



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

**Προσδιορισμός βέλτιστης κατανομής
χρονοπαραθύρων αεροδρομίων
με χρήση του αλγορίθμου
αναζήτησης αρμονίας (harmony search)**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΓΕΡΑΣΙΜΟΥ ΣΠΑΝΑΚΗ

Επιβλέπουσα : Βούλα Ψαράκη-Καλουπτσίδη
Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2012

Σύνοψη	
Τίτλος:	“Προσδιορισμός βέλτιστης κατανομής χρονοπαραθύρων αεροδρομίων με χρήση του αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας (harmony search)”
Όνομα:	Σπανάκης Γεράσιμος
Επιβλέπουσα:	Βούλα Ψαράκη-Καλουπτσίδη, Επικ. Καθηγήτρια ΕΜΠ
Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το ζήτημα των προβλημάτων που προκύπτουν από την κατανομή χρονοπαραθύρων στα αεροδρόμια. Μελετάται αναλυτικά το υπάρχον σύστημα κατανομής χρονοπαραθύρων στην Ευρώπη και αλλού (π.χ. Αμερική), οι αδυναμίες του και οι προτάσεις που έχουν γίνει για την αναθεώρησή του. Παρά την τρέχουσα οικονομική κρίση, η επιβατική κίνηση αναμένεται να αυξηθεί την επόμενη δεκαετία κάτι το οποίο θα δημιουργήσει επιπλέον πρόβλημα χωρητικότητας στα ήδη συμφορημένα αεροδρόμια. Νέες υποδομές δεν είναι εύκολο να κατασκευαστούν για πολλούς λόγους (οικονομικοί, περιβαλλοντικοί κτλ), οπότε αναζητούνται τα προβλήματα από το έλλειμμα σωστής διαχείρισης και κατανομής των χρονοπαραθύρων των αεροδρομίων. Ειδικότερα, μελετάται η περίπτωση των ελληνικών αεροδρομίων που παρουσιάζουν έντονα χαρακτηριστικά συμφόρησης τους θερινούς μήνες και μάλιστα σε συγκεκριμένες ώρες και ημέρες. Για την πιο ακριβή ανάλυση της κατάστασης μελετώνται τα χαρακτηριστικά κίνησης του κρατικού αερολιμένα Ηρακλείου (ΚΑΗΚ), αναλύοντας την προέλευση των αεροπορικών εταιρειών και το δίκτυό τους σε συνδυασμό με τις παραβιάσεις χρονοπαραθύρων που γίνονται. Η στατιστική ανάλυση δείχνει πως υπάρχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των δικτύων, του στόλου αλλά και των προγραμμάτων πτήσεων των εταιρειών (ειδικά αυτών που σχετίζονται μόνο με ναυλωμένες πτήσεις αναψυχής) τα οποία συμβάλλουν στο πρόβλημα της συμφόρησης. Τέλος, προτείνεται ένας ευφυής αλγόριθμος (αναζήτηση αρμονίας, harmony search) κατάλληλα τροποποιημένος, ώστε να βρίσκει το βέλτιστο αριθμό χρονοπαραθύρων που πρέπει να διατίθενται σε κάθε χρονική περίοδο, λαμβάνοντας υπ’ όψιν τις ιστορικές καθυστερήσεις που εμφανίζονται σε κάθε χρονική περίοδο. Η υλοποίηση του αλγορίθμου έγινε σε γλώσσα MATLAB και η εφαρμογή του για το αεροδρόμιο του Ηρακλείου φαίνεται ενθαρρυντική για τη βελτίωση της συμφόρησης. Ο αλγόριθμος καταδεικνύει πως η ύπαρξη περιόδων απορρόφησης των καθυστερήσεων (που προκαλούνται είτε γενικά είτε από παραβιάσεις χρονοπαραθύρων) μπορεί να λειτουργήσει θετικά για τη βελτίωση της μέσης καθυστέρησης των πτήσεων τόσο σε ένα αεροδρόμιο με εποχική κίνηση όσο και σε ένα αεροδρόμιο με 24ωρη ζήτηση κοντά στη χωρητικότητα.	
Λέξεις Κλειδιά:	<<συμφόρηση αεροδρομίων, κατανομή χρονοπαραθύρων αεροδρομίων, αλγόριθμος αναζήτησης αρμονίας>>

Synopsis	
Title:	“Determining optimum airport slot allocation utilizing harmony search algorithm ”
Name:	Spanakis Gerasimos
Supervisor:	Voula Psaraki – Kalouptsidi, Assistant Professor NTUA
This diploma thesis deals with the problems arising from current airport slots distribution system. Initially, the existing system of allocating airport slots in Europe and elsewhere is studied presenting its weaknesses and suggestions made for revision. Despite the current economic crisis, passenger traffic is expected to grow over the next decade, which will lead to additional capacity scarcity in the already congested airports. New infrastructure cannot easily be built for many reasons (economic, environmental, etc.), so solution is requested through the more efficient management and allocation of airport slots. In particular, we study the case of Greek airports which are heavily congested during summer months (and especially on specific hours and days). For a more accurate analysis, the case of Heraklion airport is examined. Airport’s traffic data such as origin of airlines and their networks in conjunction with airport slots violations are studied in order to identify the causes of congestion problem. Statistical analysis of airport’s traffic data reveals that there are specific characteristics of airlines’ networks, fleets and schedules (especially of charter airlines operating to leisure destinations) which worsen the congestion problem. Finally, the diploma thesis proposes an intelligent meta-heuristic algorithm (Harmony Search) in order to find the optimum number of airport slots to be made available for allocation per time period, taking into account the historical delays that occur in each time period. The proposed algorithm was developed in MATLAB framework and its application at Heraklion airport seems to improve airport performance measures. The algorithm results show that retaining a number of slots for absorbing delays (caused by slot violations or other reasons) mitigates mean flight delay both at an airport with seasonal traffic and at an airport with 24 hour demand close to capacity.	
Keywords:	<<airport congestion, airport slot allocation, harmony search algorithm>>

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τα ακόλουθα πρόσωπα:

- Την **επίκουρη καθηγήτρια Βούλα Ψαράκη-Καλουπτσίδη** για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την καθοδήγηση σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της και την αποδοτική συνεργασία μας.
- Τον καθηγητή **Αντώνιο Σταθόπουλο** και τον αναπληρωτή καθηγητή **Αθανάσιο Μπαλλή** για τις χρήσιμες επισημάνσεις τους και τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.
- Τους **γονείς μου** για όλη την υποστήριξή τους στη διάρκεια των σπουδών μου στο Πολυτεχνείο.
- Τους **φίλους μου και τα αγαπημένα μου πρόσωπα** για όλη τη στήριξή τους.

Γεράσιμος Σπανάκης

Αθήνα, Ιούλιος 2012

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	8
1.1	Γενικά.....	8
1.2	Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	9
1.3	Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας	10
2	Συστήματα κατανομής χρονοπαραθύρων και προβλήματα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα 12	
2.1	Γενικά - Ορισμοί.....	12
2.2	Ισχύων κανονισμός κατανομής χρονοπαραθύρων.....	13
2.2.1	<i>Αεροδρόμια εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης</i>	<i>13</i>
2.2.2	<i>Αεροδρόμια Ευρωπαϊκής Ένωσης.....</i>	<i>15</i>
2.2.3	<i>Προτεινόμενη αλλαγή του κανονισμού (2011).....</i>	<i>16</i>
2.3	Αδυναμίες τρέχοντος συστήματος κατανομής χρονοπαραθύρων.....	17
2.3.1	<i>Ιδιοκτησιακό καθεστώς των χρονοπαραθύρων</i>	<i>17</i>
2.3.2	<i>Ανταλλαγές χρονοπαραθύρων</i>	<i>18</i>
2.3.3	<i>Υπο-χρησιμοποίηση χρονοπαραθύρων</i>	<i>19</i>
2.3.4	<i>Αδράνεια συστήματος κατανομής χρονοπαραθύρων</i>	<i>19</i>
2.3.5	<i>Χρονοπαράθυρα τις ώρες αιχμής.....</i>	<i>20</i>
2.3.6	<i>Λοιπά προβλήματα</i>	<i>21</i>
2.4	Προτάσεις για την αντιμετώπιση των προβλημάτων από την κατανομή χρονοπαραθύρων	22
2.4.1	<i>Τιμολόγηση συμφόρησης</i>	<i>22</i>
2.4.2	<i>Κληρώσεις για τις δεξαμενές χρονοπαραθύρων</i>	<i>23</i>
2.4.3	<i>Περιορισμός πτήσεων υψηλής συχνότητας με μικρά αεροσκάφη</i>	<i>23</i>
2.4.4	<i>Δευτερογενής (εμπορική) ανταλλαγή χρονοπαραθύρων.....</i>	<i>23</i>
2.4.5	<i>Πρωτογενής εμπορία – Δημοπρασίες χρονοπαραθύρων.....</i>	<i>25</i>
3	Έλλειψη χωρητικότητας ή έλλειμμα διαχείρισης;	28
3.1	Περιγραφή του χάσματος ζήτησης και χωρητικότητας	28
3.2	Προτεινόμενες τεχνικές διαχείρισης ζήτησης.....	32

3.2.1	<i>Αναθεώρηση όρων κατανομής χρονοπαραθύρων.....</i>	32
3.2.2	<i>Διαχειριστικές τεχνικές κατανομής αριθμού χρονοπαραθύρων</i>	33
3.3	Το πρόβλημα των ελληνικών αεροδρομίων.....	36
3.3.1	<i>Γενικά για τα ελληνικά αεροδρόμια.....</i>	36
3.3.2	<i>Χαρακτηριστικά εποχικής κίνησης.....</i>	39
4	Ανάλυση κατανομής χρονοπαραθύρων στα ελληνικά αεροδρόμια: Η περίπτωση του ΚΑΗΚ	43
4.1	Στοιχεία χωρητικότητας αερολιμένα ΚΑΗΚ.....	44
4.2	Κατανομή χρονοπαραθύρων στον ΚΑΗΚ.....	45
4.2.1	<i>Ποια χρονοπαραθύρα θέλουν οι αεροπορικές εταιρείες και ποια τελικά χρησιμοποιούν</i>	46
4.3	Ανάλυση προορισμών ΚΑΗΚ	50
4.4	Παραβάσεις χρήσης χρονοπαραθύρων στον ΚΑΗΚ	53
4.4.1	<i>Είδος και πλήθος παραβάσεων χρονοπαραθύρων.....</i>	53
4.4.2	<i>Χαρακτηριστικά εταιρειών που παραβιάζουν χρονοπαραθύρα.....</i>	55
4.5	Ο ρόλος των δικτύων των αεροπορικών εταιρειών στην κατανομή των χρονοπαραθύρων	57
4.5.1	<i>Παραδείγματα δικτύων αεροπορικών εταιρειών</i>	57
4.5.1.1	<i>Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Monarch (Αγγλία)</i>	57
4.5.1.2	<i>Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Hamburg Airways (Γερμανία)</i>	59
4.5.1.3	<i>Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Nord Wind Airlines (Ρωσία)</i>	60
4.5.1.4	<i>Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Livingston (Ιταλία).....</i>	61
4.5.1.5	<i>Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Air Méditerranée (Γαλλία)</i>	62
4.5.2	<i>Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά δικτύου αεροπορικών εταιρειών</i>	63
4.6	Ο ρόλος των προγραμμάτων πτήσεων των αεροπορικών εταιρειών στην κατανομή χρονοπαραθύρων	65
4.6.1	<i>Ενδεικτικό πρόγραμμα εταιρείας με βάση τη Γερμανία</i>	66
4.6.2	<i>Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας με βάση την Αγγλία.....</i>	67
4.6.3	<i>Συμπεράσματα από τον προγραμματισμό πτήσεων των εταιρειών.....</i>	71
5	Ο αλγόριθμος αναζήτησης αρμονίας (Harmony Search, HS) για την εύρεση της βέλτιστης κατανομής χρονοπαραθύρων	72
5.1	Γενικά.....	72
5.2	Περιγραφή αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας.....	73

