιστοποίηση Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας**

Η ύπαρξη του ελάχιστου διαχωρισμού των αεροσκαφών για τους προαναφερθέντες λόγους είναι αναγκαία. Άμεση συνέπεια είναι ότι τα αεροδρόμια μπορούν να εξυπηρετήσουν μέχρι έναν αριθμό αεροσκαφών. Σε πολυσύχναστα αεροδρόμια, συχνή είναι η δημιουργία συμφόρησης, ειδικά σε ώρες αιχμής ή σε καταστάσεις υψηλής ζήτησης (όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια μιας κακοκαιρίας) ή σε μια διαταραχή της ομαλής ροής της κίνησης.[15] Εάν υπάρχουν καθυστερήσεις, το κόστος είναι υψηλό λόγω της κατανάλωσης καυσίμων κατά την αναμονή για την απογείωση και την προσγείωση, ενώ αν πτήσεις εκτραπούν σε άλλα αεροδρόμια αυξάνει επιπλέον το κόστος. Σε ένα κορεσμένο αεροδρόμιο, ο αριθμός των πτήσεων είναι συγκεκριμένος, περιορίζοντας τον αριθμό των επιβατών και των εμπορευμάτων που διακινούνται, με οικονομικό κόστος για τις εταιρίες και το αεροδρόμιο.

Το ζητούμενο λοιπόν είναι η βέλτιστη λειτουργία, δηλαδή η τήρηση των κανονισμών, και ταυτόχρονα η βέλτιστη αξιοποίηση του αεροδρομίου και του εναέριου χώρου.

### **3.7 Ελεγκτές Εναέριας Κυκλοφορίας**

Η εργασία των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας, χαρακτηρίζεται από πληθώρα κανονισμών, αποφάσεων και πληροφοριών. Διέπεται από πολλαπλές και αλληλοεξαρτώμενες αρμοδιότητες, χρησιμοποιεί εργαλεία και υπόκειται σε κανονισμούς, με σκοπό τη βέλτιστη και ασφαλέστερη ρύθμιση της ροής της κυκλοφορίας. Διαφορετικοί ελεγκτές, επικοινωνούν και συνεργάζονται με τους γειτονικούς τομείς και αεροδρόμια προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή ρύθμιση της κυκλοφορίας τόσο στον τομέα που είναι υπεύθυνοι, όσο και σε όλο το τμήμα της πορείας του αεροσκάφους.

Βασική αρμοδιότητα του ελεγκτή είναι να παρακολουθεί όλη την κυκλοφορία στο τομέα του, να φροντίζει τα αεροσκάφη να είναι καθ' ύψος ή πλευρικά διαχωρισμένα και όταν τα μεταβιβάζει σε γειτονικούς τομείς να μην εμπλέκονται άμεσα με αεροσκάφη αυτών των τομέων. Υποχρεούται να παρέχει στους κυβερνήτες των αεροσκαφών οποιαδήποτε πληροφορία, βοήθεια, εγκρίνει ή/και



ορίζει αλλαγή ύψους ή πορείας εάν είναι εφικτό και κατευθύνει τα αεροσκάφη για την αποφυγή κακοκαιρίας ή σε περίπτωση οποιασδήποτε βλάβης να του δίνει άμεση προτεραιότητα.

Ο Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας συνιστά εργασία που απαιτεί ετοιμότητα, ψυχραιμία, ικανότητα γρήγορης εκτίμησης πολύπλοκων καταστάσεων και έκδοσης εντολών, αντίληψη χώρου και χρόνου, ταχύτητα στη λήψη αποφάσεων, γρήγορα αντανακλαστικά, συντονιστικές και οργανωτικές ικανότητες.

### **3.8 Ο Ρόλος του Ανθρώπινου Παράγοντα σε Ατυχήματα**

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες για τα αίτια που οδηγούν στη λήψη λανθασμένων αποφάσεων σε ελεγκτές και πιλότους. Όσον αφορά στους ελεγκτές, ένας από τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν σε λάθος αποφάσεις είναι πτώση της απόδοσης με τον χρόνο και ο φόρτος εργασίας. Πολύ μεγάλος φόρτος εργασίας οδηγεί στη λήψη λανθασμένων αποφάσεων και στη μεγάλη μείωση της απόδοσης, θέτοντας ταυτόχρονα όριο στον όγκο της κίνησης που μπορεί να διαχειριστεί. Εξίσου επιβλαβής είναι και ο πολύ χαμηλός φόρτος εργασίας, που επιφέρει οκνηρία και μειωμένη εγρήγορση, κάνοντας δύσκολη την αναγνώριση των δυνητικά επικίνδυνων καταστάσεων[16].

### **3.9 Παραδείγματα Ατυχημάτων Οφειλόμενα στον Έλεγχο Εναέριας Κυκλοφορίας**

Η παραβίαση κανονισμών από ελεγκτές ή πιλότους, ή σε κάποιες περιπτώσεις οι μη ολοκληρωμένοι κανονισμοί ΕΕΚ, έχουν οδηγήσει σε σοβαρά ατυχήματα. Παραδείγματα αυτών αναφέρονται παρακάτω, όπου η λεπτομερής ανάλυσή τους και ακριβή τους αίτια βρίσκονται καταγεγραμμένα στους αντίστοιχους εθνικούς και υπερεθνικούς οργανισμούς (π.χ. NTSB).

- Η σύγκρουση στον διάδρομο αποπροσγείωσης μεταξύ δύο Boeing 747 στην Τενερίφη το 1977, η οποία στοίχισε τη ζωή 583 ανθρώπων, κατατάσσοντας τη στην κορυφή των θανατηφόρων αεροπορικών ατυχημάτων. Η ανάλυσή του μεταξύ άλλων επέφερε την αλλαγή κανονισμών και την τυποποίηση εκφράσεων.
- Η σύγκρουση εν πτήση την 1η Ιουλίου του 2002 πάνω από την πόλη Überlingen στη νότια Γερμανία, ενός Tupolev Tu-154 και ενός Boeing 757, αποτέλεσμα της σύγχυσης σχετικά με την προτεραιότητα ανάμεσα στις οδηγίες του ελεγκτή και του TCAS.
- Η πτήση 1907 της Gol Transportes Aéreos, όπου στις 29 Σεπτεμβρίου 2006, ένα Boeing 737 και ένα bussiness jet (Embraer Legacy 600) συγκρούστηκαν

πάνω από τον Αμαζόνιο, όπου μια σειρά λαθών οδήγησε τα δυο αεροσκάφη στο να έχουν λάβει έγκριση να επιχειρούν με αντίθετες κατευθύνσεις στο ίδιο υψόμετρο και στον ίδιο αεροδιάδρομο.

- Στις 4 Νοεμβρίου 2008 ένα Learjet 45, κατέπεσε κατά την προσέγγιση στο Διεθνές Αεροδρόμιο της Πόλης του Μεξικού, λόγω της παραβίασης του απαιτούμενου ελάχιστου διαχωρισμού με ευθύνη των πιλότων, σε συνδυασμό με τη νηνεμία που επικρατούσε.

### **3.10 Μέλλον**

Η ολοένα και μεγαλύτερη χρήση τεχνολογικών καινοτομιών στην αεροπλοΐα, έχει αντίκτυπο και στον ΕΕΚ. Ο δυναμικός και αυτοματοποιημένος διαχωρισμός των αεροσκαφών με τη βοήθεια αποκεντρωμένου συστήματος, αποτελεί βασικό στοιχείο του νέου αναδυόμενου οράματος. Η κατανομή του εναερίου χώρου θα γίνεται με την επικοινωνία των υπολογιστικών συστημάτων των αεροσκαφών, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση (Free flight). Ταυτόχρονα, ο ριζικός μετασχηματισμός της αεροπλοΐας περιλαμβάνει τεχνολογίες ανίχνευσης των στροβίλων του ομόρου, ώστε να είναι εφικτή η δυναμική προσαρμογή του ελάχιστου διαχωρισμού.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΙΣΧΥΟΝΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΕΕΚ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια σύντομη παρουσίαση των Κανονισμών Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας που βρίσκονται σε ισχύ και αφορούν στην περιοχή του αεροδρομίου και κυρίως την προσέγγιση - προσγείωση και την απογείωση - τα πρώτα στάδια της πτήσης, ώστε να υπάρξει εξοικείωση με τη μετέπειτα υλοποίηση. Επίσης, θα αναφερθούν οι μελλοντικές κατευθύνσεις και κινήσεις για την αλλαγή αυτών των κανονισμών.

#### Μονάδες Μέτρησης

Λόγω της αποκλειστικής χρήσης του Αγγλοσαξωνικού Συστήματος Μονάδων στην αεροπορική βιομηχανία για τα μεγέθη των αποστάσεων και των ταχυτήτων, στην παρούσα διπλωματική δε θα γίνει κάποια μετατροπή στο S.I. γι' αυτά τα μεγέθη (ναυτικά μίλια και πόδια για τις αποστάσεις, κόμβοι για την ταχύτητα).

#### 4.1 Μέγιστο Βάρος Απογείωσης

Το βάρος του αεροσκάφους σχετίζεται άμεσα με την άντωση που είναι σχεδιασμένη να παράγει η πτέρυγα και άρα όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, με την ένταση των στροβίλων του ομόρου. Αντίστοιχα, το βάρος του αεροσκάφους είναι αντιπροσωπευτικό για το πόσο επηρεάζεται ένα αεροσκάφος από την ανώμαλη ροή που προκαλεί το προπορευόμενο αεροσκάφος. Συνεπώς, το βάρος (από την FAA) ή η μάζα (από τον ICAO) του αεροσκάφους, έχει τεθεί ως το κριτήριο για την κατηγοριοποίηση των αεροσκαφών και τον ορισμό του ελαχίστου διαχωρισμού κατά περίπτωση.

Συγκεκριμένα, στους δυο ισχύοντες κανονισμούς η κατηγοριοποίηση (wake turbulence categorization) γίνεται σύμφωνα με το μέγιστο βάρος απογείωσης ή τη

μέγιστη μάζα απογείωσης (Maximum Takeoff Weight, MTOW ή Maximum Takeoff Mass, MTOM) του κάθε αεροσκάφους. Είναι μέγεθος που εκφράζει το μέγιστο επιτρεπτό βάρος ή την μέγιστη επιτρεπτή μάζα απογείωσης κάτω υπό οποιεσδήποτε συνθήκες. Είναι διαφορετικό από το πραγματικό βάρος/μάζα του αεροσκάφους σε μια τυχαία στιγμή και διαφορετικό από το μέγιστο επιτρεπτό βάρος ή τη μέγιστη επιτρεπτή μάζα απογείωσης υπό τις εκάστοτε συγκεκριμένες συνθήκες (κατεύθυνση και ένταση ανέμου, μήκος διαδρόμου αποπροσγείωσης, κ.ά).

Στην πράξη, οι κανονισμοί αυτοί έχουν αποδειχθεί αξιόπιστοι καθώς από την καθιέρωσή τους, δεν έχει υπάρξει θανατηφόρο ατύχημα που να έχει προκληθεί από είσοδο αεροσκάφους στην ανώμαλη ροή του προπορευόμενου ενώ τηρείται ο ελάχιστος διαχωρισμός που επιβάλλουν οι κανονισμοί πτήσης δια οργάνου[13].

## 4.2 Κατηγοριοποίηση Αεροσκαφών Σύμφωνα με τους Κανονισμούς του ICAO

Για την κατηγοριοποίηση των αεροσκαφών σύμφωνα με τους κανονισμούς του ICAO εφαρμόζονται τα εξής κριτήρια:

**LIGHT** (L) — Αεροσκάφη με MTOM ίσο με 7000 kg ή λιγότερο.

**MEDIUM** (M) — Αεροσκάφη με MTOM μικρότερο από 136000 kg αλλά περισσότερο από 7000 kg

**HEAVY** (H) — Όλα τα αεροσκάφη με MTOM 136000 kg ή περισσότερο.

**SUPER** - Ειδική κατηγορία για το Airbus A380 (MTOM 575000 kg).

## 4.3 Κατηγοριοποίηση Αεροσκαφών Σύμφωνα με τους Κανονισμούς της FAA

Για την κατηγοριοποίηση των αεροσκαφών σύμφωνα με τους κανονισμούς της FAA εφαρμόζονται τα εξής κριτήρια[17]:

**Small** — Αεροσκάφη με MTOW ίσο με 41.000 pounds (19.000 kg) ή λιγότερο.

**Large** — Αεροσκάφη με MTOW μεγαλύτερο από 41.000 pounds (19.000 kg) και μικρότερο από 300.000 pounds (140.000 kg).

**Heavy** — Αεροσκάφη με MTOW 300.000 pounds (140.000 kg) ή περισσότερο.

**Super** — Ξεχωριστή κατηγορία που εισήχθη τα τελευταία χρόνια και περιλαμβάνει το Airbus A380 και το Antonov An-225 [18]

Εξαίρεση στα παραπάνω αποτελεί το Boeing 757. Παρόλο που χαρακτηρίζεται ως **Large**, ο ελάχιστοι διαχωρισμοί που εφαρμόζονται είναι διαφορετικοί.

## 4.4 Παραδείγματα Ελάχιστου Διαχωρισμού

Για τον ελάχιστο διαχωρισμό κατά την προσέγγιση, την απογείωση και τα αρχικά στάδια της ανόδου, σύμφωνα με τους κανονισμούς του ICAO και όταν ισχύουν οι κανόνες πτήσης δια οργάνου (IFR) ισχύουν τα εξής[19]:

**Πίνακας 4.1:** Ελάχιστος διαχωρισμός σύμφωνα με τους κανονισμούς του ICAO

Κατηγορία Αεροσκάφους		
Προπορευόμενο Αεροσκάφος	Ακόλουθο Αεροσκάφος	Ελάχιστος Διαχωρισμός με Βάση την Απόσταση
	HEAVY	7.4 km (4.0 NM)
HEAVY	MEDIUM	9.3 km (5.0 NM)
	LIGHT	11.1 km (6.0 NM)
MEDIUM	LIGHT	9.3 km (5.0 NM)

Στις υπόλοιπες περιπτώσεις εφαρμόζεται ο ελάχιστος διαχωρισμός ραντάρ (minimum radar separation, MRS).

Τα παραπάνω εφαρμόζονται όταν:

1. ένα αεροσκάφος βρίσκεται ακριβώς πίσω από άλλο αεροσκάφος στο ίδιο υψόμετρο ή λιγότερο από 300 μέτρα (1000 πόδια) χαμηλότερα· ή
2. και τα δύο αεροσκάφη χρησιμοποιούν τον ίδιο διάδρομο ή παράλληλους διαδρόμους με απόσταση μικρότερη των 760 μέτρων (2500 πόδια)· ή
3. ένα αεροσκάφος διέρχεται τέμνοντας την πορεία κάποιου άλλου αεροσκάφους στο ίδιο υψόμετρο ή λιγότερο από 300 μέτρα (1000 πόδια) χαμηλότερα.