5.2.1	<i>Βήμα 1 αλγορίθμου HS: Αρχικοποίηση</i>	77
5.2.2	<i>Βήμα 2 αλγορίθμου HS: Αρχικοποίηση μνήμης αρμονίας</i>	77
5.2.3	<i>Βήμα 3 αλγορίθμου HS: Αυτοσχεδιασμός αρμονίας</i>	78
5.2.4	<i>Βήμα 4 αλγορίθμου HS: Ενημέρωση μνήμης HM</i>	79
5.2.5	<i>Βήμα 5 αλγορίθμου HS: Επανάληψη βημάτων 3 και 4 μέχρι το κριτήριο τερματισμού</i>	79
5.2.6	<i>Παράδειγμα εφαρμογής αλγορίθμου HS</i>	79
5.3	Προσαρμογή αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας για τον καθορισμό του βέλτιστου αριθμού χρονοπαραθύρων	82
5.3.1	<i>Σχεδιασμός αντικειμενικής συνάρτησης αξιολόγησης κατανομής χρονοπαραθύρων</i>	83
5.3.2	<i>Επιλογή εύρους τιμών αριθμού χρονοπαραθύρων ανά περίοδο</i>	88
5.3.3	<i>Παράμετροι αλγορίθμου HS για την περίπτωση του προβλήματος των χρονοπαραθύρων</i>	89
5.4	Πειραματικά αποτελέσματα	90
5.4.1	<i>Προσομοίωση 1 (24ωρη περίοδος με ρεαλιστικά όρια χρονοπαραθύρων)</i>	90
5.4.2	<i>Προσομοίωση 2: 24ωρη περίοδος με ευέλικτα όρια χρονοπαραθύρων</i>	92
5.4.3	<i>Προσομοίωση 3: 24ωρη περίοδος με αυξημένες απαιτήσεις κίνησης</i>	95
6	Συμπεράσματα - Προτάσεις	97
6.1	Συμπεράσματα	97
6.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	100
	Βιβλιογραφία	101

Κατάλογος Σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 2.1: ΑΠΟΔΟΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΤΗΣ ΕΕ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ ΣΤΑ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΑ (ΠΗΓΗ [50])	21
ΣΧΗΜΑ 2.2: ΑΠΟΔΟΣΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΤΗΣ ΕΕ ΠΟΥ ΕΞΥΠΗΡΕΤΕΙ ΚΥΡΙΩΣ ΠΤΗΣΕΙΣ ΑΝΑΨΥΧΗΣ (ΠΗΓΗ [50])	21
ΣΧΗΜΑ 3.1: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΙΤΗΜΑΤΩΝ, ΑΝΑΘΕΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΣΕ ΕΝΑ ΠΛΗΡΩΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΟ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΈΝΩΣΗΣ	30
ΣΧΗΜΑ 3.2: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΜΕ ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΤΡΟΠΟ (LGA)	34
ΣΧΗΜΑ 3.3: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΒΑΣΕΙ ΑΝΤΑΜΟΙΒΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ (LGA)	35
ΣΧΗΜΑ 3.4: ΕΞΕΛΙΞΗ ΕΠΙΒΑΤΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ (1990-2010)	38
ΣΧΗΜΑ 3.5: ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ (1990-2010)	39
ΣΧΗΜΑ 3.6: ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ-ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ 2010	40
ΣΧΗΜΑ 3.7: ΕΠΙΒΑΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ 2010	41
ΣΧΗΜΑ 3.8: ΕΠΙΒΑΤΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ 2010	41
ΣΧΗΜΑ 3.9: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (2009-2012)	42
ΣΧΗΜΑ 4.1: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΚΑΗΚ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΚΥΡΙΑΚΗ (2009-2012)	46
ΣΧΗΜΑ 4.2: ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΑ ΚΥΡΙΑΚΗΣ 7 ΚΑΙ 14/8/2011 ΚΑΗΚ	48
ΣΧΗΜΑ 4.3: ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙΣΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΣΤΟΝ ΚΑΗΚ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΔΕΥΤΕΡΑ (1997-2011)	49
ΣΧΗΜΑ 4.4: ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΕΙΣΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΣΤΟΝ ΚΑΗΚ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ (1997-2011)	50
ΣΧΗΜΑ 4.5: ΧΑΡΤΗΣ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΠΡΟΟΡΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΚΑΗΚ	52
ΣΧΗΜΑ 4.6: ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ MONARCH	58
ΣΧΗΜΑ 4.7: ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ HAMBURG AIRWAYS	60
ΣΧΗΜΑ 4.8: ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ NORD WIND AIRLINES	60
ΣΧΗΜΑ 4.9: ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ LIVINGSTON	62
ΣΧΗΜΑ 4.10: ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ AIR MEDITERRANEE	63
ΣΧΗΜΑ 4.11: ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ 5 ΠΟΛΕΩΝ ΤΩΝ 5 ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΧΩΡΩΝ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΗΚ	64
ΣΧΗΜΑ 4.12: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΥΝΣΤΕΡ (FMO)	66
ΣΧΗΜΑ 4.13: ΠΤΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΛΟΝΔΙΝΟ (LGW)	68
ΣΧΗΜΑ 4.14: ΠΤΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΜΑΝΤΣΕΣΤΕΡ (MAN)	68
ΣΧΗΜΑ 4.15: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΦΙΞΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΩΝ ΠΤΗΣΕΩΝ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΑΠΟ ΜΠΕΡΜΙΝΓΧΑΜ	70
ΣΧΗΜΑ 5.1: ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟ ΜΟΥΣΙΚΟ ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	74
ΣΧΗΜΑ 5.2: ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΝΗΜΗΣ ΑΡΜΟΝΙΑΣ (HARMONY MEMORY, HM)	75
ΣΧΗΜΑ 5.3: ΒΗΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΑΡΜΟΝΙΑΣ	77
ΣΧΗΜΑ 5.4: Η ΙΔΕΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΡΜΟΝΙΑΣ	78
ΣΧΗΜΑ 5.5: ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΛΑΤΗΣ ΚΑΜΗΛΑΣ	80
ΣΧΗΜΑ 5.6: ΜΕΣΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΠΤΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΚΑΗΚ ΤΗΝ ΗΜΕΡΑ ΚΥΡΙΑΚΗ	84
ΣΧΗΜΑ 5.7: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ (ΒΑΣΕΙ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ)	85
ΣΧΗΜΑ 5.8: ΨΕΥΔΟΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗΣ ΛΟΓΩ ΕΠΑΝΑΚΑΤΑΝΟΜΗΣ	87

ΣΧΗΜΑ 5.9: ΕΙΚΟΝΑ ΤΗΣ ΜΝΗΜΗΣ ΗΜ ΜΕΤΑ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	90
ΣΧΗΜΑ 5.10: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΒΑΣΕΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ HS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΑ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΑ ΚΑΙ ΜΕ ΤΑ ΑΡΧΙΚΩΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΑ	91
ΣΧΗΜΑ 5.11: ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΒΑΣΕΙ HS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ	91
ΣΧΗΜΑ 5.12: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΔΟ 10	93
ΣΧΗΜΑ 5.13: ΜΕΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΠΤΗΣΕΩΝ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΔΟ 10	93
ΣΧΗΜΑ 5.14: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΔΟ 0	94
ΣΧΗΜΑ 5.15: ΜΕΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΠΤΗΣΕΩΝ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΔΟ 0	95
ΣΧΗΜΑ 5.16: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΖΗΤΗΣΗΣ	95

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΚΑΙ ΛΟΙΠΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ (ΠΗΓΗ [50])	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ (2012-2018)	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: ΧΡΗΣΗ 13 ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ (2003)	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3: ΤΑΣΕΙΣ ΟΣΩΝ ΑΦΟΡΑ ΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΕΠΙΒΑΤΩΝ, ΑΡΙΘΜΟ ΠΤΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ ΤΩΝ ΗΠΑ	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4: ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ La Guardia ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5: ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6: ΚΙΝΗΣΗ 10 ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ 2010	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (2006).....	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΕΠΙΣΗΜΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΣΤΟΝ ΚΑΗΚ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΤΡΑΕΤΙΑ 2009-2012	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΧΩΡΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΚΑΗΚ (2011)	51
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΟΡΙΣΜΩΝ ΜΕ ΤΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΑ	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: ΚΥΡΙΟΙ ΠΡΟΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΚΑΗΚ	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6: ΠΑΡΑΒΑΣΕΙΣ ΧΡΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΓΙΑ ΚΥΡΙΑΚΗ 7 ΚΑΙ 14/8/2011 ΚΑΗΚ.....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΤΑΙΡΕΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΑΝ ΠΑΡΑΒΑΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΤΙΣ ΚΥΡΙΑΚΕΣ 7 ΚΑΙ 14/8/2011	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΑΒΑΣΕΩΝ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΑ ΑΙΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 01-14/08/2011 ΚΑΗΚ	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΕΡΟΠΟΡΙΚΩΝ ΕΤΑΙΡΕΙΩΝ.....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10: ΠΤΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΑΠΟ ΜΠΕΡΜΙΝΓΧΑΜ	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ HS ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΛΑΤΗΣ ΚΑΜΗΛΑΣ.....	80
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ HS ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΠΛΑΤΗΣ ΚΑΜΗΛΑΣ	81
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3: ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ ΑΡΜΟΝΙΑΣ ΣΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ..	82
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4: ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΔΟ.....	88
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ HS ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ	89
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6: ΜΕΣΗ ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΗ ΠΤΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΕΠΙΤΥΓΧΑΝΕΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ HS ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΧΡΟΝΟΠΑΡΑΘΥΡΩΝ	92

1

Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Οι αεροπορικές μεταφορές αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της οικονομίας. Για παράδειγμα στην Ευρώπη, υπάρχουν πάνω από 130 αεροπορικές εταιρείες που εξυπηρετούν ένα δίκτυο 450 αεροδρομίων. Η αεροπορική βιομηχανία απασχολεί περισσότερα από 3 εκατομμύρια εργαζομένους στην Ευρωπαϊκή Ένωση και τα αεροδρόμια από μόνα τους συνεισφέρουν περισσότερα από 120 δισεκατομμύρια ευρώ στο Ευρωπαϊκό ΑΕΠ.

Η απελευθέρωση του κλάδου των αερομεταφορών στην Ευρώπη σε συνδυασμό με την άνθηση της οικονομίας οδήγησε σε μεγάλη αύξηση στην κίνηση (σχεδόν τριπλασιάστηκε από 1980 έως το 2010) ενώ από το 1992 (έτος έναρξης της απελευθέρωσης) ο αριθμός των ενδο-ευρωπαϊκών δρομολογίων αυξήθηκε πάνω από 150%.

Μοιραία, η μεγάλη αύξηση της κίνησης οδηγεί σε χάσμα ανάμεσα στη ζήτηση και τη χωρητικότητα των διαθέσιμων υποδομών, κάτι το οποίο εξελίσσεται σε στενωπό για την περαιτέρω αύξηση της κίνησης. Υπολογίζεται πως αν δεν αυξηθούν οι τρέχουσες υποδομές (δηλαδή δε βρεθεί τρόπος ικανοποιητικής αύξησης της χωρητικότητας των αεροδρομίων), περισσότερα από 60 Ευρωπαϊκά αεροδρόμια θα αντιμετωπίσουν προβλήματα βαριάς συμφόρησης ενώ τα 20 πιο μεγάλα αεροδρόμια θα παραμένουν κορεσμένα περισσότερες από 12 ώρες τη μέρα έως το 2025 [24]. Παρόλη την τρέχουσα αρνητική οικονομική συγκυρία, τα νούμερα αυτά εξακολουθούν να παραμένουν ανησυχητικά ακόμα και αν επαληθευτούν σε

μικρό ποσοστό τους. Τέτοιο είδος συμφόρησης μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ανταγωνιστικότητα όλης της Ευρωπαϊκής οικονομίας με πλήθος αρνητικών επιδράσεων και σε άλλους τομείς (όπως το περιβάλλον ή η ασφάλεια πτήσεων).

Οι νέες υποδομές αεροδρομίων που μπορούν να εξυπηρετήσουν την υπερβάλλουσα ζήτηση (αεροσταθμοί, διάδρομοι, δάπεδα στάθμευσης), πέραν του ότι κοστίζουν σημαντικά, είναι και εξαιρετικά χρονοβόρες στη διαδικασία κατασκευής (χρειάζονται αρκετά χρόνια για το σωστό σχεδιασμό αλλά και για την ίδια την κατασκευή). Επομένως, γίνεται κατανοητό πως χρειάζεται να αναπτυχθούν τεχνικές διαχείρισης της ζήτησης και καλύτερης αξιοποίησης (ει δυνατόν στο μέγιστο) των τρεχουσών υποδομών.

Ειδικά για τα ελληνικά αεροδρόμια, η ορθή χρήση των τρεχουσών υποδομών θεωρείται το κλειδί της αποφυγής συμφορήσεων μιας και η ζήτηση συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένες ημέρες και ώρες και μόνο κατά τους θερινούς μήνες.

Εργαλεία διαχείρισης της συμφόρησης μπορούν να είναι οι ποσοτικοί περιορισμοί στη ζήτηση ή ακόμη και η “επιθετική” τιμολόγηση των δημοφιλών ωρών άφιξης/αναχώρησης. Τόσο οι τεχνικές αυτές όσο και το ίδιο το σύστημα διαχείρισης των χρονοπαραθύρων των αεροδρομίων παραμένουν αμφιλεγόμενα από όλους τους εμπλεκόμενους στην αεροπορική βιομηχανία.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη μελέτη των τεχνικών κατανομής χρονοπαραθύρων στα Ευρωπαϊκά αεροδρόμια και ειδικότερα στην Ελληνική επικράτεια. Τα ελληνικά αεροδρόμια έχουν την ιδιαιτερότητα πως παρουσιάζουν συμφόρηση μόνο κατά τους θερινούς μήνες και πιο συγκεκριμένα σε ορισμένες ημέρες και ώρες. Οι δείκτες καθυστέρησης αυξάνονται μαζί με την ταλαιπωρία των επιβατών (και τις οικονομικές ζημιές των εταιρειών). Αντίθετα, το υπόλοιπο έτος τα ελληνικά αεροδρόμια συνήθως υπολειτουργούν.

Σε μια περίοδο οικονομικά δύσκολη, είναι φανερό πως η κατασκευή περισσότερων υποδομών στα αεροδρόμια της χώρας που θα αξιοποιούνται μόνο κατά τις λίγες περιόδους της συμφόρησης και θα υπολειτουργούν τις υπόλοιπες, είναι πέραν από ακριβή και αναποτελεσματική. Αντίθετα, η ορθότερη διαχείριση των υποδομών ενός αεροδρομίου μέσα από την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων και των εναλλακτικών που παρέχονται, μπορεί να βοηθήσει ξεκάθαρα στη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών και στη μείωση της συμφόρησης.

Στα πλαίσια της εργασίας μελετήθηκε το πλαίσιο λειτουργίας των ελληνικών αεροδρομίων και πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε ένα αεροδρόμιο με μεγάλη κίνηση και συνήθη προβλήματα

συμφόρησης κατά τους θερινούς μήνες, το αεροδρόμιο “Νίκος Καζαντζάκης” του Ηρακλείου. Αναζητώντας τις αιτίες της περιστασιακής συμφόρησης του αεροδρομίου, εξετάζονται τόσο οι αρχικά κατανεμημένες κινήσεις (αφίξεις / αναχωρήσεις αεροσκαφών) όσο και αυτές που πραγματοποιήθηκαν τελικά. Εντοπίζονται οι αποκλίσεις και αναλύεται η σχέση τους σε σχέση με τα αιτήματα που είχαν καταθέσει οι εταιρείες. Η προσέγγιση που ακολουθείται προχωρά ακόμη παραπέρα αναλύοντας τα χαρακτηριστικά των εταιρειών που επιχειρούν προς/από το Ηράκλειο και πώς σχετίζονται με τις αποκλίσεις από τις αρχικά κατανεμημένες ώρες άφιξης/αναχώρησης. Η ανάλυση καλύπτει το στόλο των αεροσκαφών των εταιρειών, το δίκτυο αεροδρομίων που εξυπηρετούν (και πώς σχετίζεται το Ηράκλειο με αυτό) όπως επίσης και το πρόγραμμα πτήσεων. Αναδεικνύεται η ιδιαιτερότητα των πτήσεων αναψυχής που πραγματοποιούνται από εταιρείες ναυλωμένων πτήσεων καθώς και τα προβλήματα που δημιουργούνται.

Τέλος, η διπλωματική εργασία προτείνει ένα μηχανισμό διαχείρισης της συμφόρησης των πτήσεων μέσω της κατανομής περιορισμένων χρονοπαραθύρων στις χρονικές περιόδους που παρατηρούνται συγκεντρώσεις πολλών κινήσεων (αφίξεων και αναχωρήσεων) κατά παράβαση των πραγματικών αναθέσεων. Για το λόγο αυτό αξιοποιείται ο αλγόριθμος της Αναζήτησης Αρμονίας (Harmony Search, HS) με κατάλληλη τροποποίηση και προσαρμογή, μέσω του οποίου αποδεικνύεται (με προσομοιώσεις) πως με την προτεινόμενη μεθοδολογία η συμφόρηση είναι μικρότερη και αντίστοιχα οι καθυστερήσεις.

1.3 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία αποτελείται από 5 ακόμη κεφάλαια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το ισχύον πλαίσιο κατανομής χρονοπαραθύρων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η κριτική που έχει γίνει και οι όποιες προτάσεις βελτίωσης έχουν παρουσιαστεί έως σήμερα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η άποψη ότι τα σημερινά προβλήματα της συμφόρησης των αεροδρομίων δεν έχουν να κάνουν με την έλλειψη χωρητικότητας αλλά με την απουσία στρατηγικών διαχείρισης των χρονοπαραθύρων ενώ γίνεται και μία εισαγωγή στον πρόβλημα των ελληνικών αεροδρομίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο επιχειρείται λεπτομερής παρουσίαση της κατάστασης στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου αναλύοντας τις ιδιαιτερότητες της συμφόρησης που παρατηρείται και εντοπίζοντας τις αιτίες της.

Στο πέμπτο κεφάλαιο έχοντας ως εφόδιο την ανάλυση που έγινε για το αεροδρόμιο του Ηρακλείου αξιοποιείται ο ευφυής αλγόριθμος Αναζήτησης Αρμονίας (Harmony Search, HS) για να αναπτυχθεί ένα εργαλείο διαχείρισης της συμφόρησης στα ελληνικά αεροδρόμια.

Παρουσιάζονται αναλυτικά οι παράμετροι και οι δυνατότητες που προσφέρονται καθώς και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που έγιναν.

Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο συγκεντρώνονται και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, αξιολογούνται τα αποτελέσματα και εξετάζονται μελλοντικές επεκτάσεις.

2

Συστήματα κατανομής χρονοπαραθύρων και προβλήματα στην Ευρώπη και στην Ελλάδα

2.1 Γενικά - Ορισμοί

Το *χρονοπαράθυρο* (slot) ενός αεροδρομίου εισήχθη ως έκφραση της χωρητικότητας του αεροδρομίου στα τέλη της δεκαετίας του 1960 με στόχο την αντιμετώπιση προβλημάτων συμφόρησης και καθυστερήσεων. Ορίζεται ως η άδεια που δίνεται σε κάποιο αερομεταφορέα να χρησιμοποιήσει όλο το εύρος των υποδομών του αεροδρομίου για να εκτελέσει μία πτήση σε μια συγκεκριμένη ημέρα και ώρα τόσο για την άφιξη όσο και για την αναχώρηση.

Τα αεροδρόμια χαρακτηρίζονται ως *συντονισμένα* (coordinated) όταν έπειτα από μία διαδικασία έρευνας και παρατήρησης με όλους τους εμπλεκόμενους χρήστες, εταιρείες και ρυθμιστές, υπάρχει διαπιστωμένη δυσκολία στη διαχείριση των χρονοπαραθύρων του αεροδρομίου και γι' αυτό το λόγο ορίζεται κάποιος *συντονιστής* (slot coordinator) που θα διευκολύνει την επιχειρησιακή λειτουργία του αεροδρομίου.

Πλήρως συντονισμένο (fully coordinated, Επίπεδο 3) (κατά τους κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης) καλείται το αεροδρόμιο στο οποίο προκειμένου να προσγειωθεί ή να

απογειωθεί ένα αεροσκάφος, είναι απαραίτητο για την εταιρεία που πετάει το συγκεκριμένο αεροσκάφος να έχει κατανεμηθεί χρονοπαράθυρο από το συντονιστή.

Αντίστοιχα, υπάρχουν και αεροδρόμια με διευκολύνσεις στον προγραμματισμό (*schedules facilitated airports, Επίπεδο 2*), για τα οποία ο συντονιστής επικουρεί τον προγραμματισμό των εταιρειών στο εν λόγω αεροδρόμιο (επί της ουσίας δεν υπάρχουν περιορισμοί στις ώρες δρομολόγησης).

Σε αεροδρόμια που η ζήτηση δεν υπερβαίνει τη χωρητικότητα του αεροδρομίου (Επίπεδο 1) δεν υπάρχει ανάγκη συντονισμού πτήσεων.

Στο Κεφάλαιο αυτό γίνεται ανάλυση της ισχύουσας νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης αλλά και αναφορά σε παγκόσμια δεδομένα, εντοπίζονται τα προβλήματα που απορρέουν από τον Κανονισμό αλλά και από την εμπειρική παρατήρηση της εφαρμογής του και παρατίθενται οι προτάσεις που υπάρχουν για τη βελτίωσή του.