Αντίστοιχα, στους κανονισμούς της FAA για τους κανόνες πτήσης δια οργάνου, κατά τη στιγμή της προσγείωσης και σε διαδρόμους που απέχουν λιγότερο από 2500 πόδια ή εάν και τα δυο αεροσκάφη χρησιμοποιούν τον ίδιο διάδρομο ισχύουν οι εξής ελάχιστοι διαχωρισμοί[17]:

**Πίνακας 4.2:** Ελάχιστος διαχωρισμός κατά τη στιγμή της προσγείωσης (FAA)

Προπορευόμενο/Ακόλουθο	Super	Heavy	B757	Large	Small
Super	MRS	6	7	7	8
Heavy	MRS	4	5	5	6
B757	MRS	4	4	4	5
Large	MRS	MRS	MRS	MRS	4
Small	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS

**Οι αποστάσεις είναι σε ναυτικά μίλια**

**MRS: minimum radar separation**

#### **4.5 Παραδείγματα Ελάχιστου διαχωρισμού - VFR**

Όταν ισχύουν οι κανόνες πτήσης εξ όψεως (VFR), η μέτρηση του ελάχιστου διαχωρισμού γίνεται με βάση το χρόνο, ενώ λαμβάνονται υπόψη και άλλα στοιχεία, όπως το σημείο απογείωσης πάνω στον διάδρομο. Ενδεικτικά, για τον ελάχιστο διαχωρισμό σύμφωνα με τους κανονισμούς του ICAO όταν δε χρησιμοποιείται ραντάρ για τη διαπίστωση της θέσης (non-radar separation) ισχύει:

**Πίνακας 4.3:** Διαχωρισμός βάσει του χρόνου, ICAO

<b>Non-radar Separation</b>			
<b>Προπορευόμενο Αεροσκάφος</b>	<b>Ακόλουθο Αεροσκάφος</b>	<b>Διαχωρισμός κατά την άφιξη</b>	<b>Διαχωρισμός κατά την αναχώρηση</b>
Heavy	Medium	2 min	2 min*
Heavy	Light	3 min	2 min*
Medium	Light	3 min	2 min*

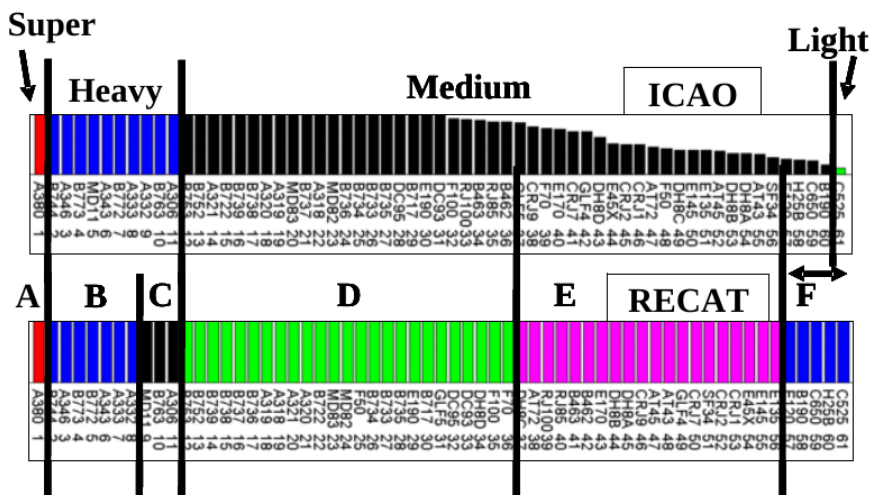
\* 3 min εάν η απογείωση γίνεται από ενδιάμεση θέση.

## 4.6 Το Διεθνές Αεροδρόμιο του Memphis - RECAT

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω, και στους δυο κανονισμούς, οι κατηγορίες Large/Medium και Heavy, περιλαμβάνουν μεγάλο πλήθος αεροσκαφών, με μεγάλη διαφορά βάρους, που ακολουθούν όμως τον ίδιο ελάχιστο διαχωρισμό. Για παράδειγμα, εάν ένα Boeing 767 (MTOM για το B767-300 περίπου 169 τόνοι) ακολουθεί ένα Boeing 747 (MTOM για το B747-400 περίπου 397 τόνοι), εφαρμόζεται ο ίδιος διαχωρισμός με την αντίστροφη περίπτωση, ένα Boeing 747 να ακολουθεί ένα Boeing 767. Εάν ο εφαρμοζόμενος ελάχιστος διαχωρισμός είναι ασφαλής στην πρώτη περίπτωση (όπως έχει δείξει η πρακτική τώσων χρόνων είναι), σημαίνει ότι στη δεύτερη περίπτωση ο εφαρμοζόμενος διαχωρισμός είναι πολύ συντηρητικός.

Έτσι, από το τέλος του 2012, στο διεθνές αεροδρόμιο του Memphis ξεκίνησε πιλοτικά η επανακατηγοριοποίηση των αεροσκαφών σε έξι κατηγορίες, ανάλογα με το βάρος τους, την ταχύτητα προσέγγισης και τα χαρακτηριστικά των πτερύγων τους με νέες οδηγίες όσον αφορά στο διαχωρισμό[17]. Αυτό επέτρεψε την αύξηση της χωρητικότητας του αεροδρομίου κατά περίπου 15% με δυνατότητα επιπλέον 9 πτήσεων ανά ώρα κατά μέσο όρο.

Παρόμοιες επανακατηγοριοποιήσεις σχεδιάζονται και για τον Ευρωπαϊκό χώρο, μετά από μελέτες πάνω σε 61 αεροσκάφη που αντιπροσωπεύουν το 85% της κίνησης στην Ευρώπη και στις ΗΠΑ. Οι κατηγορίες επιλέχθηκαν ώστε να μεγιστοποιηθεί η χωρητικότητα των αεροδρομίων την ώρα αιχμής, χωρίς να επηρεάζεται η ασφάλεια των αεροσκαφών[13], με το αεροδρόμιο Paris Charles de Gaulle να είναι το πρώτο αεροδρόμιο που θα τους εφαρμόσει.



**Σχήμα 4.1:** Κατηγοριοποίηση των 61 αεροσκαφών με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς του ICAO (πάνω) και με τις νέες προτεινόμενες κατηγορίες (κάτω). Πηγή: [13]

Η κατηγοριοποίηση που εφαρμόστηκε πρώτα στο Διεθνές Αεροδρόμιο του Memphis και αργότερα στο Louisville International - Standiford Field, ονομάζεται RECAT (από το recategorization) και είναι η εξής[17]:

**Κατηγορία A** — Αεροσκάφη με MTOW ίσο ή μεγαλύτερο των 300.000 pounds (περίπου 136.000 kg) και άνοιγμα πτερύγων μεγαλύτερο από 245 πόδια.

**Κατηγορία B** — Αεροσκάφη με MTOW ίσο ή μεγαλύτερο των 300.000 pounds και άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 245 πόδια και μεγαλύτερο από 175 πόδια.

**Κατηγορία C** — Αεροσκάφη με MTOW ίσο ή μεγαλύτερο των 300.000 pounds και άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 175 πόδια και μεγαλύτερο από 125 πόδια.

**Κατηγορία D** — Αεροσκάφη με MTOW μικρότερο των 300.000 pounds και άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 175 πόδια και μεγαλύτερο από 125 πόδια. Ή αεροσκάφη με άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 125 πόδια και μεγαλύτερο από 90 πόδια.

**Κατηγορία E** — Αεροσκάφη με MTOW μεγαλύτερο από 41.000 pounds, με άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 90 πόδια και μεγαλύτερο από 65 πόδια.

**Κατηγορία F** — Αεροσκάφη με MTOW μικρότερο από 41.000 pounds, με άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 125 πόδια. Ή αεροσκάφη με MTOW μικρότερο από 15.500 pounds ανεξάρτητα από το άνοιγμα των πτερύγων, ή ανεμόπτερο με μηχανή. Εδώ εμπίπτουν τα αεροσκάφη γενικής αεροπορίας.

Ενδεικτικά, παρατίθεται ο παρακάτω πίνακας που περιέχει την κατάταξη σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς για μερικά αεροσκάφη[17].



**Πίνακας 4.4:** Ενδεικτική κατηγοριοποίηση αεροσκαφών βάσει των κανονισμών του RECAT

Κατηγορία A	Κατηγορία B	Κατηγορία C	Κατηγορία D	Κατηγορία E	Κατηγορία F
A380	B747 series	MD11	B757 series	AT72	E120
AN-225	A340 series	B767	B737 series	RJ100	B190
	B777 series	A306	A320 series	RJ85	C650
	A330 series	A310	B727 series	B463	H25B
	B787 series	DC8	MD80 series	B462	C525
	C-5	DC10	F50	E170	Πολυκινητήρια αεροσκάφη Γενικής Αεροπορίας
	B-52	C-17	E190	CRJ1/2	Μονοκινητήρια αεροσκάφη Γενικής Αεροπορίας
	IL-96	C-135	B717	CRJ7/9	
		B-1	GLF5	AT45	
		B-2	DC95	AT43	
			DC93	GLF4	
			DH8D	SF34	
			F100	DH8A/B/C	
			F70	E135/145	

Οι ελάχιστοι διαχωρισμοί (σε ναυτικά μίλια) που εφαρμόζονται κατά τη διαδικασία της προσέγγισης και της απογείωσης είναι οι παρακάτω[17]:

**Πίνακας 4.5:** Ελάχιστος διαχωρισμός βάσει των κανονισμών του RECAT

		Ακόλουθο					
		A	B	C	D	E	F
Προπορευόμενο	A	MRS	5	6	7	7	8
	B	MRS	3	4	5	5	7
	C	MRS	MRS	MRS	3.5	3.5	6
	D	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	5
	E	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	4
	F	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS

MRS: Minimal Radar Separation

## **4.7 Μέλλον**

### **4.7.1 Διαχωρισμός με Βάση το Χρόνο**

Οι δυνατοί μετωπικοί άνεμοι, επηρεάζουν την ταχύτητα προσέγγισης των αεροσκαφών. Η προσέγγιση γίνεται με μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με το έδαφος και δεδομένου ότι ο διαχωρισμός που εφαρμόζεται είναι με βάση την απόσταση, μειώνεται ο ρυθμός προσγείωσης των αεροσκαφών σε ένα αεροδρόμιο. Επιπλέον, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3, οι δυνατοί άνεμοι βοηθούν στην πιο γρήγορη διάλυση των στροβιλισμών του ομίχου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, το αεροδρόμιο Heathrow στο Λονδίνο, μέσα στο 2015, θα εφαρμόσει σε καταστάσεις δυνατών μετωπικών ανέμων διαχωρισμό με βάση το χρόνο, αυξάνοντας τη χωρητικότητα του αεροδρομίου σε αυτές τις συνθήκες. Υπολογίζεται ότι θα εξοικονομηθούν περίπου 80.000 λεπτά καθυστέρησης ανά έτος, μειώνοντας κατά πολύ τις καθυστερήσεις και ακυρώσεις πτήσεων λόγω των δυνατών μετωπικών ανέμων[20].

### **4.7.2 Διαχωρισμός Κατά Περίπτωση (RECAT-2)**

Για τον Ευρωπαϊκό χώρο, σχεδιάζεται από τους ICAO και EUROCONTROL, η κατασκευή ενός πίνακα 115x115 αεροσκαφών που θα περιέχει τον ελάχιστο διαχωρισμό μεταξύ τους, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του προπορευόμενου και του ακόλουθου αεροσκάφους, όπως το βάρος και η ταχύτητα προσέγγισης. Αυτό θα καλύψει παραπάνω από το 95% των πιθανών περιπτώσεων. Ο 115x115 πίνακας, θα χρησιμοποιηθεί ως έχει για διαχωρισμό ανά περίπτωση ή θα ορίσει κατηγορίες ανάλογα με την τοπική κίνηση του κάθε αεροδρομίου. Λόγω του μεγέθους του πίνακα, αναμένεται ότι η χρήση κάποιου εξειδικευμένου εργαλείου θα είναι απαραίτητη.[21]

### **4.7.3 Δυναμικός Διαχωρισμός Κατά Περίπτωση (RECAT-3)**

Επεκτείνοντας τον παραπάνω πίνακα, σχεδιάζεται ο δυναμικός διαχωρισμός λαμβάνοντας υπόψη τις μετεωρολογικές συνθήκες, με λήψη δεδομένων από αισθητήρες στο έδαφος και στον αέρα, ώστε να διαπιστώνεται εάν είναι δυνατή η περαιτέρω μείωση ή η μεγαλύτερη ακρίβεια στον διαχωρισμό.[21]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ - ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια επισκόπηση των τεχνολογιών και εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας διπλωματικής.

#### 5.1 RuleML

Η RuleML είναι μια γλώσσα σήμανσης (markup language) που βασίζεται συντακτικά στην XML και χρησιμοποιεί δομές που επιτρέπουν τη δημιουργία συνόλων κανόνων. Είναι σχεδιασμένη ώστε να επιτρέπει κανόνες τόσο “από κάτω προς την κορυφή” (bottom-up) όσο και “από την κορυφή προς τα κάτω” (top-down). Ουσιαστικά πρόκειται για μια οικογένεια γλωσσών που εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς, που η κάθε μια καλύπτει διαφορετικά είδη κανόνων (για παράδειγμα, αντιδραστικούς κανόνες - reaction rules, κανόνες μετασχηματισμού - transformation rules κ.ά), με κοινή συντακτική βάση.[22]

Η RuleML είναι επηρεασμένη κατά μεγάλο βαθμό από τη Datalog<sup>1</sup>. Συνεπώς μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει στις γλώσσες λογικού προγραμματισμού και είναι κατάλληλη και για τον χειρισμό σχεσιακών βάσεων δεδομένων.[23]

#### 5.2 POSL

Η POSL (Positional Slotted Language) αποτελεί μια στενογραφία της RuleML, έχοντας σύνταξη παρόμοια με τη Prolog. Περιγράφονται σχέσεις, ορισμένες από προτάσεις Horn. Μια πρόταση Horn έχει τη μορφή

$$(p \wedge q \wedge \dots \wedge t) \rightarrow u$$

<sup>1</sup>Η Datalog είναι, συντακτικά, υποσύνολο της Prolog. Είναι γλώσσα δηλωτικού προγραμματισμού και συνδυάζει κοινά στοιχεία των Prolog και SQL.

Δηλαδή ότι για να ισχύει το  $u$ , πρέπει να ισχύει το  $p$  και το  $q$  και ... και το  $t$ . Για να δοθεί έμφαση σε αυτή την αντίστροφη χρήση των κανόνων, αυτό γράφεται ως

$$u \leftarrow (p \wedge q \wedge \dots \wedge t)$$

Στην οικογένεια γλωσσών της Prolog, όπως και στην POSL που ακολουθεί παρόμοιο συντακτικό αυτό γράφεται ως

$$u : -p, q, \dots, t.$$

και έτσι προκύπτει η γνωστή μορφή των κανόνων της Prolog

$$H : -B_1, \dots, B_n.$$

Είναι φανερό ότι με τη μορφή των προτάσεων Horn, δεν είναι δυνατό να αποδειχθεί ότι μια πρόταση είναι ψευδής. Έτσι, ένα σύστημα κανόνων Horn χρησιμοποιείται μόνο για να αποδειχθεί η αλήθεια μιας πρότασης.

Υπάρχουν δυο τύποι κανόνων, τα γεγονότα (ή αξιώματα) και οι προτάσεις. Ένας κανόνας, στο συντακτικό της POSL θα είναι της μορφής

```
1 Head :- Body
```

Αν απουσιάζει το δεύτερο μέρος, τότε θα είναι γεγονός. Για παράδειγμα, ορίζονται τρία γεγονότα<sup>2</sup>:

```
1 female(girl).           %- by observation
2 floats(duck).          %- King Arthur's contribution
3 sameweight(girl, duck). %- by experiment
```

Αν υπάρχει το δεύτερο μέρος τότε θα είναι πρόταση. Για παράδειγμα, οι παρακάτω τέσσερις προτάσεις:

```
1 witch(?x) :- female(?x), burns(?x).
2 burns(?x) :- wooden(?x).
3 wooden(?x) :- floats(?x).
4 floats(?x) :- sameweight(?x,?y), floats(?y).
```

Η επίλυση του παραπάνω παραδείγματος φαίνεται στο Σχήμα 5.1. Η βασική διαφορά της σύνταξης της POSL με τη σύνταξη της Prolog είναι ότι οι μεταβλητές δηλώνονται με τη χρήση του συμβόλου “?” αμέσως πριν το όρισμα. Επίσης δεν υπάρχει διαφοροποίηση μεταξύ πεζών ή κεφαλαίων, όπως απαιτείται από τη Prolog.