2.2 Ισχύων κανονισμός κατανομής χρονοπαραθύρων

2.2.1 Αεροδρόμια εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης

Εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης η κατανομή χρονοπαραθύρων γίνεται από τις ίδιες τις εταιρείες βάσει των οδηγιών που συντάσσονται από το Διεθνή Οργανισμό Αεροπορικών Μεταφορών (International Air Transport Association, IATA) ¹.

Το κυριότερο πλαίσιο ελέγχου κατανομής χρονοπαραθύρων καθιερώθηκε το 1994 από τη Σύμβαση του Σικάγο για τη Διεθνή Πολιτική Αεροπορία². Το άρθρο 1 της Σύμβασης αναφέρει πως κάθε χώρα έχει “πλήρη και αποκλειστική κυριότητα στον εναέριο χώρο της και την επικράτεια”. Το άρθρο 6 δεν επιτρέπει καμία προγραμματισμένη πτήση να εκτελεστεί πάνω από κάποια χώρα (υπερπτήση) ή σε αεροδρόμιο της χώρας αυτής, εκτός αν έχει δοθεί ειδική εξουσιοδότηση από τη χώρα αυτή. Τα εκτός-ΕΕ δρομολόγια συνήθως αδειοδοτούνται από τις κυβερνήσεις σε διμερή βάση. Τα τελευταία χρόνια η ΕΕ έχει αναλάβει τέτοιες συνεννοήσεις εκ μέρους όλων των χωρών-μελών. Παράλληλα, οι εταιρείες πρέπει να διαπραγματευτούν τα επιθυμητά χρονοπαράθυρα στα αεροδρόμια προς και από τα οποία θα πετάξουν (βάσει των διακρατικών συμφωνιών).

Η αυτό-ρύθμιση των εταιρειών στο ζήτημα των χρονοπαραθύρων είναι η παραδοσιακή και πιο διαδεδομένη προσέγγιση εκτός των Η.Π.Α. προκειμένου να κατανεμηθούν

¹ <http://www.iata.org/whatwedo/passenger/scheduling/Pages/index.aspx>

² <http://www.icao.int/publications/pages/doc7300.aspx>

χρονοπαράθυρα στους διαδρόμους και στους αεροσταθμούς ανάμεσα σε εταιρείες. Αυτό περιλαμβάνει δύο βήματα:

- παγκόσμιο συντονισμό των προγραμμάτων πτήσεων στις δύο ετήσιες συναντήσεις της IATA και
- τοπικό συντονισμό στα διάφορα αεροδρόμια μέσω των αντίστοιχων τοπικών επιτροπών.

Συνήθως όλες οι εταιρείες που επιχειρούν από ένα αεροδρόμιο είναι μέλη της αντίστοιχης επιτροπής συντονισμού. Η επιτροπή αυτή είναι υπεύθυνη ώστε μαζί με την IATA να αναπτύσσει οδηγίες και να ενημερώνει το συντονιστή του αεροδρομίου. Ο στόχος των συνεδρίων της IATA (δύο μέσα σε κάθε έτος ένα για κάθε περίοδο, χειμερινή και θερινή) έχει σαν στόχο την επιδίωξη της μέγιστης συμφωνίας ανάμεσα στις εταιρείες και τους συντονιστές αεροδρομίων ανά τον κόσμο. Συνήθως συμμετέχουν περισσότεροι από 650 αντιπρόσωποι. Οι εταιρείες συναντούν τους αντίστοιχους συντονιστές των αεροδρομίων που επιθυμούν να πετάξουν και εξετάζουν τη δυνατότητα της επιθυμητής τους δρομολόγησης.

Κατά τη διαδικασία κατανομής χρονοπαραθύρων οι γενικοί κανόνες είναι:

- ιστορικό προηγούμενο ή ιστορικά δικαιώματα (grandfather rights): μια εταιρεία μπορεί να κρατήσει ένα χρονοπαράθυρο που χρησιμοποίησε στην αντίστοιχη προηγούμενη χρονική περίοδο
- κανόνας “use it or lose it”: αν μια εταιρεία δεν εκτελέσει ένα συγκεκριμένο ποσοστό των χρονοπαραθύρων της σε ένα αεροδρόμιο μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, τότε της αφαιρείται και δίνεται αλλού
- προτεραιότητα για τακτικές πτήσεις: αν υπάρχει υπερβάλλουσα ζήτηση, τότε τα διαθέσιμα χρονοπαράθυρα κατανέμονται στην εταιρεία που θα τις χρησιμοποιήσει πιο συχνά. Οι πτήσεις που καλύπτουν μεγαλύτερη χρονική διάρκεια έχουν μεγαλύτερη προτίμηση σε σχέση με αυτές μικρότερης διάρκειας (π.χ. μία πτήση όλο το χρόνο έχει προτεραιότητα έναντι μιας πτήσης που εκτελείται μόνο καλοκαίρι και πτήσεις που εκτελούνται όλες τις μέρες της εβδομάδας έχουν προτεραιότητα έναντι πτήσεων που εκτελούνται μόνο Σαββατοκύριακο).

Κατόπιν αφού η επιτροπή έχει αναθέσει χρονοπαράθυρα στις εταιρείες βάσει αυτών των κανόνων, οι εταιρείες μπορούν να ανταλλάξουν χρονοπαράθυρα μεταξύ τους. Μια εταιρεία μπορεί να κάνει χρήση των χρονοπαραθύρων της όπως επιθυμεί (π.χ. αλλάζοντας μία πτήση από εσωτερικού σε εξωτερικού ή μετατρέποντας μία προγραμματισμένη πτήση σε ναυλωμένη).

Το σύστημα αυτό επιτρέπει την ελάχιστη γραφειοκρατία και τη μέγιστη ευελιξία. Οι εταιρείες έχουν τη δυνατότητα να λύσουν τις τυχόν διαφορές τους σε κλίμα συμβιβαστικό και εκτός

εξωτερικών παρεμβάσεων. Βέβαια, αυτομάτως ένα τέτοιο σύστημα γίνεται αυξητικά μη-ανταγωνιστικό (καλό για τις εταιρείες, κακό για τους επιβάτες) ενώ τα χρονοπαράθυρα στις περιόδους αιχμής εξαντλούνται.

Αξίζει να σημειωθεί πως τα συντονισμένα αεροδρόμια στις Η.Π.Α. είναι μόλις έξι: Τα τρία αεροδρόμια της περιοχής της Νέας Υόρκης (La Guardia, JFK, Newark), τα αεροδρόμια της Washington (D.C., Ronald Reagan) και το αεροδρόμιο O'Hare του Σικάγο.

2.2.2 Αεροδρόμια Ευρωπαϊκής Ένωσης

Ο Κανονισμός 95/93 [25] της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την κατανομή χρονοπαράθρων, όπως ανανεώθηκε από τους Κανονισμούς 894/2002 [26], 1554/2003 και 793/2004 [27] διαμορφώνουν τη νομική βάση της ισχύουσας διαδικασίας κατανομής χρονοπαράθρων.

Έκτοτε έχουν γίνει δύο αναφορές της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σε σχέση με την εφαρμογή του Κανονισμού που έχει οδηγήσει σε δύο συμπληρώσεις: Communication COM(2007) 704 και Communication COM(2008) 227. Έχει εκδοθεί και μία επιπλέον οδηγία, η Communication COM(2006) 819 που σχετίζεται περισσότερο με τη χωρητικότητα του αεροδρομίου και την αποδοτικότητα αλλά ασχολείται ελάχιστα με τα χρονοπαράθυρα.

Επίσης, έχουν γίνει και προσωρινές τροποποιήσεις των δύο άρθρων λόγω της τρέχουσας οικονομικής κρίσης. Ο Κανονισμός 545/2009 ίσχυσε μόνο για τη χειμερινή περίοδο 2009-10. Πιο πρόσφατα, η Επιτροπή πρότεινε τον Κανονισμό 2009/0176(COD), που προτείνει ένα νέο κανονισμό που θα αντικαταστήσει όλες τις προηγούμενες νομοθετικές πράξεις. Παρόλα αυτά, το μόνο που κάνει είναι να συνενώνει όλες τις πράξεις σε μία, για απλότητα και σαφήνεια χωρίς να τροποποιεί καθόλου το περιεχόμενο.

Οι κυριότερες πλευρές του Κανονισμού όπως εφαρμόζεται σήμερα είναι οι ακόλουθες:

- Αναγνώριση της αρχής των “ιστορικών χρονοπαράθρων” (όπως περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο),
- Αναγνώριση των κανόνων που καθιερώθηκαν από την IATA και αφορούν την περίοδο χρήσης των χρονοπαράθρων και τον επαναπρογραμματισμό ήδη υπαρχόντων χρονοπαράθρων για συγκεκριμένους λόγους, στα οποία δίνεται προτεραιότητα έναντι νέων αιτημάτων,

- Εφαρμογή του κανόνα “use-it-or-lose-it”: Υπάρχει απαίτηση από τις εταιρείες να χρησιμοποιήσουν τα χρονοπαράθυρα τους τουλάχιστον κατά 80% (γνωστός και ο κανόνας “80-20”) για τη συγκεκριμένη περίοδο (με συγκεκριμένες εξαιρέσεις) αλλιώς τους αφαιρούνται και επιστρέφονται στο αεροδρόμιο,
- Δημιουργία μιας “δεξαμενής χρονοπαραθύρων” (slot pool) στην οποία τοποθετούνται: τα τυχόν νέα χρονοπαράθυρα (λόγω αύξησης των υποδομών), χρονοπαράθυρα που επιστρέφονται από τις εταιρείες είτε οικειοθελώς είτε λόγω απώλειας (κανόνας “use-it-or-lose-it”, χρονοπαράθυρα που δεν διεκδικούνται μέσω “ιστορικών δικαιωμάτων”,
- Κατανομή του 50% των χρονοπαραθύρων της δεξαμενής σε νέες εταιρείες, εκτός αν ζητηθούν λιγότερες.

2.2.3 Προτεινόμενη αλλαγή του κανονισμού (2011)

Το Δεκέμβριο του 2011 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δημοσίευσε το “Better Airports Package” [28]. Η Επιτροπή κατέληξε έπειτα από έρευνα πως το ισχύον σύστημα κατανομής χρονοπαραθύρων εμποδίζει τη βέλτιστη χρήση της περιορισμένης χωρητικότητας των συνωστισμένων αεροδρομίων. Βάσει αυτού του σκεπτικού, η Επιτροπή προτείνει αλλαγές στον ισχύοντα Κανονισμό, με στόχο την εισαγωγή μηχανισμών αγοράς στα χρονοπαράθυρα, δεδομένου όμως πως θα υπάρχουν δικλίδες ασφαλείας που θα εξασφαλίζουν τη διαφάνεια και τον υγιή ανταγωνισμό, δίνοντας μεγαλύτερη ανεξαρτησία στους συντονιστές χρονοπαραθύρων. Επιθυμητό αποτέλεσμα είναι τα χρονοπαράθυρα να δοθούν σε εταιρείες που θα κάνουν την καλύτερη χρήση τους.

Στο πνεύμα αυτό, και έχοντας κατά νου πως η κατανομή χρονοπαραθύρων δε δημιουργεί νέα χωρητικότητα αλλά μπορεί να κατανείμει τις τρέχουσες υποδομές πιο αποτελεσματικά, η Επιτροπή προτείνει τέσσερις αλλαγές:

- Εισάγεται η πιθανότητα δευτερογενούς ανταλλαγής χρονοπαραθύρων και αυξημένου ανταγωνισμού: Η πρόταση αυτή επιτρέπει ρητά στις εταιρείες να αγοράζουν και να πουλάνε χρονοπαράθυρα. Η “κινητικότητα” των χρονοπαραθύρων θα επιτρέψει στις εταιρείες να προσαρμόσουν τις ανάγκες των χρονοπαραθύρων τους βάσει των αναγκών τους, ενώ θα βοηθήσει τις νέες εταιρείες να αναπτυχθούν,
- Ενδυνάμωση της διαφάνειας στη διαδικασία κατανομής χρονοπαραθύρων και της ανεξαρτησίας των συντονιστών: Ανάλογα με την πρόοδο που θα επιτευχθεί, θα

μπορούσε να εξεταστεί και η δυνατότητα δημιουργίας ενός ευρωπαϊκού συντονιστή για όλα τα αεροδρόμια της Ευρωπαϊκής Ένωσης,

- Ενσωμάτωση της κατανομής χρονοπαραθύρων με την αλλαγή του συστήματος διαχείρισης του Ευρωπαϊκού εναέριου χώρου: Η πρόταση αυτή θα συσχετίσει τη Διαχείριση του Ευρωπαϊκού Δικτύου με την κατανομή χρονοπαραθύρων και θα μπορεί για παράδειγμα να επιτρέψει από κοινού αναλύσεις χωρητικότητας τόσο για αεροδρόμια όσο και για αεροδιαδρόμους,
- Βελτίωση του κανόνα “80-20” στα ιστορικά χρονοπαράθυρα: Η πρόταση αυξάνει το ποσοστό χρήσης των χρονοπαραθύρων (ώστε να είναι διαθέσιμες για την ίδια εταιρεία και την επόμενη χρονική περίοδο) σε 85%. Παράλληλα, ο ελάχιστος αριθμός εβδομαδιαίων χρονοπαραθύρων που θα απαιτείται ώστε να παραμείνει το χρονοπαράθυρο στην εταιρεία, αυξάνεται από 5 σε 15 για τη θερινή περίοδο και σε 10 για τη χειμερινή. Επίσης, εξουσιοδοτούνται τα αεροδρόμια να επιβάλουν χρεώσεις στις εταιρείες που επιστρέφουν καθυστερημένα χρονοπαράθυρα στη δεξαμενή.

Η πρόταση ενδέχεται να έρθει προς συζήτηση στο δεύτερο εξάμηνο του 2012.

2.3 Αδυναμίες τρέχοντος συστήματος κατανομής

χρονοπαραθύρων

Ο ισχύων κανονισμός παρουσιάζει ορισμένες δυσχέρειες που αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

2.3.1 Ιδιοκτησιακό καθεστώς των χρονοπαραθύρων

Οι περισσότερες εταιρείες αντιμετωπίζουν τα χρονοπαράθυρα ως ιδιοκτησίες τους, αλλά ο νόμιμος ιδιοκτήτης έως σήμερα δεν είναι σίγουρος. Τα αεροδρόμια μπορούν να ισχυριστούν πως τα χρονοπαράθυρα είναι ιδιοκτησία τους, καθώς οι διάδρομοι, τα δάπεδα στάθμευσης και οι αεροσταθμοί ανήκουν στο αεροδρόμιο. Οι κυβερνήσεις επίσης μπορούν να ισχυριστούν ότι τα χρονοπαράθυρα είναι ιδιοκτησία τους, αφού η χρήση του εναέριου χώρου μιας χώρας καταλήγει να είναι ζήτημα κυριαρχικών δικαιωμάτων. Οι εταιρείες απ’ την άλλη, έχουν καταβάλει προσπάθειες και έχουν επενδύσει σε αγορά αεροσκαφών και έναρξη δρομολογίων και καθώς οι κανόνες κατανομής χρονοπαραθύρων τους δίνουν το δικαίωμα της επαναλαμβανόμενης χρήσης επομένως πρέπει να δικαιούνται αποζημίωσης σε περίπτωση αύξησης της αξίας των χρονοπαραθύρων τους.

2.3.2 Ανταλλαγές χρονοπαραθύρων

Επίσημα δεν υπάρχει πλαίσιο για την ανταλλαγή χρονοπαραθύρων με χρηματικό αντίτιμο, αλλά τέτοιες ανταλλαγές γίνονται εδώ και πολλά χρόνια (αυτός είναι ίσως και ο λόγος που η Επιτροπή θέλει να ενεργοποιήσει και επίσημα μηχανισμούς δευτερογενούς ανταλλαγής χρονοπαραθύρων) [12].

Στην Ευρώπη, τα πιο πολύτιμα χρονοπαράθυρα είναι αυτά στο αεροδρόμιο Heathrow του Λονδίνου. Η πρώτη φορά που εγκρίθηκε μία τέτοια ανταλλαγή ήταν ανάμεσα στη British Airways και την KLM το 1999 [1]. Οι πρώτες μεγάλες ανταλλαγές έναντι χρημάτων έγιναν όταν η United και η American αγόρασαν τα χρονοπαράθυρα των Pan-Am και TWA στο Λονδίνο. Το 2004, η εταιρεία FlyBe πούλησε 6 ζεύγη καθημερινών πτήσεων (συνολικά 84 χρονοπαράθυρα) προς/από το Heathrow για περίπου 40 εκατομμύρια λίρες [2]. Το 2007, η British Airways αγόρασε 102 χρονοπαράθυρα από τη BMI έναντι 30 εκατομμυρίων λιρών [3]. Τον Ιούνιο 2009 επιβεβαιώθηκε πως η γερμανική Lufthansa αγόρασε τη βρετανική BMI έναντι 223 εκατομμυρίων λιρών σε μια συμφωνία που περιλάμβανε και το 11% των χρονοπαραθύρων του Heathrow που ήλεγχε η BMI και πλέον η Lufthansa είχε στην κατοχή της το 16% των χρονοπαραθύρων του δημοφιλέστου αεροδρομίου [4]. Την ίδια περίοδο η ημεδαπή Aegean Airlines εξασφάλιζε από τη BMI (και λόγω της συνεργασίας της Aegean με τη Lufthansa) 2 ζεύγη πτήσεων στο Heathrow (μεταφέροντας τις επιχειρήσεις της εκεί από το Stansted). Αντίστοιχα, το Μάρτιο 2011 η Olympic Air μεταβίβασε τα χρονοπαράθυρα της στο Heathrow και στο Charles de Gaulle του Παρισιού στην Aegean Airlines έναντι ποσού 22 εκατομμυρίων ευρώ. Πρόσφατα, υπάρχει διχογνωμία για τη μεταβίβαση της BMI (ελεγχόμενης από τη Lufthansa) στον όμιλο IAG (International Airlines Group). Ο όμιλος IAG ελέγχει τη British Airways, όμως αυτό δεν εμπόδιζε την Ευρωπαϊκή Επιτροπή να εγκρίνει τη μεταβίβαση στις 30 Μαρτίου 2012, υποχρεώνοντας όμως την IAG να επιστρέψει 14 ζεύγη χρονοπαραθύρων στο Heathrow [25]. Η συγκεκριμένη μεταβίβαση δίνει στην IAG τον έλεγχο σε πάνω από τα μισά χρονοπαράθυρα του Heathrow.

Στις ΗΠΑ, η κυβέρνηση Bush ξεκίνησε μία πρωτοβουλία το 2008 για τη δημοπρασία ποσού 10% στα 3 βασικά αεροδρόμια της Νέας Υόρκης (89 χρονοπαράθυρα στο αεροδρόμιο Kennedy (JFK), 113 χρονοπαράθυρα στο La Guardia (LGA) και 81 χρονοπαράθυρα στο Newark (EWR)) [5]. Η πρόταση αυτή αντιμετωπίστηκε με έντονη κριτική από τις εταιρείες, τα αεροδρόμια και όλες τις διάφορες ενώσεις σχετιζόμενες με τις αερομεταφορές. Το Μάιο του 2009 η διακυβέρνηση Obama μέσω της Γραμματέως Μεταφορών Ray LaHood, ακύρωσε το προτεινόμενο σχέδιο δημοπρασίας [58].

2.3.3 Υπο-χρησιμοποίηση χρονοπαραθύρων

Υπό τον παρόντα Κανονισμό, οι εταιρείες δε χρεώνονται για χρονοπαράθυρα που τους έχουν κατανεμηθεί αλλά δε χρησιμοποιούνται. Σε κάθε περίπτωση οι εταιρείες οφείλουν να επιστρέψουν τα χρονοπαράθυρα αυτά στο συντονιστή (έως τις 31/1 για τη θερινή περίοδο και έως τις 31/8 για τη χειμερινή περίοδο) αλλά στα περισσότερα αεροδρόμια, μη συμμόρφωση με τις εν λόγω ημερομηνίες δεν επιφέρει κάποια ποινή.

Πολλά από τα χρονοπαράθυρα που δε χρησιμοποιούνται διέπονται από “ιστορικά δικαιώματα”. Υπό τον κανόνα “80-20” οι εταιρείες χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν μόνο το 80% της σειράς των χρονοπαραθύρων τους. Η στενή παρακολούθηση αυτού του κανόνα δεν καταγράφει απαραίτητα την ώρα της πτήσης, επομένως οι εταιρείες μπορεί να κάνουν κατάχρηση του κανόνα πραγματοποιώντας την πτήση σε άλλη ώρα, αξιοποιώντας όμως τελικά το χρονοπαράθυρο.

Ένας άλλος παράγοντας που οδηγεί σε υπο-χρησιμοποίηση χρονοπαραθύρων έχει να κάνει με το κατά πόσον οι εταιρείες τα αξιοποιούν στο μέγιστο. Για παράδειγμα, αναθέτοντας ένα χρονοπαράθυρο σε μια πτήση με μεγάλα κέρδη για την εταιρεία είναι πιο αποδοτικό από την κατανομή σε μία πτήση με χαμηλό κέρδος. Αντίστοιχα, στην περίπτωση ίσων κερδών, η κατανομή σε μια εταιρεία με αποτελεσματικό κόστος είναι πιο αποδοτική. Αντίστοιχα, πτήσεις με περισσότερους επιβάτες (άρα μεγαλύτερα αεροσκάφη), παρέχουν μεγαλύτερα οφέλη έναντι πτήσεων που πετούν με χαμηλότερες πληρότητες και μικρότερα αεροσκάφη.

2.3.4 Αδράνεια συστήματος κατανομής χρονοπαραθύρων

Είναι επιτακτικό να εξεταστεί σε ποιο βαθμό αλλάζουν οι χρήστες χρονοπαραθύρων από περίοδο σε περίοδο σε αεροδρόμια που αντιμετωπίζουν διαφορετικούς βαθμούς συμφόρησης. Αυτό προ βίλει όλους το υ τύπο υ αλλαγών που μπο ρεί να συμβούν εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα και κατάλληλα χρονοπαράθυρα. Τα στοιχεία αυτά φαίνονται στον Πίνακα 2.1. Σε αεροδρόμια με μεγάλη κίνηση σε όλη τη διάρκεια της μέρας (όπως LHR, FRA, ORY) το 93% των χρονοπαραθύρων διέπονται από ιστορικά δικαιώματα. Περίπου το ένα τρίτο αυτών των πτήσεων έχουν αλλάξει σε σχέση με τον προηγούμενο χρόνο, ως αποτέλεσμα επαναπρογραμματισμών των εταιρειών ή αλλαγής μεγέθους αεροσκαφών.