Τέλος, η POSL όπως και η RuleML ανήκουν στις δηλωτικές γλώσσες προγραμματισμού, δηλαδή αρκεί να γραφούν οι κανόνες και τα ερωτήματα, χωρίς να έχει σημασία η σειρά με την οποία γράφονται ή να γραφεί ο τρόπος επίλυσής τους.

<sup>2</sup>Από την ταινία Monty Python and the Holy Grail. Ο κώδικας είναι βασισμένος σε αντίστοιχο πρόβλημα του βιβλίου “The Study of Programming Languages”, του Ryan Stansifer.

## 5.3 OO jDREW

Η OO jDREW (Object Oriented Java Deductive Reasoning Engine for the Web) είναι η πρότυπη υλοποίηση, που ακολουθεί τις “προτάσεις Horn” (Horn clauses) και διαθέτει δυνατότητα της άρνησης ως αποτυχία<sup>3</sup> (negation as failure, NaF), της RuleML. Αποτελεί την αντικειμενοστρεφή επέκταση της JDREW, ενώ είναι γραμμένη σε Java και είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα υπό την άδεια LGPL. Η εκτέλεση μπορεί να γίνει ως Bottom-Up ή ως Top-Down. Στην πρώτη περίπτωση, λαμβάνεται το σύνολο των συμπερασμάτων που προκύπτουν από το σύνολο των κανόνων (forward reasoning), ενώ στη δεύτερη επιλύονται τα ερωτήματα (queries) σύμφωνα με το σύνολο των κανόνων (backward reasoning). Υποστηρίζει το συντακτικό της RuleML και της POSL. Υπάρχει διαθέσιμος μεταφραστής από POSL προς RuleML και αντίστροφα, είτε από την ιστοσελίδα της OO jDREW είτε μεταγλωττίζοντας κατάλληλα τον πηγαίο κώδικα της OO jDREW.

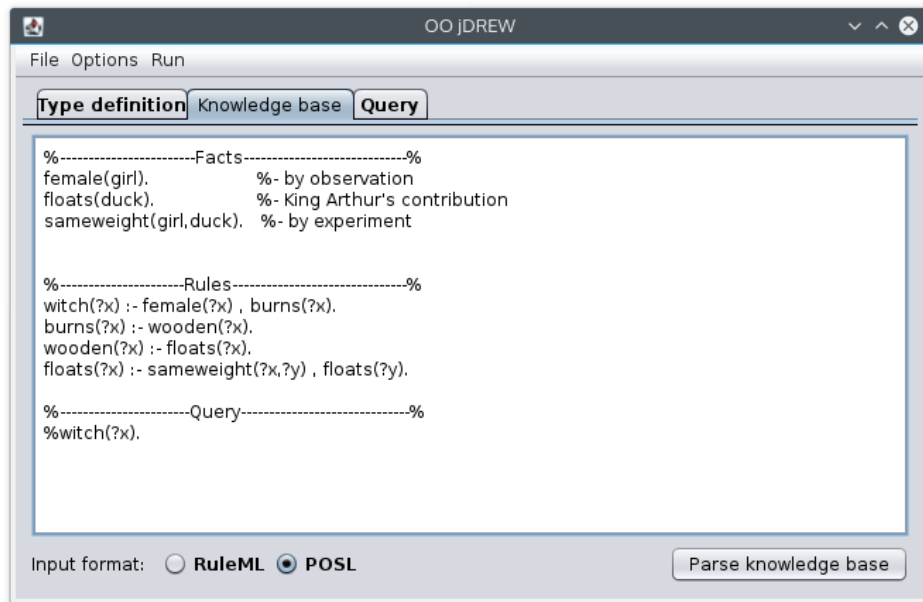
Επίσης, μπορεί να διασυνδεθεί με άλλα προγράμματα. Συγκεκριμένα, υπάρχουν πολλά παραδείγματα στην τεκμηρίωση της OO jDREW για τη χρήση της διασύνδεσης προγραμματισμού εφαρμογών της (API). Λόγω του ότι είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα, μπορεί να τροποποιηθεί ή να ενσωματωθεί σε κάποιο άλλο πρόγραμμα (τηρώντας φυσικά την άδεια χρήσης).[24]

### 5.3.1 Ενσωματωμένες Συναρτήσεις

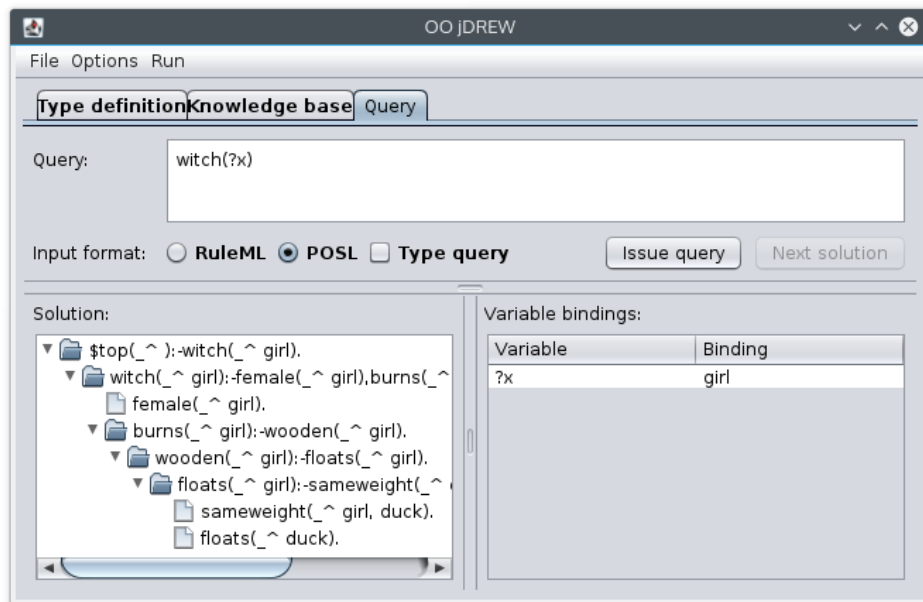
Η OO jDREW έχει ενσωματωμένες συναρτήσεις (Built-Ins), που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα. Είναι βασισμένες στις αντίστοιχες ενσωματωμένες συναρτήσεις της Semantic Web Rule Language (SWRL). Υπάρχουν διαθέσιμα Built-Ins για συγκρίσεις, μαθηματικές πράξεις, αλφαριθμητικά, για χειρισμό ημερομηνιών, ώρας και χρονικής διάρκειας και τέλος για λίστες και URI (Uniform Resource Identifier, Ενιαίοι Αναγνωριστικοί Πόροι).[24]

---

<sup>3</sup>Εάν μια πρόταση δεν μπορεί να αποδειχθεί αληθής με τα υπάρχοντα δεδομένα, δε σημαίνει απαραίτητα ότι είναι ψευδής. Με τη χρησιμοποίηση όμως της άρνησης ως αποτυχία, η πρόταση θα θεωρηθεί ψευδής αν δεν μπορεί να αποδειχθεί η αληθείά της.



(α) Είσοδος των γεγονότων και των συνθηκών στην OO jDREW.



(β) Ερώτημα και η απάντηση της OO jDREW.

**Σχήμα 5.1:** Το παράθυρο της Top-Down εκδοχής της OO jDREW, όπου έχει εισαχθεί το προηγούμενο παράδειγμα.

## 5.4 RuleML και Κανονισμοί Εναέριας Κυκλοφορίας

Όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4, οι βασικοί Κανονισμοί Εναέριας Κυκλοφορίας μπορούν να εκληφθούν ως συνδυασμός συνθηκών - συμπεράσματος. Οι προτάσεις της RuleML και της OO jDREW έχουν παρόμοια δομή, άρα διερευνήθηκε η δυνατότητα χρησιμοποίησης της RuleML για την υλοποίηση. Πράγματι, με μια γρήγορη επισκόπηση, η έκφραση των επιμέρους κανονισμών σε προτάσεις Horn σε συνδυασμό με τις ενσωματωμένες συναρτήσεις (σύγκριση, πράξεις, negation as failure κ.ά) της OO jDREW, αναμένεται να είναι αποτελεσματική και ενδιαφέρουσα.

Για παράδειγμα, από τους πίνακες της ενότητας 4.4 ισχύει:

**Ελάχιστος διαχωρισμός κατά την στιγμή της προσγείωσης (FAA)**

Προπορευόμενο/Ακόλουθο	Super	Heavy	B757	Large	Small
Super	MRS	6	7	7	8
Heavy	MRS	4	5	5	6
B757	MRS	4	4	4	5
Large	MRS	MRS	MRS	MRS	4
Small	MRS	MRS	MRS	MRS	MRS

Συνθήκες	Συμπέρασμα
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Προπορευόμενο: Heavy</li> <li>• Ακόλουθο: Large</li> <li>• Προσγείωση</li> <li>• FAA</li> </ul>	Διαχωρισμός 5 μίλια

Body	Head
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preceding: Heavy</li> <li>• Following: Large</li> <li>• Procedure: Landing</li> <li>• Rules: FAA</li> </ul>	Separation(5)

Και σε RuleML ή POSL, αυτό γράφεται:

RuleML	POSL
<pre> &lt;Assert&gt;   &lt;Implies&gt;     &lt;And&gt;       &lt;Atom&gt;         &lt;Rel&gt;following&lt;/Rel&gt;         &lt;Ind type="String"&gt;large&lt;/Ind&gt;       &lt;/Atom&gt;       &lt;Atom&gt;         &lt;Rel&gt;preceding&lt;/Rel&gt;         &lt;Ind type="String"&gt;heavy&lt;/Ind&gt;       &lt;/Atom&gt;       &lt;Atom&gt;         &lt;Rel&gt;procedure&lt;/Rel&gt;         &lt;Ind type="String"&gt;landing&lt;/Ind&gt;       &lt;/Atom&gt;       &lt;Atom&gt;         &lt;Rel&gt;rules&lt;/Rel&gt;         &lt;Ind type="String"&gt;FAA&lt;/Ind&gt;       &lt;/Atom&gt;     &lt;/And&gt;     &lt;Atom&gt;       &lt;Rel&gt;separationMiles&lt;/Rel&gt;       &lt;Ind type="Integer"&gt;5&lt;/Ind&gt;     &lt;/Atom&gt;   &lt;/Implies&gt; &lt;/Assert&gt; </pre> <p>Body</p> <p>Head</p>	<pre> separationMiles(5):- following(large), preceding(heavy), procedure(landing), rules(FAA). </pre> <p>Head</p> <p>Body</p>



Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σημεία που χρήζουν ενδιαφέροντος κατά την υλοποίηση του κώδικα, η λογική στη οποία βασίζεται αυτή και ο τρόπος επίλυσης συγκεκριμένων προβλημάτων.

## 6.1 Γενικά

Λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο λειτουργίας της ΟΟ jDREW, το ζητούμενο είναι η κατασκευή προτάσεων Horn που, πιθανώς, θα εμπεριέχουν ενσωματωμένες συναρτήσεις της ΟΟ jDREW, στο συντακτικό της POSL, κατασκευάζοντας έτσι κανόνες που θα αντιστοιχούν στους κανονισμούς ΕΕΚ. Η παρουσίαση των ενσωματωμένων συναρτήσεων (Built-Ins) που θα χρησιμοποιηθούν, θα γίνεται όπου αυτό καταστεί αναγκαίο.

Στόχος είναι να επιτευχθεί η κατηγοριοποίηση αεροσκαφών σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους, η υλοποίηση των πινάκων των ελαχίστων διαχωρισμών (ενότητες 4.4 και 4.6), η εξέταση ειδικών περιπτώσεων και η διερεύνηση του κατά πόσο μπορούν να καλυφθούν οι μελλοντικοί κανονισμοί RECAT - 2 και RECAT - 3.

## 6.2 Κατασκευή Βάσης Δεδομένων - Αεροσκάφη

Για να μπορεί να διαπιστωθεί την ορθότητα του κώδικα και για να εξεταστεί η συμφωνία των αποτελεσμάτων με τις πραγματικές συνθήκες, κρίθηκε αρχικά σκόπιμο να δημιουργηθεί μια ικανοποιητική βάση δεδομένων, γραμμένη σε POSL, που θα περιέχει αεροσκάφη και τα απαιτούμενα στοιχεία από τους κανονισμούς όσον αφορά στην κατηγοριοποίηση των αεροσκαφών.

Τα απαραίτητα στοιχεία είναι η κωδική ονομασία του αεροσκάφους (ICAO Code) και όπως απαιτείται από τους κανονισμούς του ICAO και της FAA, το

MTOW. Για την υλοποίηση των κανονισμών που χρησιμοποιήθηκαν στο διεθνές αεροδρόμιο του Memphis (RECAT) είναι απαραίτητη η γνώση και του ανοίγματος των πτερύγων του κάθε αεροσκάφους, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4.

Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την ιστοσελίδα της FAA (στη διεύθυνση [http://www.faa.gov/airports/engineering/aircraft\\_char\\_database/media/aircraft\\_char\\_122009.xls](http://www.faa.gov/airports/engineering/aircraft_char_database/media/aircraft_char_122009.xls)). Η παραπάνω πηγή περιέχει όλα αυτά τα απαραίτητα δεδομένα. Η μετατροπή στο συντακτικό της POSL έγινε με τη βοήθεια της Python.

Συνολικά, στη βάση δεδομένων περιέχονται περισσότεροι από 200 τύποι αεροσκαφών, οι οποίοι αποτελούν την πλειοψηφία των αεροσκαφών σε χρήση τα τελευταία έτη.

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται είναι:

- Κιλά για το MTOW.
- Πόδια για το άνοιγμα των πτερύγων.

Άλλα πιθανώς χρήσιμα στοιχεία μπορεί να είναι ο γενικός τύπος του αεροσκάφους (για παράδειγμα Wide-Body Airliner, General Aviation Aircraft), η ταχύτητα προσέγγισης του κάθε αεροσκάφους κ.ά. Πιθανή εφαρμογή είναι η χρήση της ταχύτητας προσέγγισης των αεροσκαφών για τον υπολογισμό του χρόνου που αντιστοιχεί στον ελάχιστο διαχωρισμό. Έτσι, θα επιτευχθεί καλύτερη ενσωμάτωση της βάσης κανόνων σε έρευνες που αφορούν στον χρονοπρογραμματισμό. Η προσθήκη των αντίστοιχων κανόνων είναι εύκολη.

### Ορισμός αρχικών συνθηκών

Έχοντας τη βάση δεδομένων, για να οριστούν τα αεροσκάφη στην κάθε περίπτωση, αρκεί να δοθεί ο τύπος του κάθε αεροσκάφους. Για παράδειγμα:

```
1 aircraftType (B738) .  
2 precedingAircraftType (AT72) .
```

Το παραπάνω είναι για την περίπτωση όπου ένα Boeing 737 ακολουθεί ένα ATR 72.

### Παραδοχές για τη βάση δεδομένων

Παρόλο που αναφέρεται ρητά ότι υπάρχει περίπτωση να υπάρχουν ανακρίβειες στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, για τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής και με την προϋπόθεση ότι δε θα χρησιμοποιηθούν σε πραγματικό περιβάλλον, τα δεδομένα αυτά είναι χρησιμοποιήσιμα.