	Αεροδρόμια με μικρή κίνηση	Αεροδρόμια με μεγάλη κίνηση σε ώρες αιχμής	Αεροδρόμια με μεγάλη κίνηση όλη τη διάρκεια της ημέρας
Ιστορικά χρονοπαράθυρα	45%	48%	62%
Μεταβιβάσεις ιστορικών χρονοπαραθύρων	30%	30%	31%
Σύνολο ιστορικών χρονοπαραθύρων	75%	78%	93%
Λοιπά χρονοπαράθυρα	25%	22%	7%
Συνολικό ποσοστό χρονοπαραθύρων	100%	100%	100%

Πίνακας 2.1: Αναλογία ιστορικών χρονοπαραθύρων και λοιπών σε διάφορες κατηγορίες Ευρωπαϊκών αεροδρομίων (Πηγή [50])

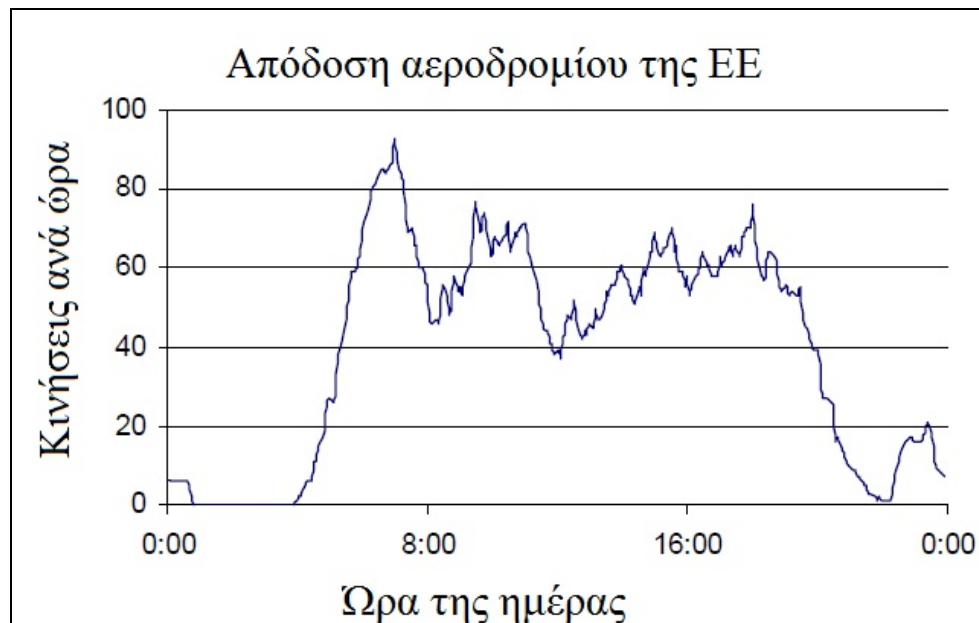
Επίσης, φαίνεται πως η αναλογία χρονοπαραθύρων από ιστορικά δικαιώματα είναι υψηλότερη ακόμη και σε αεροδρόμια με μεγάλη κίνηση μόνο στις αιχμές ή ακόμα και με μικρή κίνηση. Από την ανάλυση αυτή φαίνεται πως νέες εταιρείες είναι εύκολο να εξασφαλίσουν χρονοπαράθυρα μόνο σε αεροδρόμια με χαμηλή κίνηση.

2.3.5 Χρονοπαράθυρα τις ώρες αιχμής

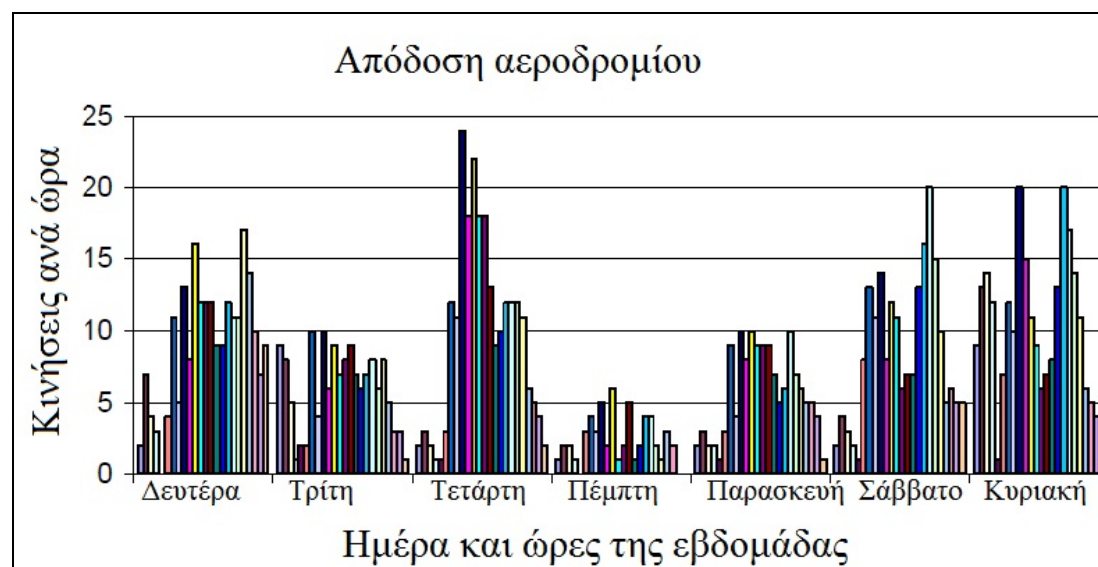
Στα περισσότερα αεροδρόμια υπάρχει υπερβάλλουσα ζήτηση στις περιόδους αιχμής, ενώ υπάρχει διαθέσιμη χωρητικότητα σε ώρες εκτός αιχμής. Αυτό είναι μια μορφή αναποτελεσματικότητας του παρόντος συστήματος κατανομής χρονοπαραθύρων αφού οι χρεώσεις σε ώρες μη-αιχμής θα τείνουν να ξεπεράσουν το οριακό κόστος για την πραγματοποίηση μιας πτήσης αποθαρρύνοντας έτσι εταιρείες που θα το επιχειρούσαν. Επίσης, οδηγεί στην ελάχιστη αξιοποίηση των υποδομών του αεροδρομίου.

Εδώ εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης μηχανισμών αγοράς ώστε να θεωρηθούν πιο ελκυστικά πακέτα χρονοπαραθύρων σε ώρες μη-αιχμής. Σίγουρα είναι δαπανηρό για τις εταιρείες να επαναπρογραμματίσουν πτήσεις σε άλλες ώρες αλλά σίγουρα είναι κάτι που μπορεί να γίνει, όπως φαίνεται και από αεροδρόμια που έχουν μεγάλη κίνηση σε όλη τη διάρκεια της μέρας (όπως το Heathrow, Gatwick, Linate, Frankfurt). Το πρόβλημα γίνεται πιο κατανοητό μέσω των δύο Σχημάτων που ακολουθούν και δείχνουν τη χωρητικότητα διαδρόμου για ένα αεροδρόμιο της ΕΕ και τη χωρητικότητα ενός αεροδρομίου (με προσανατολισμό σε πτήσεις

αναψυχής) όπου φαίνεται η υπο-χρησιμοποίηση του αεροδρομίου τις ημέρες Τρίτη και Τετάρτη και συνωστισμό την Τετάρτη και το Σαββατοκύριακο.



Σχήμα 2.1: Απόδοση χωρητικότητας αεροδρομίου της ΕΕ με περιορισμούς στα χρονοπαράθυρα (Πηγή [50])



Σχήμα 2.2: Απόδοση χωρητικότητας αεροδρομίου της ΕΕ που εξυπηρετεί κυρίως πτήσεις αναψυχής (Πηγή [50])

2.3.6 Λοιπά προβλήματα

Επίσης, έχουν αναφερθεί και διάφορα άλλα προβλήματα που συνοψίζονται παρακάτω:

- Πολλοί συντονιστές πτήσεων δε μπορούν να λειτουργήσουν πλήρως ανεξάρτητα

- Τα ζητήματα κατανομής χρονοπαραθύρων εξακολουθούν να μην παραμένουν πλήρως διαφανή
- Μερικές τοπικές οδηγίες δε συμφωνούν με την Ευρωπαϊκή Νομοθεσία
- Οι ανταλλαγές χρονοπαραθύρων έναντι οικονομικών αποζημιώσεων αυξάνεται και η Κοινοτική Νομοθεσία δεν ελέγχει τέτοιες χρηματικές συναλλαγές
- Χρειάζεται καλύτερος έλεγχος ώστε να διαπιστώνεται πως οι εταιρείες τηρούν τις αναθέσεις χρονοπαραθύρων που τους έχει γίνει
- Οι περισσότεροι εμπλεκόμενοι, εκτός από τις παραδοσιακές εταιρείες (που έχουν και μεγάλο έλεγχο ιστορικών χρονοπαραθύρων), θεωρούν πως ο κανόνας των νέων εταιρειών δεν προάγει τον ανταγωνισμό

2.4 Προτάσεις για την αντιμετώπιση των προβλημάτων από την κατανομή χρονοπαραθύρων

Μια σειρά από μέτρα έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρατηρούνται από την κατανομή χρονοπαραθύρων και να δημιουργήσουν ένα καλύτερο και πιο αποδοτικό σύστημα διαχείρισής τους.

2.4.1 Τιμολόγηση συμφόρησης

Η διαφορετική τιμολόγηση των χρονοπαραθύρων της ώρας αιχμής [17] είναι ένας τρόπος να ελεγχθεί η ζήτηση χρονοπαραθύρων στις πιο δημοφιλείς ώρες και ημέρες [19][38][39][49]. Από τη δεκαετία του 1960 θεωρήθηκε ως ο πιο σίγουρος τρόπος μείωσης της συμφόρησης [15]. Το μόνο σίγουρο είναι πως εάν εφαρμοστεί κάποιο τέτοιο μέτρο, οι εταιρείες θα αντιταχθούν σφόδρα, καθώς θα ρυθμίζεται από τις αρχές των αεροδρομίων χωρίς κανένα άμεσο όφελος για τις εταιρείες. Αντίθετα, πολλοί ισχυρίζονται [55] πως αν επιβληθούν επιπλέον χρεώσεις στα χρονοπαραθύρα ωρών αιχμής, τότε πολλές εταιρείες που τις κατέχουν θα αναγκαστούν προκειμένου να διατηρήσουν τα ωράρια που τις εξυπηρετούν να μετακυλήσουν το κόστος στην τιμή του αεροπορικού εισιτηρίου. Αντίστοιχα, θα πρέπει να γίνει μείωση των χρεώσεων σε χρονοπαραθύρα εκτός αιχμής.

Μια άλλη παράμετρος είναι πως θα χρησιμοποιηθεί το οποιοδήποτε επιπλέον κέρδος (από τη διαφορετική τιμολόγηση). Οι περισσότεροι θεωρούν πως θα πρέπει να γίνεται επένδυση σε ενίσχυση της χωρητικότητας και σε περιβαλλοντικά έργα ώστε να μην είναι ακόμη ένα κόστος για τις εταιρείες χωρίς ανταπόδοση. Επιπλέον, εισάγονται και άλλες παράμετροι ανισοτήτων μεταξύ εταιρειών. Για παράδειγμα, μπορείς να επιβάλλεις τις ίδιες χρεώσεις για ώρες αιχμής σε εταιρείες που έχουν ως βάση ένα αεροδρόμιο, και επομένως έχουν

περισσότερα χρονοπαράθυρα; Μέχρι τώρα αρχές που επέβαλαν διαφορετική τιμολόγηση σε ώρες αιχμής είχαν αρνητικό αποτέλεσμα π.χ. η εταιρεία MassPort στο αεροδρόμιο της Βοστώνης Logan (BOS) μηνύθηκε από τις μικρές περιφερειακές εταιρείες που επιχειρούν προς/από το αεροδρόμιο ενώ η BAA στο Λονδίνο Heathrow μηνύθηκε από την αμερικανική κυβέρνηση.

Άλλο πρόβλημα είναι πως μία τιμολόγηση στις ώρες αιχμής, μπορεί να μετακινήσει αυτές τις αιχμές σε άλλες ώρες. Είναι γνωστό πως το όλο αεροπορικό οικοδόμημα (αεροπορικές εταιρίες – επιβάτες – αεροδρόμια) αλληλεπιδρά μέσω διαφόρων παραμέτρων, επομένως δεν αποκλείεται η διαφορετική τιμολόγηση σε ορισμένες ώρες να οδηγήσει σε ώρες αιχμής διαφορετικές.

2.4.2 Κληρώσεις για τις δεξαμενές χρονοπαράθυρων

Πρόκειται για μία τακτική που έχει εφαρμοστεί σε μερικά αμερικανικά αεροδρόμια [47]. Αν και ο σκοπός είναι προφανής (ίση αντιμετώπιση όλων των εταιρειών), τα μέσα εντούτοις είναι αρκετά απλοϊκά και δε λαμβάνουν υπ' όψιν τις ειδικές απαιτήσεις για την κατανομή χρονοπαράθυρων. Είναι αρκετά πιθανό μία “τυχαία” κατανομή χρονοπαράθυρων να οδηγήσει σε μια κατανομή που να απέχει πολύ από το βέλτιστο σε σχέση με μία απλή κατανομή (βάσει μερικών στοιχειωδών κανόνων).

2.4.3 Περιορισμός πτήσεων υψηλής συχνότητας με μικρά αεροσκάφη

Ένα τέτοιο μέτρο έχει εφαρμοστεί στο αεροδρόμιο του Ντίσελντορφ [50] και μπορεί να οδηγήσει σε συνολική αύξηση της χωρητικότητας επιβατών ενός αεροδρομίου αλλά δεν είναι κάποιο μέτρο που μπορεί να εφαρμοστεί καθολικά σε όλες τις αγορές.

2.4.4 Δευτερογενής (εμπορική) ανταλλαγή χρονοπαράθυρων

Πρόκειται για μία λύση που γενικά είναι αποδεκτή, κυρίως γιατί η ανταλλαγή χρονοπαράθυρων είναι όλο και πιο έντονη τον τελευταίο καιρό [48]. Μία τέτοια κίνηση βέβαια, θα έδινε ουσιαστικά την κυριότητα των χρονοπαράθυρων στις αεροπορικές εταιρείες (αφού θα είχαν το δικαίωμα να τις μεταβιβάζουν).

Η εμπορία χρονοπαράθυρων περιλαμβάνει όλο το πακέτο (ιστορικά δικαιώματα όπως και πρόσβαση σε όλες τις υπηρεσίες). Η ανταλλαγή αυτή θα οδηγήσει σε καλύτερη εξυπηρέτηση των αναγκών ζήτησης. Επί της ουσίας, οι εταιρείες θα αξιοποιούν καλύτερα τα χρονοπαράθυρα που θα έχουν αποκτήσει ενώ οι εταιρείες που δε χρησιμοποιούν χρονοπαράθυρα θα έχουν ένα κίνητρο να τα πουλήσουν (από το να τα κρατήσουν ακρησιμοποιήτα ή να τα εκτελούν μόνο και μόνο για να μην τα χάσουν).

Μία πρώτη πιθανή συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι πως θα εκλείψουν αεροπορικές συνδέσεις με μικρό κέρδος και μικρή επιβατική κίνηση, κάτι το οποίο θα οδηγήσει σε υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσιών σε μερικές περιοχές. Σε κάθε περίπτωση φαίνεται πως υπάρχει ομοθυμία σχετικά με τις συνέπειες της εισαγωγής δευτερογενούς εμπορίας χρονοπαραθύρων:

- Μετάβαση από πτήσεις μικρής διάρκειας σε πτήσεις μεγάλης διάρκειας καθώς οι εταιρείες θα προσπαθήσουν να μειώσουν το κόστος ανά επιβάτη. Οι πτήσεις μεγάλων αποστάσεων χρησιμοποιούν μεγαλύτερα αεροσκάφη και μεταφέρουν περισσότερους επιβάτες.
- Μετάβαση σε υψηλότερους δείκτες πληρότητας
- Μετάβαση σε ώρες μη-αιχμής και μη-συμφορημένα αεροδρόμια
- Πιο εντατική χρήση των χρονοπαραθύρων
- Αύξηση (γενικά) της επιβατικής κίνησης

Το πρόβλημα με τη δευτερογενή εμπορία χρονοπαραθύρων είναι πως μπορεί να έχει μη αναμενόμενα αποτελέσματα (ενώ θεωρητικά αναμένεται να λειτουργήσει άψογα). Υπάρχει πάντα ο κίνδυνος για τις εταιρείες που έχουν τη βάση τους σε κάποιο αεροδρόμιο να ενισχύσουν τη θέση τους εμποδίζοντας έτσι τον υγιή ανταγωνισμό. Παράδειγμα αυτής της συνέπειας είναι η British Airways στο Heathrow που προσπάθησε μέσα από αγορά χρονοπαραθύρων να ενισχύσει τη θέση της. Περισσότερο από 75% των ανταλλαγών χρονοπαραθύρων τα τελευταία χρόνια (με οικονομική αποζημίωση) αφορούσε αγορές χρονοπαραθύρων από τη British Airways. Κάτι τέτοιο είναι λογικό, καθώς μια εταιρεία που έχει βάση σε ένα συγκεκριμένο αεροδρόμιο, διατίθεται να πληρώσει πιο εύκολα προκειμένου να εμποδίσει ανταγωνιστές να εισέλθουν στη βάση της. Κάτι τέτοιο δεν είναι ιδιαίτερα εφικτό στα αμερικανικά αεροδρόμια (καθώς δεν υπάρχει απόλυτη κυριαρχία εταιρειών) αλλά είναι πολύ πιθανό να συμβεί στους μεγάλους ευρωπαϊκούς κόμβους. Απ' την άλλη, πολλοί υποστηρίζουν πως η ενίσχυση της θέσης μιας εταιρείας στο αεροδρόμιο-βάση της, θα οδηγήσει σε αύξηση των ταξιδιωτικών επιλογών και θα μειώσει τους χρόνους σύνδεσης ανάμεσα σε πτήσεις. Σε κάθε περίπτωση όμως, θα μειώσει τον ανταγωνισμό, κάτι το οποίο οδηγεί (συνήθως) σε υψηλότερους ναύλους.

Οι μηχανισμοί αγοράς γενικά εφαρμόζονται δύσκολα στα χρονοπαράθυρα αεροδρομίων, κυρίως λόγω της ετερογένειάς τους. Ένα χρονοπαράθυρο ενός αεροδρομίου σχετίζεται με μία συγκεκριμένη ώρα σε ένα συγκεκριμένο αεροδρόμιο και η αξία του είναι αρκετά διαφορετική για καθεμιά εταιρεία. Επίσης, υπάρχει μεγάλη συμπληρωματικότητα ανάμεσα σε χρονοπαράθυρα αφού οι εταιρείες απαιτούν χρονοπαράθυρα με αποδοτικούς χρόνους ανακύκλωσης (turn-around time) και κατάλληλους για πτήσεις με ανταπόκριση. Τέλος, είναι

πολύ δύσκολο για μία αεροπορική εταιρεία να αποτιμήσει την αξία της προσθήκης ή αφαίρεσης μιας συγκεκριμένης πτήσης, λόγω των πολλαπλών συνεπειών στο δίκτυο της αεροπορικής ζήτησης.

Η μεγάλη κινητικότητα των χρονοπαραθύρων (δηλαδή μεγάλες ανταλλαγές) θα δημιουργήσει πρόβλημα στις εταιρείες που θα δυσκολέψει τον προγραμματισμό και τις αποφάσεις τους. Αυτός είναι και ο κύριος τρόπος που οι εταιρείες θεωρούν πως οι μηχανισμοί αγοράς στα χρονοπαράθυρα θα αυξήσουν τα κόστη τους.

2.4.5 Πρωτογενής εμπορία – Δημοπρασίες χρονοπαραθύρων

Η δημοπρασία χρονοπαραθύρων είναι μία λύση ελκυστική στην περίπτωση που προκύπτει νέα χωρητικότητα σε ένα αεροδρόμιο (π.χ. μέσω νέων υποδομών) [23]. Φυσικά τα χρονοπαράθυρα αποτελούν αγαθά πολύ διαφορετικά από αυτά στα οποία συνήθως εφαρμόζονται δημοπρασίες και εισάγονται διάφοροι κίνδυνοι από την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος.

Πρώτη φορά προτάθηκαν οι δημοπρασίες για την κατανομή χρονοπαραθύρων προσγείωσης από τους Grether κ.α. [35], σε μία αναφορά που παραδόθηκε από το Συμβούλιο Πολιτικής Αεροπορίας και τη FAA αμέσως μετά την Απορρύθμιση των Αερομεταφορών στις ΗΠΑ στο 1978. Από τότε, οι δημοπρασίες χρονοπαραθύρων έχουν προταθεί εκτενώς από ακαδημαϊκούς ([9][46][52][62]) καθώς και από άλλο π παράγοντες όπως το Dot Econ Limited [23] υπογραμμίζοντας τα οφέλη από τις δημοπρασίες.

Όπως μπορεί κανείς να φανταστεί, υπάρχουν πολλά στοιχεία που πρέπει να κανείς να προσέξει σχεδιάζοντας και υλοποιώντας ένα σύστημα κατανομής χρονοπαραθύρων βάσει δημοπρασίας. Πιο συγκεκριμένα είναι απαραίτητο να καθοριστεί ο αριθμός των χρονοπαραθύρων προς δημοπρασία, ο ίδιος ο σχεδιασμός της δημοπρασίας (κανόνες, πολυπλοκότητα, οφέλη), τα εργαλεία των εμπλεκόμενων φορέων, η κυριότητα των χρονοπαραθύρων, ενδεχόμενες αποζημιώσεις εταιρειών που έχουν επενδύσει σε χρονοπαράθυρα στα προηγούμενα χρόνια κτλ.