## 6.3 Κατηγοριοποίηση Αεροσκαφών

### 6.3.1 ICAO

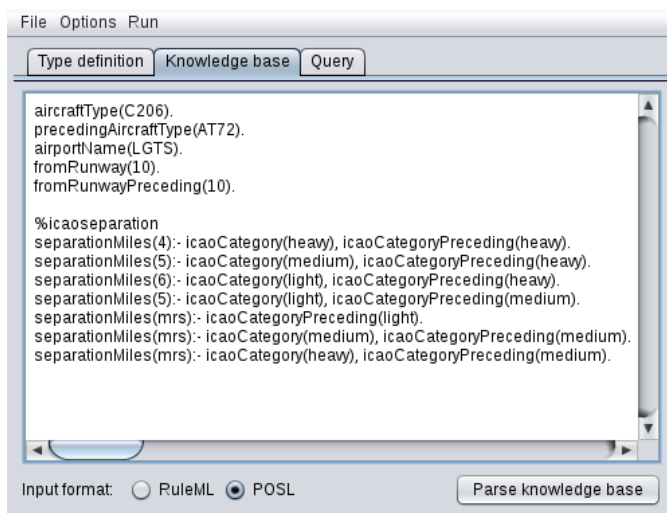
Εξετάστηκε η κατηγοριοποίηση βάσει των κανονισμών του ICAO. Τα στοιχεία που πρέπει να είναι γνωστά είναι η μέγιστη επιτρεπτή μάζα κατά την απογείωση και για τον ορισμό της SUPER κατηγορίας, ο τύπος του αεροσκάφους.

#### LIGHT

Αεροσκάφη με MTOM ίσο με 7000 kg ή λιγότερο. Η αντίστοιχη πρόταση Horn, γραμμένη ανορθόγραφα για λόγους σαφήνειας,<sup>1</sup> είναι:

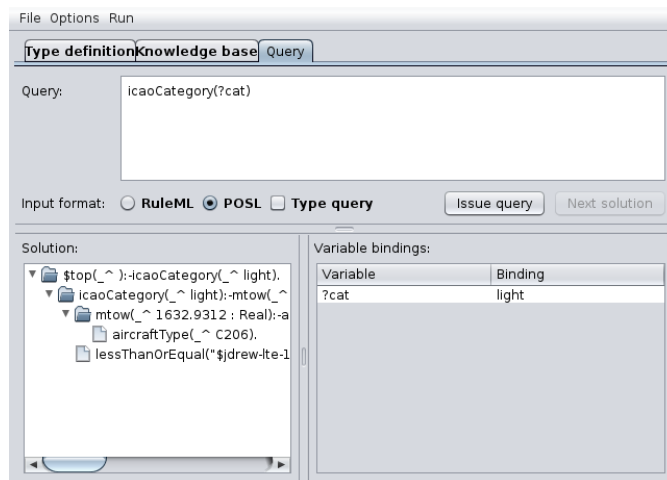
$$icaoCategory(category = light) \leftarrow mtom(kg \leq 7000)$$

Εάν η μεταβλητή  $?kg$  είναι μικρότερη ή ίση με 7000, τότε η συνθήκη ικανοποιείται και η ΟΟ jDREW αναθέτει τον όρο `light` στη σχέση `icaoCategory`. Χρησιμοποιήθηκε το ενσωματωμένο στην ΟΟ jDREW κατηγορήμα δυο θέσεων `lessThanOrEqual`. Παίρνει την τιμή `true` αν και μόνο αν το πρώτο όρισμα (`kg`) είναι μικρότερο ή ίσο με το δεύτερο (`7000^^Real`), ενώ έχει αποδεκτούς τύπους δεδομένων `Int`, `Real` ή `String`.



(α') Είσοδος του Cessna 206 (C206) ως αρχική συνθήκη στην ΟΟ jDREW.

<sup>1</sup>Μια πιο σωστή γραφή στην πρωτοβάθμια κατηγορηματική λογική, όπου το  $x_{kg}$  είναι μεταβλητή, το `icaoCategory` είναι ατομικός τύπος, ενώ χρησιμοποιούνται κατηγορήματα ανισότητων, θα ήταν η  $icaoCategory(light) \leftarrow mtom(x_{kg}) \wedge (x_{kg} \leq 7000)$ .



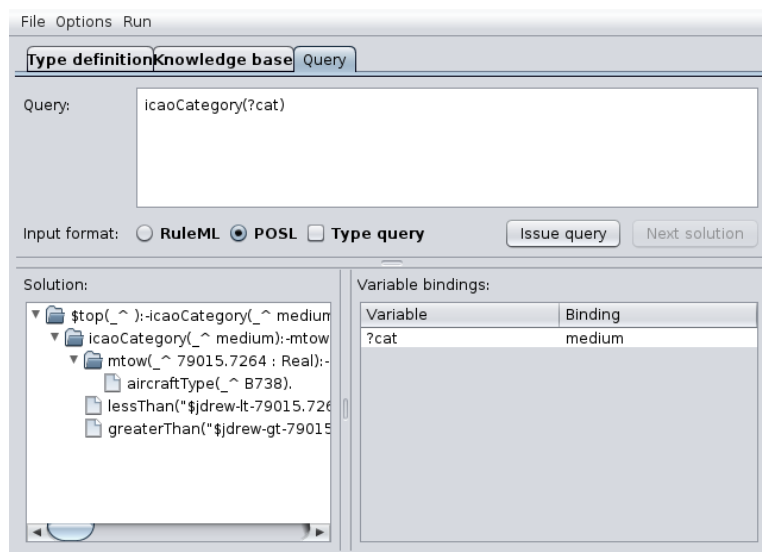
(β) Ερώτημα για την κατηγορία του Cessna 206 στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι, ορθά, "light".

**Σχήμα 6.1:** Ορισμός τύπου αεροσκάφους και ερώτημα για την κατηγορία του.

## MEDIUM

Αεροσκάφη με MTOM μικρότερο από 136000 kg αλλά περισσότερο από 7000 kg.

```
icaoCategory(category = medium) ← mtom(kg > 7000) ∧ mtom(kg < 136000)
```



**Σχήμα 6.2:** Ερώτημα για την κατηγορία του Boeing 737-800 στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι “medium”.

Εάν η μεταβλητή `?kg` είναι μεγαλύτερη από 7000 και μικρότερη από 136000, τότε οι συνθήκες ικανοποιούνται και η ΟΟ jDREW αναθέτει τον όρο `medium` στη σχέση `icaoCategory`.

Χρησιμοποιήθηκαν τα ενσωματωμένα στην ΟΟ jDREW κατηγορήματα δυο θέσεων `lessThan`, `greaterThan`. Παίρνουν την τιμή `true` αν και μόνο αν το πρώτο όρισμα είναι μικρότερο από το δεύτερο στην πρώτη περίπτωση και μεγαλύτερο στη δεύτερη περίπτωση, με αποδεκτούς τύπους `Int`, `Real` ή `String`.

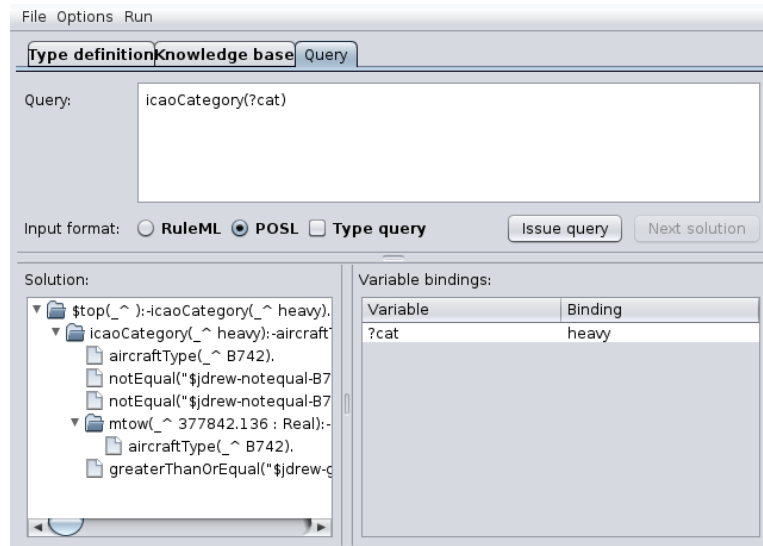
## HEAVY

Όλα τα αεροσκάφη με MTOM 136000 kg ή περισσότερο, αλλά όχι το Airbus A380. Εδώ θα χρειαστεί να αποκλειστεί το A380, οπότε είναι απαραίτητη η χρήση του στοιχείου του τύπου του αεροσκάφους.

```
icaoCategory(category = heavy) ← mtom(kg ≥ 136000) ∧ aircraft(type ≠ A380)
```

Η βάση κανόνων μπορεί να χειριστεί και τους δυο τύπους του Airbus A380 (με ICAO Code A388 και A38F) αν και ο δεύτερος δεν έχει μπει ακόμα στη γραμμή παραγωγής.

Χρησιμοποιήθηκαν τα ενσωματωμένα στην ΟΟ jDREW κατηγορήματα δυο θέσεων `notEqual` και `greaterThanOrEqual`. Το `notEqual` είναι αληθές αν και μόνο αν τα δυο ορίσματα είναι διαφορετικά. Το `greaterThanOrEqual` είναι αληθές αν και μόνο αν το πρώτο όρισμα είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το δεύτερο.



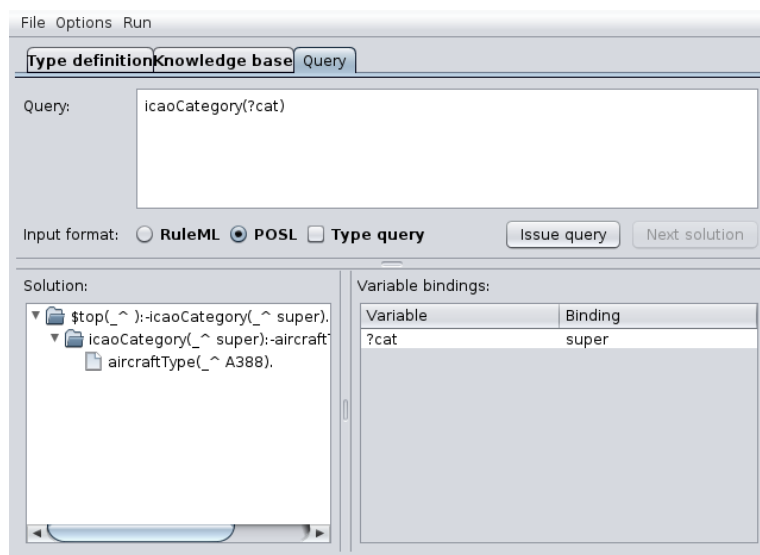
**Σχήμα 6.3:** Ερώτημα για την κατηγορία του Boeing 747-200 στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι “heavy”.

## SUPER

Ειδική κατηγορία για το Airbus A380. Όπως και για την προηγούμενη κατηγορία, εξετάστηκε η κωδική ονομασία του αεροσκάφους.

```
icaoCategory(category = super) ← aircraft(type = A380)
```

Η διάξευξη, ως λογικός σύνδεσμος, απουσιάζει στην ΟΟ jDREW, αφού ακολουθεί προτάσεις Horn. Έτσι, για να συμπεριληφθούν και οι δυο τύποι του A380 (με ICAO Code A388 και A38F), γράφηκαν δυο προτάσεις, μια για τον κάθε τύπο του A380. Αυτός είναι ο τρόπος χειρισμού της (μη-αποκλειστικής) διάξευξης.



**Σχήμα 6.4:** Ερώτηση για την κατηγορία του Airbus A380 στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι “super”.

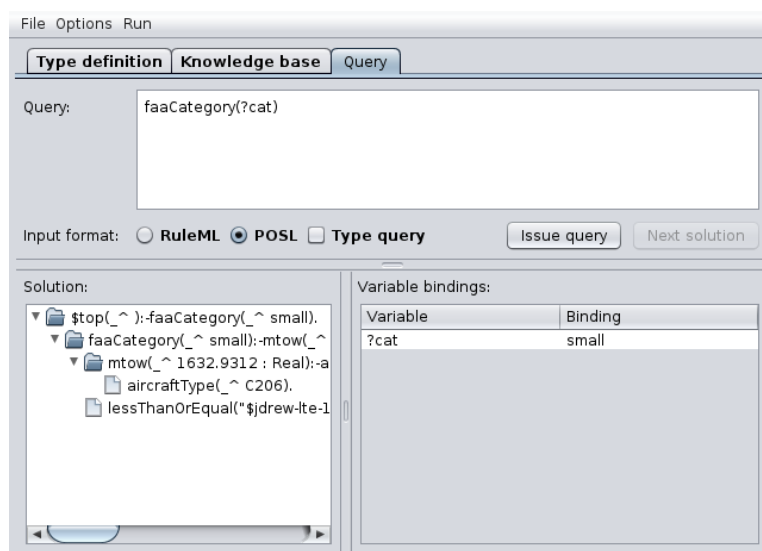
### 6.3.2 FAA

Χρησιμοποιώντας παρόμοια με τα παραπάνω προσέγγιση, εξετάστηκε η κατηγοριοποίηση των αεροσκαφών σύμφωνα με την FAA. Για λόγους συντομίας, το MTOW μετατράπηκε σε κιλά (μετά από στρογγυλοποίηση), παρόλο που μπορεί να υπάρχουν ανακρίβειες. Αν κριθεί απαραίτητο, η μετατροπή των κανόνων ώστε να χρησιμοποιούνται rounds ως μονάδα μέτρησης είναι εύκολη.

#### Small

Αεροσκάφη με MTOW ίσο με 19000 kg ή λιγότερο.

```
faaCategory(category = small) ← mtom(kg ≤ 19000)
```



**Σχήμα 6.5:** Ερώτημα για την κατηγορία του Cessna 206 στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι “small”.

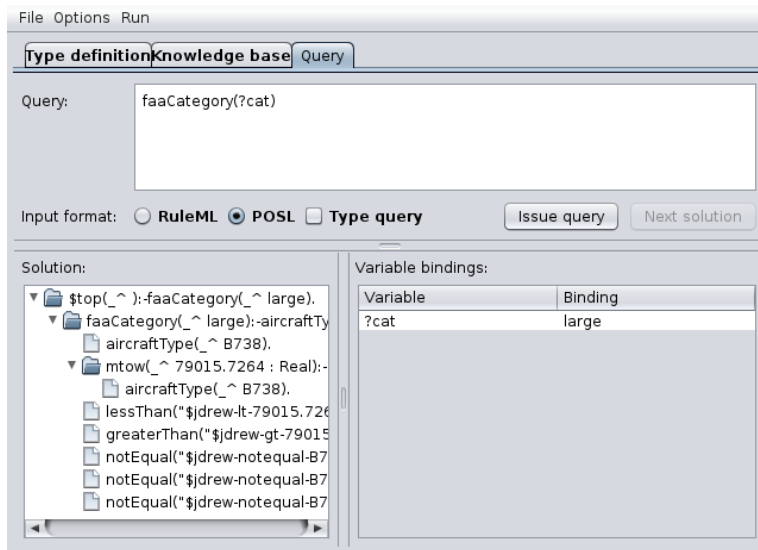


## Large

Αεροσκάφη με MTOW μικρότερο από 140000 kg αλλά περισσότερο από 19000 kg. Επειδή για το Boeing 757 εφαρμόζονται διαφορετικοί ελάχιστοι διαχωρισμοί, δε θα συμπεριληφθεί σε αυτή την κατηγορία.

```
faaCategory(category = large) ←  
mtom(kg > 7000) ∧ mtom(kg < 136000) ∧ aircraft(type ≠ B757)
```

Ο κώδικας μπορεί να χειριστεί όλους τους τύπους του Boeing 757 (με ICAO codes B752, B753). Επίσης, υπάρχει σαν γενικός τύπος (B757).



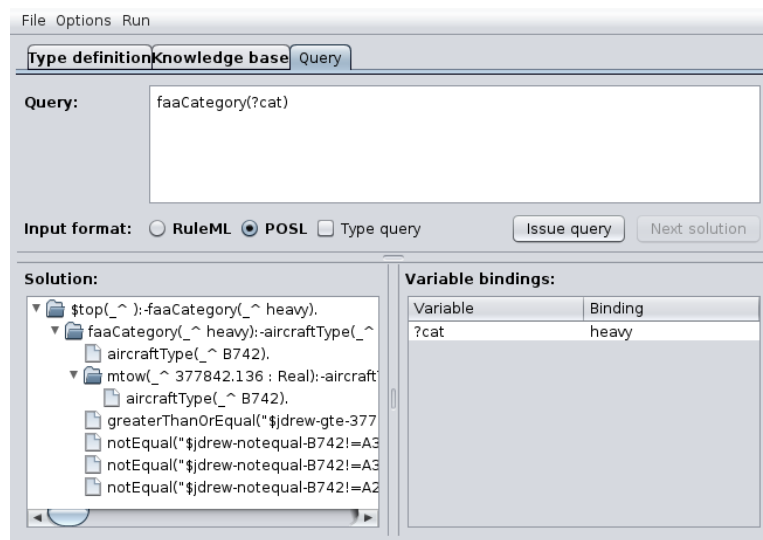
**Σχήμα 6.6:** Ερώτηση για την κατηγορία του Boeing 737-800 στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι “large”.

## Heavy

Όλα τα αεροσκάφη με MTOW 140000 kg ή περισσότερο, αλλά όχι το Airbus A380 ή το Antonov An-225 Mriya.

```
faaCategory(category = heavy) ← mtom(kg ≥ 136000) ∧  
aircraft(type ≠ (A380) ∧ aircraft(type ≠ A225))
```

Ο κώδικας μπορεί να χειριστεί το A380 (ICAO Code A388 και A38F) και το An-225.



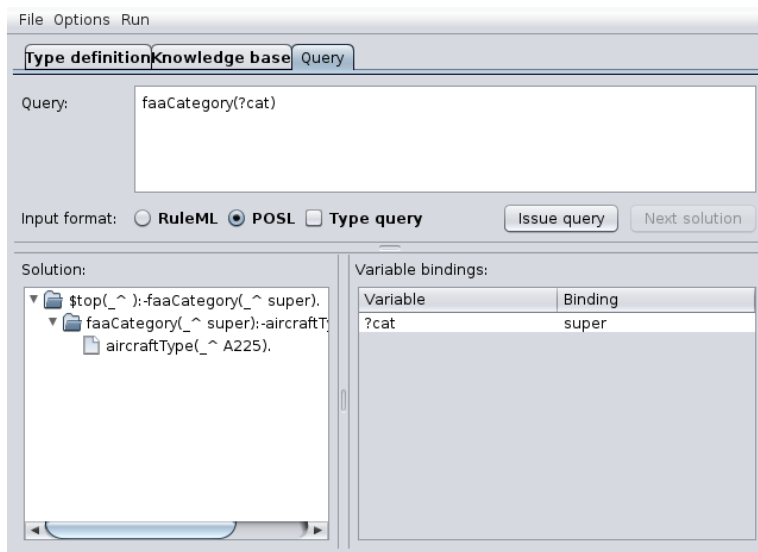
**Σχήμα 6.7:** Ερώτημα για την κατηγορία του Boeing 747-200 στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι “heavy”.

## Super

Ειδική κατηγορία για το Airbus A380 και το Antonov An-225 Mriya.

```
faaCategory(category = super) ←  
    aircraft(type = A380) ∨ aircraft(type = A225)
```

Συμπεριλαμβάνονται οι δυο τύποι του A-380 (με ICAO Code A388 και A38F) και το An-225 (με ICAO Code A225).



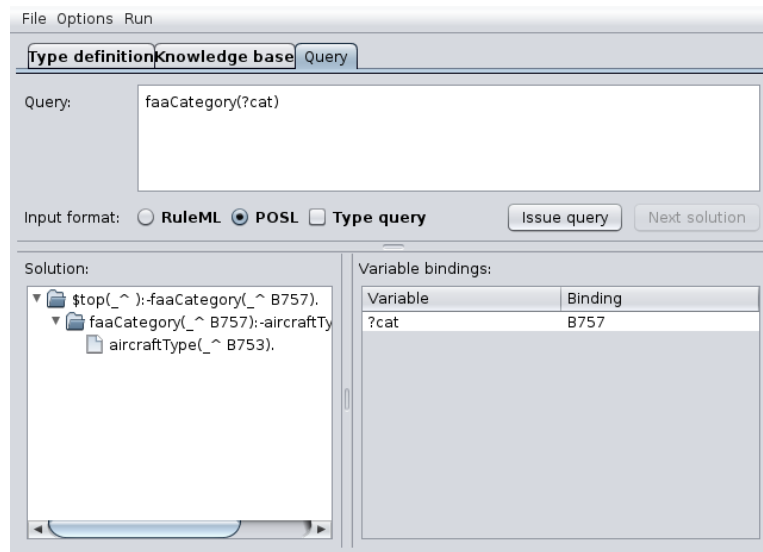
**Σχήμα 6.8:** Ερώτημα για την κατηγορία του Antonov An-225 Mriya στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι “super”.

## B757

Ειδική κατηγορία για το Boeing 757.

```
faaCategory(category = B757) ← aircraft(type = B757)
```

Συμπεριλαμβάνονται οι δυο τύποι του Boeing 757 (με ICAO codes B752 και B753) και ένας γενικός τύπος (B757)



**Σχήμα 6.9:** Ερώτημα για την κατηγορία του Boeing 757-300 στην ΟΟ jDREW. Η απάντηση είναι “B757”.

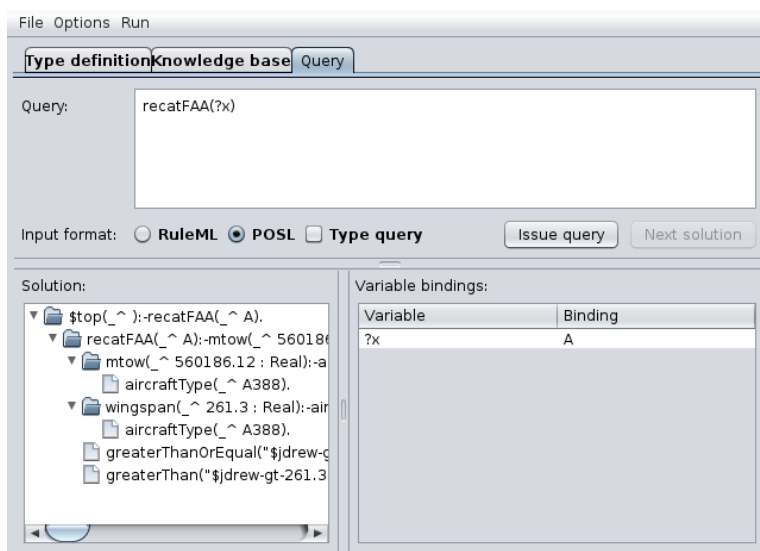
### 6.3.3 RECAT

Για την υλοποίηση αυτής της κατηγοριοποίησης, συνδυάζονται το άνοιγμα πτερύγων και το MTOW. Έγινε μετατροπή και προσέγγιση από rounds σε κιλά, όπως και στην κατηγοριοποίηση σύμφωνα με την FAA. Το άνοιγμα πτερύγων διατηρήθηκε σε πόδια.

#### Κατηγορία A

Αεροσκάφη με MTOW ίσο ή μεγαλύτερο των 300000 pounds (περίπου 136000 kg) και άνοιγμα πτερύγων μεγαλύτερο από 245 πόδια.

```
recat(category = A) ← mtom(kg ≥ 136000) ∧ wingspan(feet > 245)
```

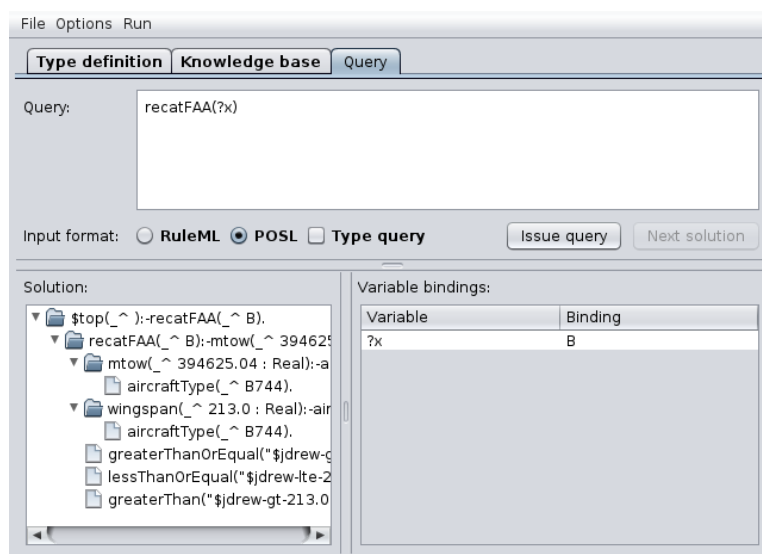


Σχήμα 6.10: Ερώτημα για την κατηγορία του Airbus A380 στην ΟΟ jDREW.

## Κατηγορία B

Αεροσκάφη με MTOW ίσο ή μεγαλύτερο των 300.000 pounds και άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 245 πόδια και μεγαλύτερο από 175 πόδια.

```
recat(category = B) ← mtom(kg ≥ 136000) ∧  
wingspan(feet ≤ 245) ∧ wingspan(feet > 175)
```

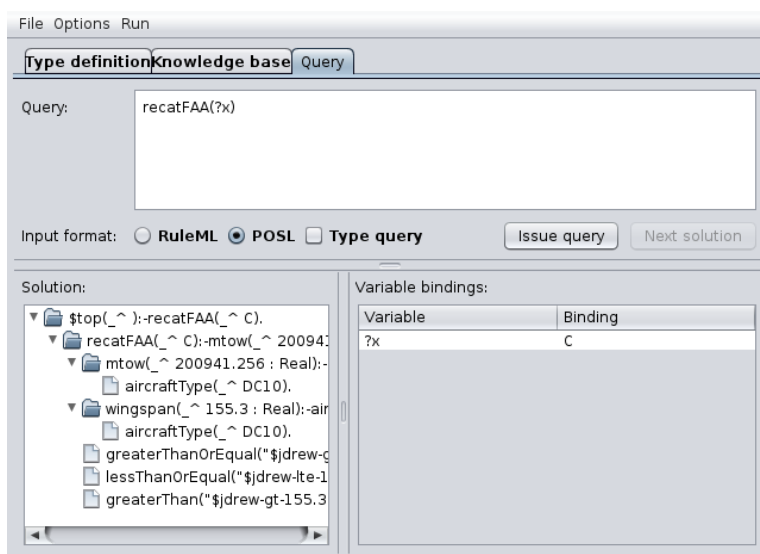


Σχήμα 6.11: Ερώτημα για την κατηγορία του Boeing 747-200 στην ΟΟ jDREW.

## Κατηγορία C

Αεροσκάφη με MTOW ίσο ή μεγαλύτερο των 300.000 pounds και άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 175 πόδια και μεγαλύτερο από 125 πόδια.

```
recat(category = C) ← mtom(kg ≥ 136000) ∧  
wingspan(feet ≤ 175) ∧ wingspan(feet > 125)
```

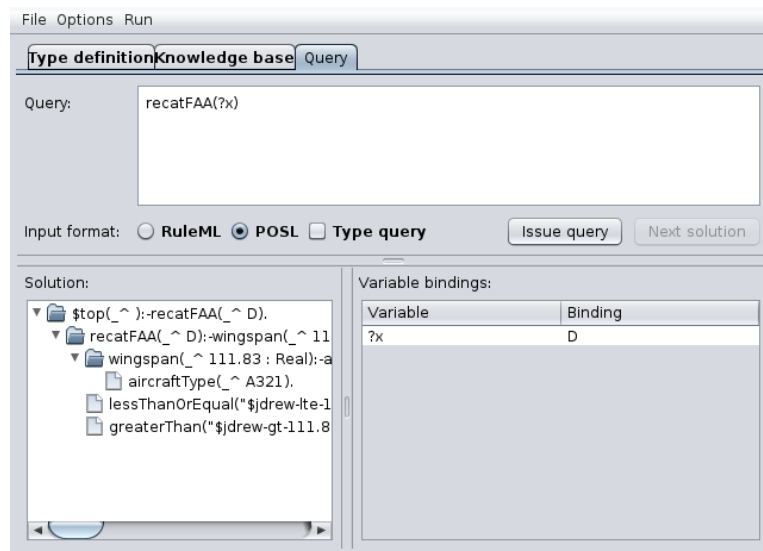


**Σχήμα 6.12:** Ερώτημα για την κατηγορία του McDonnell Douglas DC-10 στην OO jDREW.

## Κατηγορία D

Αεροσκάφη με MTOW μικρότερο των 300.000 pounds και άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 175 πόδια και μεγαλύτερο από 125 πόδια. Ή αεροσκάφη με άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 125 πόδια και μεγαλύτερο από 90 πόδια.

```
recat(category = D) ←  
(wingspan(feet ≤ 125) ∧ wingspan(feet > 90)) ∨  
(mtom(kg < 136000) ∧ wingspan(feet ≤ 175) ∧ wingspan(feet > 125))
```



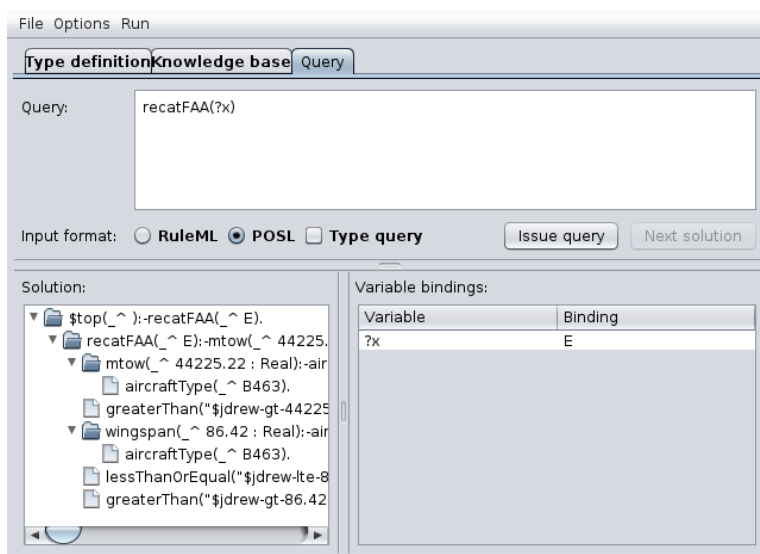
Σχήμα 6.13: Ερώτημα για την κατηγορία του Airbus A321 στην ΟΟ jDREW.



## Κατηγορία E

Αεροσκάφη με MTOW μεγαλύτερο από 41.000 pounds με άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 90 πόδια και μεγαλύτερο από 65 πόδια.

```
recat(category = E) ← mtom(kg > 18000) ∧  
wingspan(feet ≤ 90) ∧ wingspan(feet > 65)
```

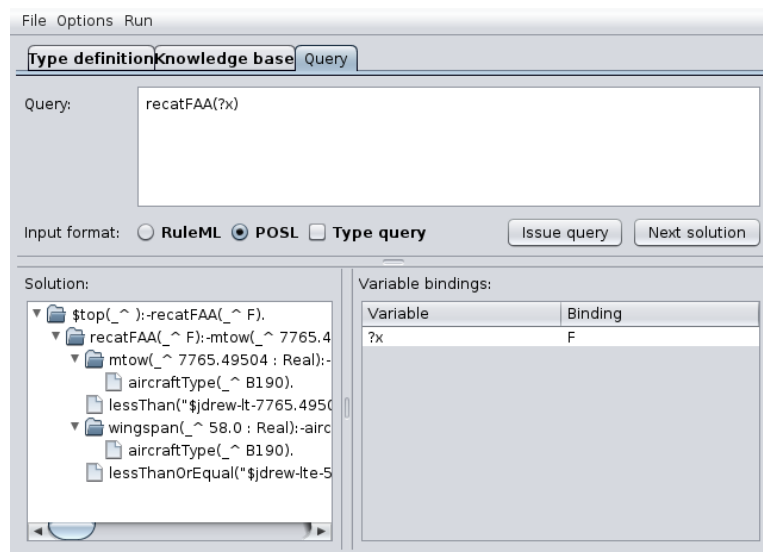


Σχήμα 6.14: Ερώτημα για την κατηγορία του BAe 146-300 στην ΟΟ JDREW.

## Κατηγορία F

Αεροσκάφη με MTOW μικρότερο από 41.000 pounds με άνοιγμα πτερύγων μικρότερο ή ίσο από 125 πόδια. Η αεροσκάφη με MTOW μικρότερο από 15.500 pounds ανεξάρτητα από το άνοιγμα των πτερύγων, ή ανεμόπτερο με μηχανή. Εδώ εμπίπτουν τα αεροσκάφη γενικής αεροπορίας.

```
recat(category = F) ← mtom(kg < 7000) ∨  
                    (mtom(kg ≤ 18000) ∧ wingspan(feet ≤ 125))
```



Σχήμα 6.15: Ερώτημα για την κατηγορία του Beechcraft 1900 στην ΟΟ jDREW.

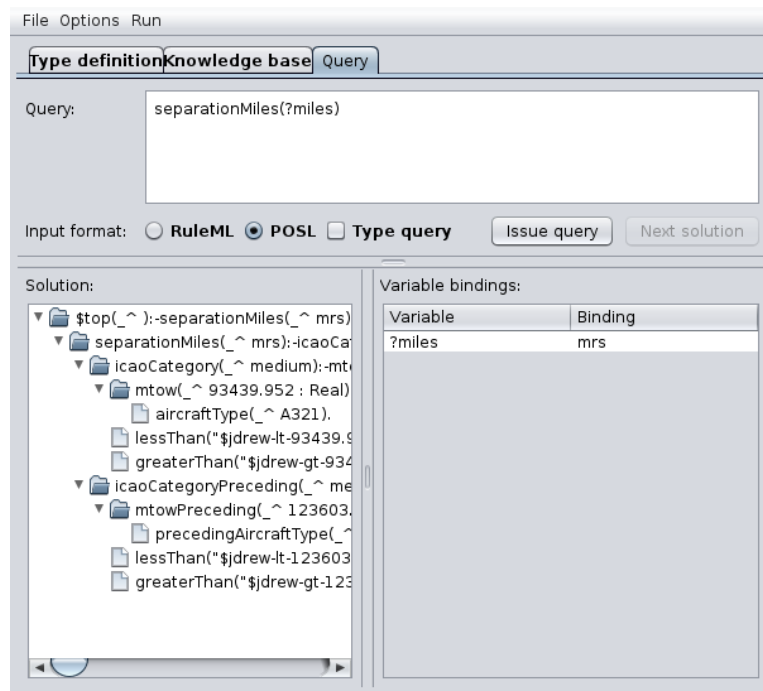
## 6.4 Ελάχιστος Διαχωρισμός

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η υλοποίηση των πινάκων των ελαχίστων διαχωρισμών των ενοτήτων 4.4 και 4.6. Δεν εξετάστηκαν οι κανονισμοί για τους κανόνες πτήσης εξ' όψεως (VFR). Για λόγους σαφήνειας, επιλέχθηκε να οριστεί ξεχωριστά το προπορευόμενο αεροσκάφος. Συνεπώς, χρειάστηκε να ξαναγραφεί ο κώδικας που ελέγχει τον διαχωρισμό των αεροσκαφών σε κατηγορίες, όπως επίσης και να συμπληρωθεί η βάση δεδομένων, ώστε να καταστεί δυνατή, η κατασκευή των κανόνων που αντιστοιχούν στους πίνακες των ενοτήτων 4.4 και 4.6.

### 6.4.1 ICAO

Ο κώδικας, υπεύθυνος για τον ορισμό κανόνων για τον ελάχιστο διαχωρισμό σύμφωνα με τους κανονισμούς του ICAO, γραμμένος σε POSL, παρατίθεται για τον συνδυασμό κατηγοριών heavy, medium, light.

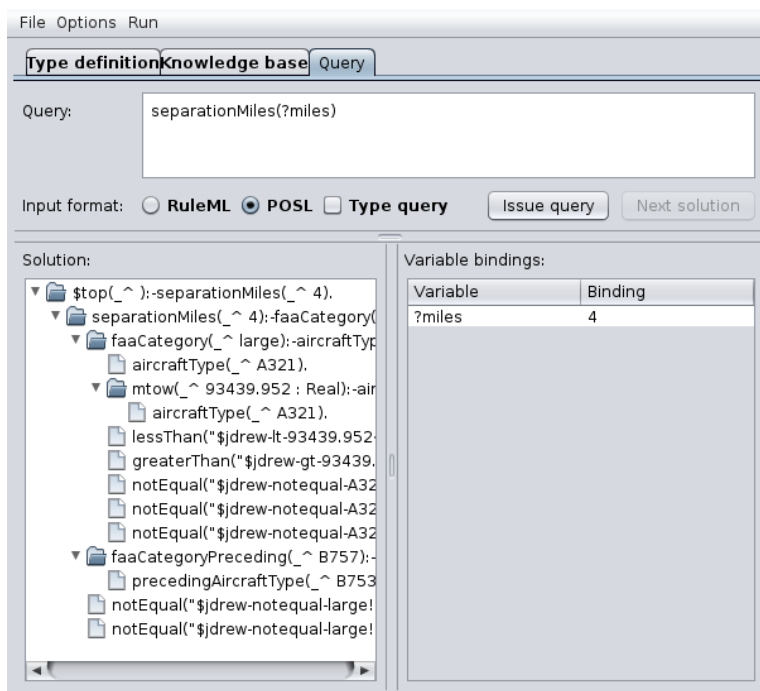
```
1 separationMiles (4):-  
    icaoCategory (heavy) , icaoCategoryPreceding (heavy) .  
2 separationMiles (5):-  
    icaoCategory (medium) , icaoCategoryPreceding (heavy) .  
3 separationMiles (6):-  
    icaoCategory (light) , icaoCategoryPreceding (heavy) .  
4 separationMiles (5):-  
    icaoCategory (light) , icaoCategoryPreceding (medium) .  
5 separationMiles (mrs):- icaoCategoryPreceding (light) .  
6 separationMiles (mrs):-  
    icaoCategory (medium) , icaoCategoryPreceding (medium) .  
7 separationMiles (mrs):-  
    icaoCategory (heavy) , icaoCategoryPreceding (medium) .
```



**Σχήμα 6.16:** Ερώτημα τον ελάχιστο διαχωρισμό στην περίπτωση που ένα Airbus 321 ακολουθεί ένα Boeing 757-300, σύμφωνα με τους κανονισμούς του ICAO. Η απάντηση είναι “mrs”, δηλαδή ο “ελάχιστος διαχωρισμός ραντάρ”.

## 6.4.2 FAA

Αντίστοιχα προκύπτει και ο πίνακας για τον ελάχιστο διαχωρισμό σύμφωνα με τους κανονισμούς της FAA.



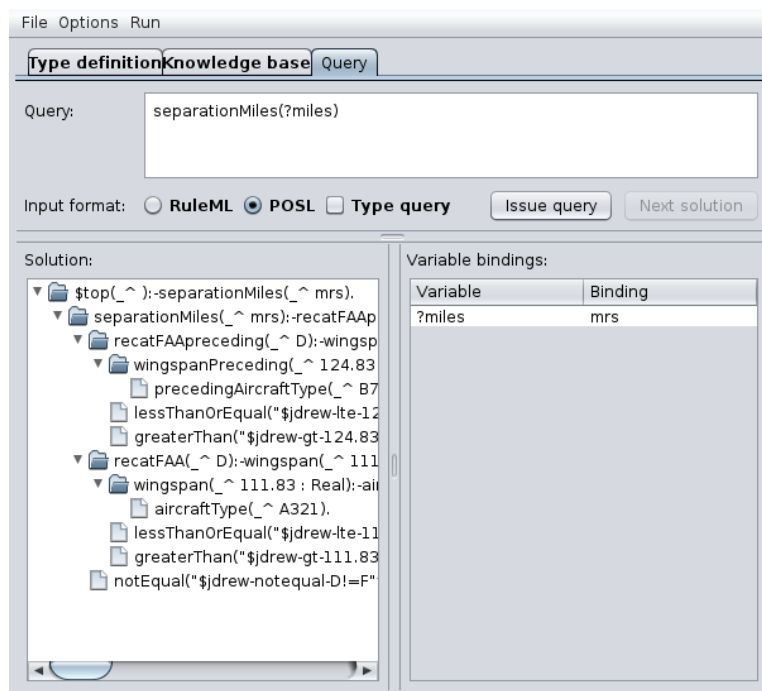
The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Options, Run) and three tabs: Type definition, Knowledge base, and Query. The Query tab is active, showing a text box with the query "separationMiles(?miles)". Below the text box are three radio buttons for "Input format": RuleML, POSL (selected), and Type query. There are "Issue query" and "Next solution" buttons. The "Solution:" area displays a tree structure of logical rules, including "separationMiles(\_ ^ 4):-faaCategory(...)", "faaCategory(\_ ^ large):-aircraftType(...)", "mtow(\_ ^ 93439.952 : Real):-aircraftType(...)", "lessThan(...)", "greaterThan(...)", "notEqual(...)", and "faaCategoryPreceding(\_ ^ B757):-precedingAircraftType(...)", "notEqual(...)", "notEqual(...)". The "Variable bindings:" area contains a table with two columns: "Variable" and "Binding". The table has one row: "?miles" and "4".

Variable	Binding
?miles	4

**Σχήμα 6.17:** Ερώτηση τον ελάχιστο διαχωρισμό στην περίπτωση που ένα Airbus 321 ακολουθεί ένα Boeing 757-300, σύμφωνα με τους κανονισμούς της FAA. Η απάντηση είναι “4”.

### 6.4.3 RECAT

Υλοποιήθηκε και ο πίνακας για τον ελάχιστο διαχωρισμό σύμφωνα με τους κανονισμούς του RECAT.



**Σχήμα 6.18:** Ερώτημα τον ελάχιστο διαχωρισμό στην περίπτωση που ένα Airbus 321 ακολουθεί ένα Boeing 757-300, κατά RECAT. Η απάντηση είναι “mrs”.

## 6.5 Κατασκευή Βάσης Δεδομένων - Αεροδρόμια

Για να υπάρξει δυνατότητα επέκτασης του υπάρχοντος κώδικα, ώστε να είναι δυνατό να εξεταστούν επιπλέον περιπτώσεις, κατασκευάστηκε βάση δεδομένων και για τα αεροδρόμια. Για την κατασκευή της, χρησιμοποιήθηκε το αρχείο `http://ourairports.com/data/runways.csv`, επεξεργασμένο για τα δεδομένα του Ελληνικού χώρου, περιλαμβάνοντας τους Διεθνείς Αερολιμένες και τα κυριότερα αεροδρόμια της χώρας. Η μετατροπή στο συντακτικό της POSL έγινε με τη βοήθεια της Python.

Η βάση περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία: α) το τετραψήφιο όνομα του αεροδρομίου (ICAO airport code), β) τους κανονισμούς κάτω από τους οποίους λειτουργεί το αεροδρόμιο, γ) τον βοθητικό εξοπλισμό του αεροδρομίου, δ) τον ακριβή προσανατολισμό του κάθε διαδρόμου αποπροσγείωσης, ε) το διψήφιο όνομα του κάθε διαδρόμου, αντιπροσωπευτικό του προσανατολισμού, ή τριψήφιο για αεροδρόμια που διαθέτουν πάνω από έναν διάδρομο, και στ) την απόσταση των δύο διαδρόμων σε αεροδρόμια που διαθέτουν πάνω από έναν διάδρομο. Η παραπάνω πηγή δε διαθέτει το τελευταίο απαραίτητο στοιχείο, οπότε και συμπληρώθηκε (σε πόδια) ως αρχική συνθήκη.

Οι μεταβλητές που ορίζονται από τη βάση δεδομένων των αεροδρομίων είναι οι εξής:

```
airportName
runwayOneOrientation
runwayTwoOrientation
runwayThreeOrientation
runwayFourOrientation
runwayOneName
runwayTwoName
runwayThreeName
runwayFourName
distanceBetweenRunways
```

Για αεροδρόμια, όπως ο Κρατικός Αερολιμένας Ρόδου “Διαγόρας”, που διαθέτουν μόνο ένα διάδρομο αποπροσγείωσης, οι μεταβλητές που ορίζουν τον ακριβή προσανατολισμό των μη υπαρκτών διαδρόμων, δηλαδή οι `runwayThreeOrientation`, `runwayFourOrientation` και την ονομασία, δηλαδή οι `runwayThreeName`, `runwayFourName` ορίζονται ως `"N/A"^^String`.

Για τα αεροδρόμια που διαθέτουν διασταυρούμενους διαδρόμους, όπως ο Διεθνής Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης “Μακεδονία”, η μεταβλητή `distanceBetweenRunways` πρέπει να οριστεί ως `0^^Real`. Τέλος, μπορεί να οριστεί ο ελάχιστος διαχωρισμός ραντάρ που ισχύει στην κάθε περίπτωση.

## **Παραδοχές**

Όπως και στη βάση δεδομένων των αεροσκαφών, δεν έγινε κάποιος έλεγχος για την ορθότητα της πηγής, παρόλο που αναφέρεται ότι μπορεί να υπάρχουν ανακρίβειες. Αντλήθηκαν δεδομένα μόνο για την Ελλάδα, με σκοπό τη διαπίστωση της ορθής λειτουργίας του κώδικα. Τέλος, για την ορθή λειτουργία του κώδικα, οι διάδρομοι πρέπει να αριθμούνται σύμφωνα με τον προσανατολισμό και την ονομασία τους κατά αύξουσα σειρά.



## 6.6 Συνθήκες Εφαρμογής Ελαχίστου Διαχωρισμού

Ο κώδικας που έχει γραφεί, έχει την ιδιότητα να είναι ευέλικτος, όντας επεκτάσιμος ή με δυνατότητα επιλογής τμημάτων του ανάλογα με τις ανάγκες. Μπορούν να προστεθούν συνθήκες, όπως μετεωρολογικές συνθήκες, οι διαδικασίες στις οποίες βρίσκονται τα αεροσκάφη (προσέγγιση - προσγείωση, απογείωση - άνοδος), οι κανονισμοί που εφαρμόζονται κ.ά. Αντίστοιχα, μπορεί να αφαιρεθούν τμήματά του που μπορεί να μην έχουν πρακτική εφαρμογή σε ένα χώρο.

Στο βασικό μέρος του κώδικα των προηγούμενων ενοτήτων μπορεί να προστεθούν οι συνθήκες εφαρμογής. Αυτό μπορεί να γίνει, είτε ορίζοντάς τες ως αρχικές συνθήκες, είτε να ενσωματωθούν στη βάση δεδομένων.

Για την πρώτη περίπτωση, αρκεί απλά να προστεθούν σε κάποιο σημείο του κώδικα. Μερικά από τα στοιχεία που μπορούν να προστεθούν είναι οι κανονισμοί που ακολουθούνται (ICAO, FAA ή RECAT-FAA), εάν εφαρμόζονται οι κανόνες πτήσης δια οργάνου ή εξ' όψεως ή άλλοι ειδικοί κανόνες σύμφωνα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Έτσι, για να οριστούν icao, ifr αντίστοιχα:

```
1 rules(icao).  
2 flightRules(ifr).
```

Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να προστεθούν και στους κανόνες που ελέγχουν την κάθε περίπτωση. Έτσι, η υλοποίηση του πίνακα της Ενότητας 4.4, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς, μπορεί να επεκταθεί ως εξής:

```
1 separationMiles(4):- icaoCategory(heavy),  
   icaoCategoryPreceding(heavy), rules(icao), flightRules(ifr).  
2 separationMiles(5):- icaoCategory(heavy),  
   icaoCategoryPreceding(heavy), rules(icao), flightRules(ifr).  
3 separationMiles(6):- icaoCategory(light),  
   icaoCategoryPreceding(heavy), rules(icao), flightRules(ifr).  
4 separationMiles(5):- icaoCategory(light),  
   icaoCategoryPreceding(heavy), rules(icao), flightRules(ifr).  
5 separationMiles(mrs):- icaoCategory(light), rules(icao),  
   flightRules(ifr).  
6 separationMiles(mrs):- icaoCategory(heavy),  
   icaoCategoryPreceding(heavy), rules(icao), flightRules(ifr).  
7 separationMiles(mrs):- icaoCategory(heavy),  
   icaoCategoryPreceding(heavy), rules(icao), flightRules(ifr).
```

Με τον ίδιο τρόπο γίνεται να συμπληρωθούν επιπλέον συνθήκες, όπως για παράδειγμα η φάση της πτήσης των αεροσκαφών (π.χ προσέγγιση, προσγείωση κ.ά).

## 6.7 Σύνθετες Περιπτώσεις

Οι κανονισμοί της FAA και του ICAO, όπως και εργασίες που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2, χρησιμοποιούν την κατεύθυνση του αεροσκάφους και τη γωνία των κατευθύνσεων δυο αεροσκαφών. Σε αυτή την ενότητα, περιγράφεται η υλοποίηση του υπόβαθρου στο οποίο μπορεί να επεκταθεί ο υπάρχων κώδικας ώστε να είναι δυνατός ο χειρισμός των κατευθύνσεων.

Στη βάση δεδομένων που έχει ήδη δημιουργηθεί, υπάρχουν στοιχεία που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι στιγμής, όπως ο ακριβής προσανατολισμός του κάθε διαδρόμου αποπροσγείωσης, το διψήφιο/τριψήφιο όνομα του κάθε διαδρόμου και η απόσταση των δυο διαδρόμων σε αεροδρόμια που διαθέτουν πάνω από έναν διάδρομο.

### 6.7.1 Διαρρύθμιση Αεροδρομίου

Αρχικά, γράφηκε ο κώδικας για τη διαπίστωση της διαρρύθμισης του κάθε αεροδρομίου. Όπως αναφέρουν οι κανονισμοί, όταν δυο αεροσκάφη επιχειρούν από διαδρόμους παράλληλους που απέχουν λιγότερο από 2500 πόδια (FAA) ή 760 μέτρα (ICAO) τότε ο ελάχιστος διαχωρισμός που εφαρμόζεται είναι ο ίδιος σαν να επιχειρούσαν από τον ίδιο διάδρομο. Έτσι, χρησιμοποιήθηκε από τη βάση δεδομένων το διψήφιο/τριψήφιο όνομα του κάθε διαδρόμου και η απόσταση των δυο διαδρόμων στην περίπτωση που υπάρχει πάνω από ένας διάδρομος.

Προκειμένου να παραμείνει ο κώδικας μικρός σε μέγεθος και εξίσου αποδοτικός, έγιναν οι παρακάτω παραδοχές: α') δυο παράλληλοι διάδρομοι έχουν ακριβώς τον ίδιο προσανατολισμό, β') εξετάζονται μόνο οι περιπτώσεις για έναν ή δύο διαδρόμους και όχι περισσότερους, γ') θεωρείται ότι 2500ft=760m αντί για 762m ώστε να ενοποιηθούν οι περιπτώσεις του ICAO και της FAA, δ') δεν εξετάζονται περιπτώσεις όπου σε παράλληλους διαδρόμους, το κατώφλι του ενός απέχει από την προβολή του κατωφλιού του άλλου πάνω σε αυτόν (σε αυτή την περίπτωση, η απόσταση ώστε να θεωρηθεί ότι οι διάδρομοι είναι ανεξάρτητοι αλλάζει).

Εξετάζεται η διαρρύθμιση του αεροδρομίου, διακρίνοντας τις παρακάτω πέντε περιπτώσεις:

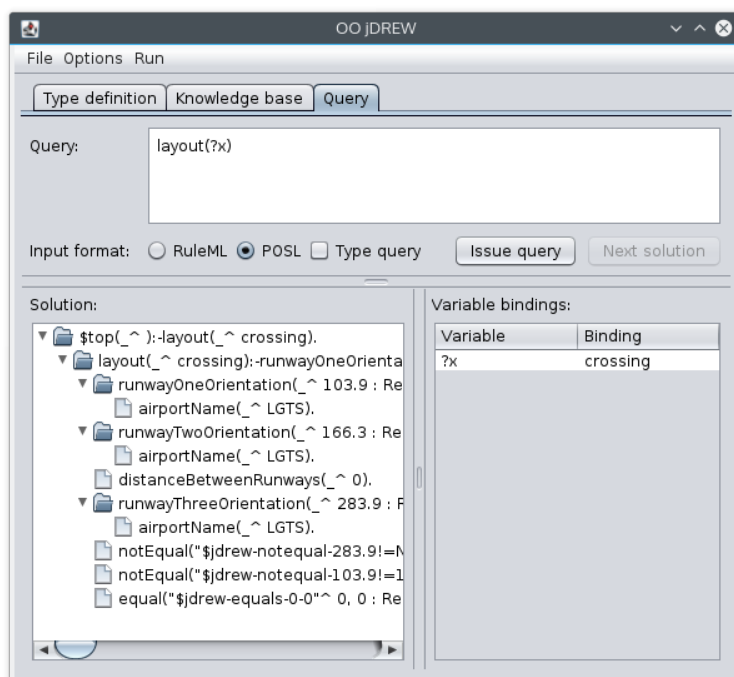
**Αεροδρόμια με ένα διάδρομο:** Αρκεί να μην υπάρχει τρίτος διάδρομος (άρα και τέταρτος).

**Αεροδρόμια με διασταυρούμενους διαδρόμους:** Είναι απαραίτητο να έχει οριστεί η απόσταση των δυο διαδρόμων. Πρέπει να υπάρχει τρίτος διάδρομος, ο προσανατολισμός των δυο πρώτων διαδρόμων να είναι διαφορετικός και η απόσταση των διαδρόμων να είναι μηδενική.

**Αεροδρόμια με παράλληλους αλλά κοντινούς διαδρόμους:** Ελέγχεται ο προσανατολισμός και η απόσταση των δυο διαδρόμων.

**Αεροδρόμια με παράλληλους και απομακρυσμένους διαδρόμους:** Ελέγχεται ο προσανατολισμός και η απόσταση των δυο διαδρόμων.

**Αεροδρόμια με μη παράλληλους, μη διασταυρούμενους, κοντινούς διαδρόμους:** Αν η απόσταση των δυο διαδρόμων δεν είναι μηδενική, έχουν διαφορετικό προσανατολισμό και υπάρχει τρίτος διάδρομος.



**Σχήμα 6.19:** Ερώτηση για τη διαρρύθμιση του Διεθνή Κρατικού Αερολιμένα Θεσσαλονίκης “Μακεδονία”.

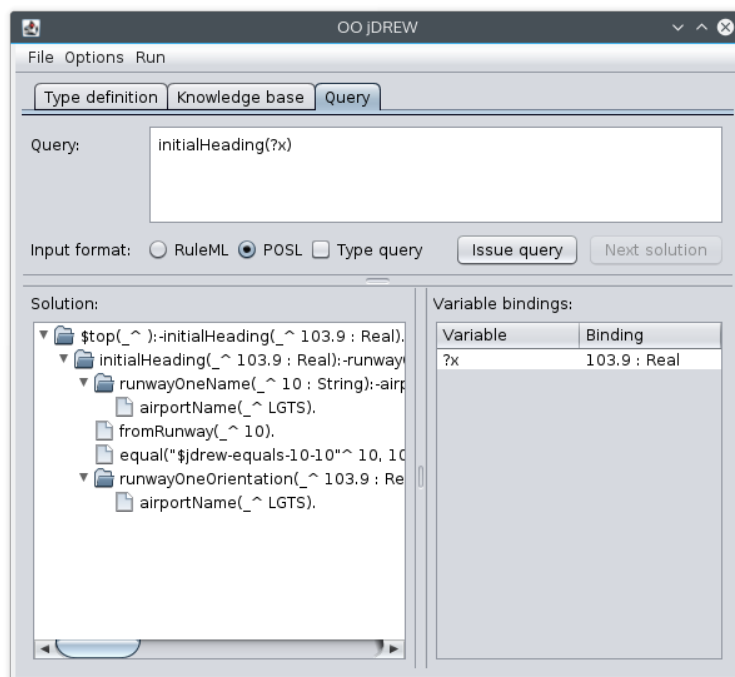
## 6.7.2 Κατευθύνσεις

Εισήχθησαν οι μεταβλητές `initialHeadingPre` για το προπορευόμενο αεροσκάφος και `initialHeading` για το αεροσκάφος που έπεται, που αντιστοιχούν στον αρχικό προσανατολισμό τους και προκύπτουν από τον προσανατολισμό του διαδρόμου από τον οποίο το αεροσκάφος επιχειρεί. Αρκεί να οριστεί το όνομα του διαδρόμου που κάθε αεροσκάφος επιχειρεί, δίνοντας τα κατάλληλα ορίσματα στις μεταβλητές `fromRunwayPreceding` και `fromRunway`.

Επίσης, εισήχθησαν οι μεταβλητές `headingPre` για το προπορευόμενο αεροσκάφος και `heading` για το αεροσκάφος που έπεται, που αντιστοιχούν στον προσανατολισμό τους. Σε περίπτωση που δεν αυτές δεν οριστούν, είναι δυνατό να οριστεί η στροφή μετά την απογείωση και να γίνουν οι υπολογισμοί, με τη μεταβλητή `turnAfterRotationPreceding` και `turnAfterRotation` αντίστοιχα.

Τότε, οι `headingPre` και `heading` προκύπτουν προσθέτοντας τη στροφή στον προσανατολισμό του διαδρόμου.

Για την πρόσθεση, χρησιμοποιείται η ενσωματωμένη στην OO jDREW συνάρτηση `add`. Το πρώτο όρισμα παίρνει ως τιμή το άθροισμα του δεύτερου και του τρίτου ορίσματος.



**Σχήμα 6.20:** Ερώτηση για την αρχική κατεύθυνση αεροσκάφους που επιχειρεί από τον διάδρομο 10 του Διεθνή Κρατικού Αερολιμένα Θεσσαλονίκης “Μακεδονία”.

### 6.7.3 Συγκρίσεις Γωνιών

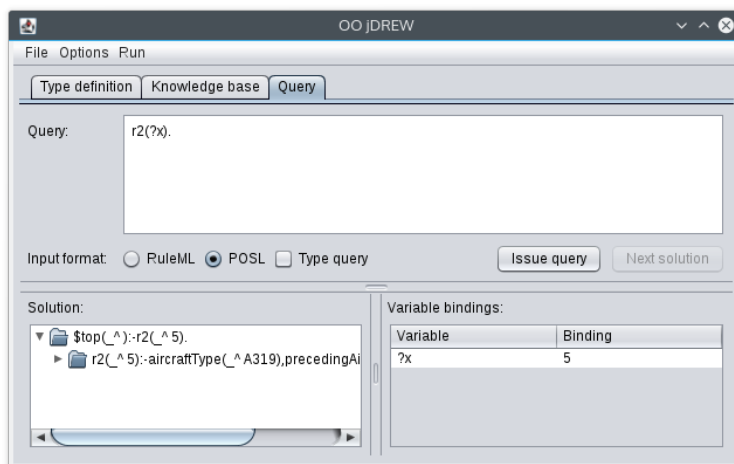
Είναι δυνατός ο χειρισμός περιπτώσεων που απαιτούν τη γνώση της γωνίας μεταξύ των κατευθύνσεων των αεροσκαφών. Το βασικό πρόβλημα σε αυτές τις περιπτώσεις είναι ότι η προκύπτουσα γωνία μπορεί είναι μικρότερη των  $0^\circ$  ή να ξεπεράσει τις  $180^\circ$  ή και τις  $360^\circ$ . Γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιούνται επιπλέον οι ενσωματωμένες συναρτήσεις της OO jDREW, `subtract` και `abs`, ώστε να εξετάζονται οι περιπτώσεις όπου οι προκύπτουσες γωνίες είναι μεγαλύτερες των  $180^\circ$  και  $360^\circ$ , ή μικρότερες των  $0^\circ$ . Η πρώτη λειτουργεί όπως η ενσωματωμένη συνάρτηση `add` και δίνει τη διαφορά δύο ορισμάτων, ενώ στην `abs` το πρώτο όρισμα παίρνει την απόλυτη τιμή του δεύτερου ορίσματος.

## 6.8 RECAT-2/RECAT-3

Λόγω του ότι δεν υπάρχει κάποιο διαθέσιμο στοιχείο για την τελική μορφή των κανονισμών, η υλοποίηση των RECAT-2 και RECAT-3 έγινε με υποθετικά δεδομένα, ως επαλήθευση ότι είναι εφικτή η υλοποίησή τους με τη χρήση της ΟΟ jDREW, όπως επίσης και για τη διαπίστωση πιθανών προβλημάτων στην υλοποίηση.

### 6.8.1 RECAT-2: Διαχωρισμός Κατά Περίπτωση

Ο 115x115 πίνακας που θα καθορίζει αναλυτικά τον διαχωρισμό κατά περίπτωση (RECAT-2) αναμένεται ότι θα απαιτεί τη χρήση κάποιου εξειδικευμένου εργαλείου. Εφόσον πραγματικά δεδομένα απουσιάζουν, η υλοποίηση έγινε με υποθετικά δεδομένα, αναθέτοντας ένα νούμερο για κάθε στοιχείο του πίνακα. Η μεταβλητή r2 ορίζει τον διαχωρισμό στην κάθε περίπτωση.



**Σχήμα 6.21:** Ερώτημα για τον ελάχιστο διαχωρισμό σύμφωνα με τους κανονισμούς του RECAT-2, υποθετικά δεδομένα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι έγινε εισαγωγή πλήρη πίνακα μεγέθους 115x115. Όσον αφορά στην απόδοση, η εισαγωγή διαρκεί περίπου 15-25 δευτερόλεπτα (την πρώτη φορά) και 10-15 δευτερόλεπτα τις επόμενες σε σύγχρονο φορητό υπολογιστή (2015) μέτριας απόδοσης, ενώ η εκτέλεση είναι στιγμιαία.

### 6.8.2 RECAT-3: Συνυπολογισμός Μετεωρολογικών Συνθηκών

Είναι δυνατό να ληφθούν υπόψη και οι μετεωρολογικές συνθήκες που απαιτείται από το RECAT-3. Μπορούν να γραφούν κανόνες που θα περιέχουν την κατεύθυνση και την ένταση του ανέμου, ακολουθώντας παρόμοια μεθοδολογία

με την ενότητα 6.7.3. Αφού οι κανονισμοί δεν υπάρχουν ακόμα, χρησιμοποιήθηκαν υποθετικά δεδομένα.

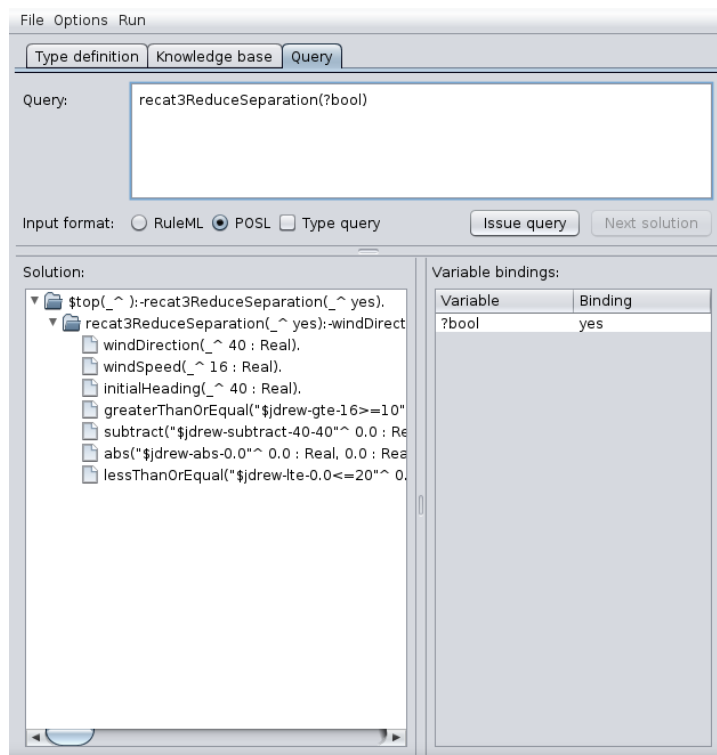
Για παράδειγμα, έστω ότι μπορεί να μειωθεί ο διαχωρισμός αν η διεύθυνση του ανέμου σχηματίζει γωνία με τον διάδρομο ίση ή μικρότερη των  $20^\circ$  με μέση ταχύτητα ανέμου ίση ή μεγαλύτερη των 10 knots.

Οι μεταβλητές που ορίζουν την κατεύθυνση και την ένταση του ανέμου, είναι οι παρακάτω:

`windDirection`

`windSpeed`

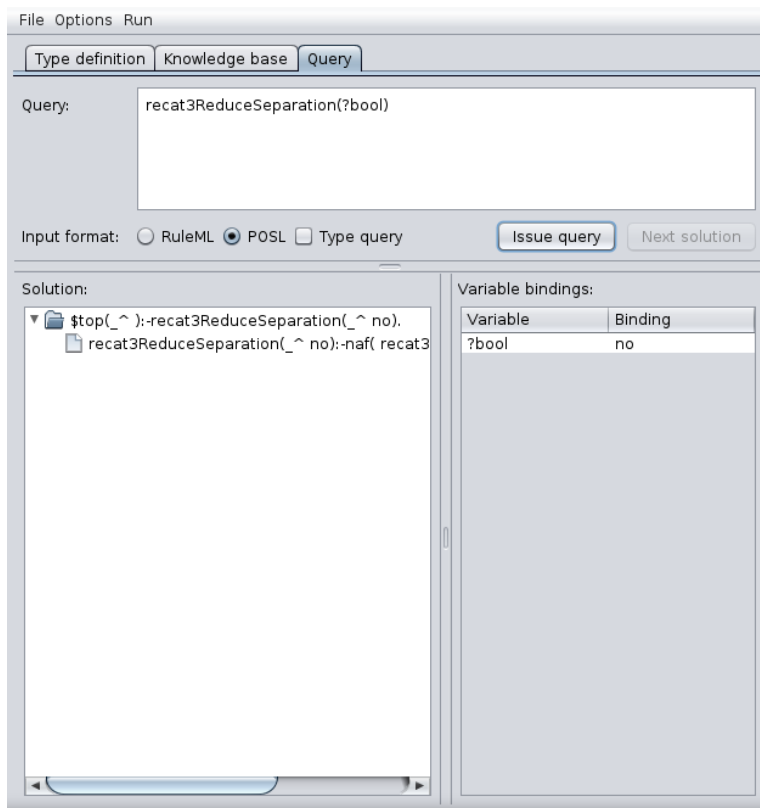
Με παρόμοια μεθοδολογία με την ενότητα 6.7.3, εξετάζεται η γωνία της κατεύθυνσης του αεροσκάφους και της κατεύθυνσης του ανέμου. Αν υποθεθεί ότι ο μειωμένος διαχωρισμός δε προκύπτει από μια συνάρτηση, θα πρέπει να υπάρχει ένας ακόμη πίνακας 115x115 με τον μειωμένο διαχωρισμό, ο οποίος θα υλοποιηθεί όπως ο αρχικός.



**Σχήμα 6.22:** Ερώτημα για τη μείωση του ελαχίστου διαχωρισμού σύμφωνα με τους κανονισμούς του RECAT-3, υποθετικά δεδομένα.

Στην περίπτωση που δεν μπορεί να εφαρμοστεί μείωση του διαχωρισμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πολύ σημαντική ιδιότητα της άρνησης ως αποτυ-

χία (Negation as Failure, Naf), ενσωματωμένη δυνατότητα της ΟΟ jDREW<sup>2</sup>.



**Σχήμα 6.23:** Ερώτημα για τη μείωση του ελαχίστου διαχωρισμού σύμφωνα με τους κανονισμούς του RECAT-3, υποθετικά δεδομένα.

Τέλος, υπάρχει δυνατότητα να καλυφθούν και άλλες πιθανές μελλοντικές τελικές μορφές του RECAT-3, όπως η περίπτωση ο διαχωρισμός να προκύπτει απ' ευθείας συναρτησιακά. Σε αυτή την περίπτωση, η ΟΟ jDREW καλύπτει συναρτήσεις που περιέχουν (εκτός από τα προαναφερθέντα Built-Ins) δυνάμεις και τριγωνομετρικές συναρτήσεις.

<sup>2</sup>Λόγω πιθανού σφάλματος της ΟΟ jDREW (έκδοση 1.0), η Bottom-Up εκδοχή της δε δίνει κάποιο αποτέλεσμα κατά τη χρησιμοποίηση της άρνησης ως αποτυχία, οπότε συνίσταται η χρησιμοποίηση της Top-Down εκδοχής.





Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής και παρουσιάζει πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις.

## 7.1 Σύνοψη

Ο αρχικός στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση του κατά πόσο προγραμματιστικά εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την έκφραση Κανονισμών Εναέριας Κυκλοφορίας και στη συνέχεια η κατασκευή μιας βάσης κανόνων που θα ορίζουν τον ελάχιστο διαχωρισμό σύμφωνα με τους ισχύοντες Κανονισμούς Εναέριας Κυκλοφορίας, για την περιοχή ελιγμών του αεροδρομίου και συγκεκριμένα για τις διαδικασίες της προσγείωσης και απογείωσης των αεροσκαφών.

Η χρήση της RuleML και συγκεκριμένα η πρότυπη Naf Hornlog υλοποίησή της, OO jDREW, κρίθηκε επαρκής για την έκφραση των κανονισμών που εξετάστηκαν, οι οποίοι και υλοποιήθηκαν. Επιπλέον, συντάχθηκε κώδικας που καλύπτει και τους μελλοντικούς κανονισμούς.

## 7.2 Συμπεράσματα

Κρίνοντας συνολικά όλη την υλοποίηση, αυτή είναι ικανή να καλύψει μέρος των Κανονισμών Εναέριας Κυκλοφορίας. Έτσι, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως βάση κανόνων (rule base) για άλλες μελέτες και προσομοιώσεις, μετά από την υλοποίηση κατάλληλης διασύνδεσης. Επιπροσθέτως, είναι δυνατό η προσέγγιση που ακολουθήθηκε να χρησιμοποιηθεί συμβουλευτικά αρχικά σε εικονικό περιβάλλον και μετά από πιθανή αποσφαλμάτωση, δημιουργία διεπαφής, εξέταση της αλληλεπίδρασης με άλλα συστήματα και αξιολόγηση των

αναγκών της αεροπορικής βιομηχανίας, σε πραγματικό περιβάλλον για μερικές χρήσεις, ή ακόμα και σε εικονικό περιβάλλον για λόγους εκπαίδευσης. Συγκεκριμένα, είναι δυνατή η κατασκευή μιας ικανοποιητικά μεγάλης βάσης δεδομένων με χαρακτηριστικά αεροσκαφών και στη συνέχεια η κατηγοριοποίησή τους όσον αφορά στους στροβιλισμούς του ομόρου κατά ICAO, FAA, RECAT και RECAT-2, όπως και η αναπαραγωγή των πινάκων του ελάχιστου διαχωρισμού IFR ανάλογα με τις κατηγορίες του προπορευόμενου και του ακόλουθου αεροσκάφους. Ο χρόνος εκτέλεσης των παραπάνω ερωτημάτων ήταν άμεσος, κάνοντας δυνατή τη χρήση σε περιβάλλον πραγματικού χρόνου ή σε μεγάλες προσομοιώσεις.

Στην περίπτωση του RECAT-3, δεν μπορούν να αντληθούν χρήσιμα συμπεράσματα, καθώς δεν υπάρχει διαθέσιμη δημοσίως κάποια ένδειξη για την τελική μορφή των κανονισμών. Ωστόσο, είναι πιθανό η προσέγγιση που ακολουθήθηκε να είναι εφαρμόσιμη.

Τέλος, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση μέρους ή ολόκληρου του κώδικα είτε ως βάση για το εκ νέου γράψιμο του κώδικα σε κάποια άλλη παρόμοια σύνταξη γλώσσα λογικού προγραμματισμού, είτε για την αποφυγή λογικών σφαλμάτων κατά τον σχεδιασμό ίδιας ή παρομοίων εφαρμογών σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Παράλληλα, είναι δυνατή η διαπίστωση της ορθότητας της λογικής και των κανόνων που εξάγονται ως συμπεράσματα, χρησιμοποιώντας τη Bottom-Up εκδοχή της OO jDREW.

### 7.3 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η περαιτέρω αξιοποίηση της αναπτυχθείσας βάσης κανόνων ως συμβουλευτικό εργαλείο σε πραγματικό περιβάλλον είναι δυνατή εφόσον ή γραφεί πολύ μεγαλύτερο σύνολο κανόνων για τις προϋποθέσεις εφαρμογής του, ή χρησιμοποιηθεί μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις όπου θα υπάρχει πλήρης κατανόηση των περιορισμών του υπάρχοντος κώδικα.

Ένα πολύ σημαντικό μέρος των κανονισμών που δεν εξετάστηκε είναι οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και οι ενδεδειγμένες ενέργειες έκτακτης ανάγκης, από τις αρκετά συνηθισμένες όπως η επανακύκλωση<sup>1</sup> (go-around) μέχρι πιο σύνθετες. Κάλυψη μεγαλύτερου μέρους των κανονισμών θα πραγματοποιηθεί με την υλοποίηση περιπτώσεων όπως η ταυτόχρονη προσγείωση/απογείωση αεροσκαφών σε αεροδρόμια με περισσότερους του ενός διαδρόμους αποπροσγείωσης ή ακόμα και προσθήκη άλλων πτητικών μέσων όπως για παράδειγμα ελικοπτέρων.

Ακόμα, δυνατή είναι η επέκταση του κώδικα πέρα από τις διαδικασίες της προσγείωσης και της απογείωσης, όπως η μετάβαση από την περιοχή του αεροδρομίου στον αεροδιάδρομο και αντίστροφα, ή, συνολικότερα η υλοποίηση κανονισμών και καθορισμός του ελαχίστου διαχωρισμού εν πτήση. Εκεί θα χρειαστεί και άλλη προσέγγιση, όπου θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο κάθε-

<sup>1</sup>Η εγκατάλειψη της προσπάθειας για προσγείωση.

τος διαχωρισμός.

Άλλες πιθανές μελλοντικές επεκτάσεις της διπλωματικής εργασίας είναι στην κατεύθυνση της διασφάλισης της λειτουργικότητας στον πραγματικό κόσμο. Αυτό θα μπορούσε για παράδειγμα να επιτευχθεί με τη δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος ή με την ενσωμάτωση σε κάποιο άλλο πρόγραμμα που προορίζεται για πραγματικό ή εικονικό περιβάλλον.

Η ανάπτυξη γραφικού περιβάλλοντος θα βοηθήσει στην εύκολη χρήση της δημιουργηθείσας βάσης κανόνων σε εφαρμογές, ενώ η ενσωμάτωση της βάσης κανόνων σε κάποια άλλη εφαρμογή θα δώσει τη δυνατότητα χρησιμοποίησής της σε συμβουλευτικά εργαλεία, εξομοιωτές για εκπαιδευτικούς σκοπούς, προσομοιώσεις και μελέτες κυκλοφοριακής συμφόρησης, εργαλεία χρονοπρογραμματισμού δρομολογίων, ενσωμάτωση σε κάποιον εξομοιωτή πτήσης κ.ά.



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] L. Tobias and J. Scoggins, "Time-based Air-Traffic Management Using Expert Systems," tech. rep., NASA Ames Research Center, Apr 1986.
- [2] E. Veidal, "Scheduling Aircraft Landings - The Dynamic Case," Master's thesis, Technical University of Denmark, DTU, DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark, 2007.
- [3] G. Valkanas, P. Natsiavas, and N. Bassiliades, "A collision detection and resolution multi agent approach using utility functions," in *2009 Fourth Balkan Conference in Informatics*, Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE), 2009.
- [4] V. Gorodetsky, O. Karsaev, V. Samoylov, and V. Skormin, "Multi-Agent Technology for Air Traffic Control and Incident Management in Airport Airspace," 2008.
- [5] Βικιπαίδεια, "Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας." [https://el.wikipedia.org/wiki/Έλεγχος\\_Εναέριας\\_Κυκλοφορίας](https://el.wikipedia.org/wiki/Έλεγχος_Εναέριας_Κυκλοφορίας), 2015.
- [6] R. W. Patlovan, "U.S. Aviation Regulations Increase Probability of Midair Collisions," *Risk Analysis*, vol. 17, no. 2, pp. 237–248, 1997.
- [7] Paielli Russell A., "A Linear Altitude Rule For Safer And More Efficient Enroute Air Traffic," *Air traffic control quarterly : an international journal of engineering and operations.*, vol. 8, no. 3, 2000.
- [8] NTSB, "Review of U.S. Civil Aviation Accidents 2007-2009," 2011.
- [9] Boeing, "Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations 1959 - 2013," 2014.
- [10] FAA, "2011 ATO Safety National Runway Safety Plan," 2011.

- [11] *Πρόχειρες Σημειώσεις στη Δυναμική Πτήσης*. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου, ΕΜΠ, 1995.
- [12] P. Choroba, *Comprehensive study of the wake vortex phenomena to the assessment of its incorporation to ATM for safety and capacity improvements*. PhD thesis, University of Zilina, 2006.
- [13] S. Lang, J. Tittsworth, W. Bryant, P. Wilson, C. Lepadatu, D. Delisi, D. Lai, and G. Greene, “Progress on an ICAO Wake Turbulence Re-Categorization Effort,” *AIAA Atmospheric and Space Environments Conference*, 2010.
- [14] NTSB, “Aircraft Accident Report, Uncontrolled Descent And Collision With Terrain USAIR Flight 427 Boeing 737-300, N513AU Near Aliquippa, Pennsylvania September 8, 1994,” 1999.
- [15] C. Gwiggner and S. Nagaoka, “Recent models in the analysis of air traffic flow,” in *Proceedings of JSASS 46th Aircraft Symposium*. Tokyo, Japan, 2008.
- [16] *Flight to the Future: Human Factors in Air Traffic Control*. Washington, DC: The National Academies Press, 1997.
- [17] FAA, “Advisory Circular 90-23G - Aircraft Wake Turbulence,” 2014.
- [18] FAA, “N JO 7110.677, Procedures for A380-800 and An225 Aircraft.”
- [19] ICAO, “Doc 4444-RAC/501, Procedures for Air Navigation Services—Rules of the Air and Air Traffic Services.”
- [20] NATS, “Time based separation at Heathrow a world first,” 2014.  
<http://www.nats.aero/newsbrief/time-based-separation-heathrow-world-first/>.
- [21] EUROCONTROL, “Wake vortex.” <https://www.eurocontrol.int/articles/wake-vortex>, 2015.
- [22] Wikipedia, “RuleML.” <https://en.wikipedia.org/wiki/RuleML>, 2015.
- [23] Harold Boley and Benjamin Grosf and Said Tabet, “RuleML Tutorial.” <http://www.ruleml.org/papers/tutorial-ruleml.html>, 2005.
- [24] OO jDREW Website. <http://www.jdrew.org/ooidrew/index.html>, 2015.
- [25] TEE, *Αγγλοελληνικό και Ελληνοαγγλικό Λεξικό Αεροναυπηγικών Όρων*. 1998.
- [26] Inter-Active Terminology for Europe, “Terminology Database.” <http://iate.europa.eu/>, 2015.