Οι περισσότερες αεροπορικές εταιρείες καθώς και αρκετές εταιρείες διαχείρισης των αεροδρομίων έχουν αντισταχθεί στις δημοπρασίες αεροδρομίων. Ο κυριότερος λόγος είναι πως οι δημοπρασίες θεωρούνται ως μηχανισμοί ώστε να δημιουργηθούν συνθήκες μεταφοράς χρήματος στις κυβερνήσεις από τις εταιρείες [9]. Οι αεροπορικές εταιρείες από την άλλη απειλούνται επειδή θα πρέπει να πληρώσουν για χρονοπαράθυρα που υπό το παρόν σύστημα χρησιμοποιούν δωρεάν. Επιπλέον, υπάρχει πάντα το πρόβλημα των εταιρειών που έχουν ήδη για πολλά χρόνια το δικαίωμα χρήσης χρονοπαραθύρων και έχουν επενδύσει σε υποδομές του αεροδρομίου (ειδικά σε εγκαταστάσεις θυρών επιβίβασης/αποβίβασης και διαχείρισης αποσκευών) και έχουν π.χ. μακροχρόνια συμβόλαια μίσθωσης. Κατά βάση οι εταιρείες

ανησυχούν για την ανατροπή του μακροχρόνιου προγραμματισμού τους που ενδεχομένως να μην αναπληρώνεται από τυχόν αποζημιώσεις που μπορεί να λάβουν σε περίπτωση απώλειας χρονοπαραθύρων.

Ο αντίλογος στις παραπάνω ανησυχίες περιλαμβάνει τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Οι δημοπρασίες όντως δημιουργούν κέρδη αλλά όχι περισσότερα από τις τιμές αγοράς που σχετίζονται με τις υποδομές που δημοπρατούνται. Επιπλέον, το κέρδος αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ασφαλέστερη διαχείριση του αεροδρομίου ή ακόμα και για εργασίες επέκτασης των υποδομών του. Σε κάθε περίπτωση, η δημοπρασία πρέπει να σχεδιαστεί προσεκτικά με αποτελεσματικούς στόχους που δεν είναι απαραίτητα η μεγιστοποίηση του κέρδους, ώστε να ενθαρρυνθούν νέες αεροπορικές εταιρείες και να αποφευχθούν μονοπώλια. Τυπικά, το κέρδος μιας τέτοιας δημοπρασίας πρέπει να είναι το μικρότερο δυνατό ώστε να εξασφαλίσει το καλύτερο αποτέλεσμα (που στην περίπτωση που εξετάζεται είναι η αποδοτικότερη κατανομή χρονοπαραθύρων).
- Μία παράμετρος που μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν στις δημοπρασίες χρονοπαραθύρων είναι η αποζημίωση εταιρειών που παραδοσιακά κατείχαν χρονοπαράθυρα αλλά τις χάνουν λόγω της δημοπρασίας. Η αποζημίωση μπορεί να είναι χρηματική, ώστε να επιτρέψει στις εταιρείες είτε να συμμετέχουν στη δημοπρασία [8], είτε να επιτραπεί σε εταιρείες να ανταλλάσουν χρονοπαράθυρα (μετά τις δημοπρασίες). Εναλλακτικά, μια μορφή δημοπρασίας με ένα μικρό ποσοστό των χρονοπαραθύρων κάθε χρόνο θα μετρίαζε την πίεση προς τις εταιρείες.

Ερωτήματα που προκύπτουν σχετικά με τις δημοπρασίες είναι τα ακόλουθα:

- Πιθανή υπο-χρησιμοποίηση του αεροδρομίου: Σε αεροδρόμια συντονισμένα, η χωρητικότητα του αεροδρομίου λειτουργεί ως στενωπός για την απεριόριστη κατανομή χρονοπαραθύρων. Οι δημοπρασίες θα χρησιμοποιούσαν τα όρια αυτά αλλά η κατανομή θα γινόταν με εντελώς διαφορετικό τρόπο. Ποιος εξασφαλίζει πως αυτή η κατανομή θα είναι καλύτερη (από την τρέχουσα) και πως θα εξυπηρετήσει τις εταιρείες;
- Μείωση (ή όχι) της συμφόρησης: Οι δημοπρασίες έχουν σα στόχο την κατανομή (εκ νέου) χρονοπαραθύρων με τρόπο πιο αποδοτικό. Το επιχείρημα εδώ είναι πως αν οι δημοπρασίες δε λαμβάνουν υπ' όψιν τους παράγοντες καθυστερήσεων ή κόστους δεν οδηγούν σε μείωση της συμφόρησης σε σχέση με τα παραδοσιακά μέσα διαχείρισης. Αυτό μπορεί να είναι αληθές, αλλά έχει αποδειχθεί πως οι δημοπρασίες βοηθούν στην αύξηση του μεγέθους των αεροσκαφών αλλά και του αριθμού των επιβατών

που εξυπηρετούνται (ανά πτήση) οδηγώντας σε πιο αποτελεσματική χρήση των υποδομών του αεροδρομίου.

- Μείωση (ή όχι) του ανταγωνισμού: Σύμφωνα με διάφορες εργασίες [53], οι δημοπρασίες θα μειώσουν τον ανταγωνισμό καθώς μικρές εταιρείες δε θα μπορούν να πληρώσουν για τα χρονοπαράθυρα. Η θεωρία βέβαια λέει ακριβώς το αντίθετο. Η διαδικασία μιας δημοπρασίας είναι ανοικτή και διαφανής, επιτρέποντας σε όλες τις εταιρείες να συμμετάσχουν αντίθετα με το τρέχον σύστημα κατανομής χρονοπαράθυρων που θέτει εμπόδια στις νεοεισερχόμενες εταιρείες. Επιπλέον, όσο μια εταιρεία μπορεί να διαχειρίζεται σωστά τους πόρους της (π.χ. με χρήση μεγάλων αεροσκαφών ώστε να φέρνει περισσότερους επιβάτες), πετώντας σε αυτά τα συντονισμένα αεροδρόμια θα συνεχίσει να είναι μία κερδοφόρος επιχείρηση ή θα αναγκαστεί να αναπροσαρμόσει τις λειτουργίες της.
- Επιπτώσεις στις τιμές των εισιτηρίων: Οι επιβάτες αντιμετωπίζουν διάφορα κόστη κατά την αεροπορική τους μετακίνηση (κόστος εισιτηρίου, κόστος μετακίνησης, κόστος καθυστέρησης κτλ). Μέσω των δημοπρασιών υπάρχουν φόβοι πως το κόστος από την απόκτηση χρονοπαράθυρων θα οδηγήσει σε αύξηση των τιμών των εισιτηρίων (μετακύλιση δηλαδή του κόστους από τις εταιρείες). Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με τις τιμές του καυσίμου που όσο αυξάνονται, τόσο οι εταιρείες αυξάνουν τους επόναυλους λόγω καυσίμων.

Σίγουρα πολλά ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα. Είναι σίγουρο επίσης πως ένας απλός γύρος δημοπρασίας κατά πάσα πιθανότητα θα αποτύχει. Το αν μια εταιρεία θα καταθέσει προσφορά εξαρτάται από το κατά πόσον θεωρεί πιθανό να κερδίσει το ανάλογο χρονοπαράθυρο, έτσι μία απλή δημοπρασία (σε ένα γύρο) μπορεί να οδηγήσει σε κατανομές χρονοπαράθυρων άχρηστες για τις εταιρείες. Γι' αυτό το λόγο πολλοί υποστηρίζουν πως οι δημοπρασίες πρέπει να ακολουθούνται από μία διαδικασία δευτερογενούς εμπορίας, χωρίς όμως και πάλι να εξασφαλίζεται η βέλτιστη λύση.

Πολλοί θεωρούν πως μόνο οι δεξαμενές χρονοπαράθυρων πρέπει να βγαίνουν σε δημοπρασία, αλλά και πάλι αυτό δεν εξαλείφει κινδύνους όπως το να αγοράσουν κάποιες βασικές εταιρείες χρονοπαράθυρα για να εμποδίσουν τους ανταγωνιστές τους. Άλλη μία επιλογή που έχει προταθεί είναι να ανατίθενται τα χρονοπαράθυρα για ορισμένο χρονικό διάστημα (μαζί με όλους τους ισχύοντες κανόνες) και κατόπιν να τίθενται σε δημοπρασία. Μια τέτοια λύση θα ήταν μαζικά απορριπτέα από τις εταιρείες που δε θα μπορούσαν να κάνουν μακροπρόθεσμο προγραμματισμό. Τέλος, ένα ακόμη πρόβλημα που ανακύπτει είναι πως μέσω των δημοπρασιών, κανείς δε μπορεί να αποφύγει τις συνεννοήσεις εταιρειών ώστε να καθορίσουν τα ποσά των προσφορών.

3

Έλλειψη χωρητικότητας ή έλλειμμα διαχείρισης;

3.1 Περιγραφή του χάσματος ζήτησης και χωρητικότητας

Παρά την τρέχουσα ύφεση στην οικονομία, οι περισσότεροι οργανισμοί κάνουν λόγο για αύξηση της αεροπορικής κίνησης στην Ευρώπη (αρχικοί υπολογισμοί έκαναν λόγο για αύξηση 3.6% κάθε χρόνο από το 2002 έως το 2020). Σύμφωνα με ανανεωμένα στοιχεία του Eurocontrol [24] (τα οποία βέβαια προσαρμόζονται συνεχώς), το 2012 αναμένεται πτώση της κίνησης (μετρημένης σε κινήσεις αεροσκαφών) περίπου 1.3% (με απόκλιση 1%) αλλά από το 2013 αναμένεται μία σταδιακή ανάκαμψη (+1.5%). Από κει και πέρα αναμένεται αύξηση της τάξης του 3% ανά έτος. Παράλληλα, με την αύξηση της κίνησης, αναμένεται να αυξηθούν και οι καθυστερήσεις [57]. Υπολογίζεται πως για κάθε 1% αύξηση της κίνησης εναέριας κυκλοφορίας, παρατηρείται αύξηση 5% στις καθυστερήσεις των πτήσεων [54]. Συνοπτικά, τα στοιχεία αύξησης της κίνησης αεροσκαφών στην Ευρώπη φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα:

Έτος	Κινήσεις αεροσκαφών (‘000)	Ετήσια αύξηση
2006	9,561	3.70%
2007	10,043	5.00%
2008	10,083	0.40%
2009	9,413	-6.60%
2010	9,493	0.80%
2011	9,784	3.10%
2012	9,658	-1.30%
2013	9,803	1.50%
2014	10,078	2.80%
2015	10,372	2.90%
2016	10,686	3.00%
2017	11,002	3.00%
2018	11,305	2.80%

Πίνακας 3.1: Προβλέψεις κινήσεων αεροσκαφών στην Ευρώπη (2012-2018)

Η σημαντική αύξηση της κίνησης των προηγούμενων ετών (αλλά και η μελλοντική αναμενόμενη) οδηγεί σε προβλήματα συμφόρησης και καθυστερήσεων που με τη σειρά τους περιορίζουν τις δυνατότητες περαιτέρω αύξησης των κινήσεων και εξελίσσονται σε μείζον ζήτημα πολιτικής τόσο στην Ευρώπη όσο και σε άλλες αγορές (Αμερική, Ασία κτλ).

Από τα 50 μεγαλύτερα αεροδρόμια της Ευρώπης, περισσότερα από τα μισά υπολογίζεται πως έχουν ξεπεράσει ή αναμένεται να ξεπεράσουν τη χωρητικότητά τους και ορισμένα μόνο προγραμματίζουν νέες επεκτάσεις/υποδομές [23]. Ομοίως, [50] επισημαίνεται πως τα περισσότερα Ευρωπαϊκά αεροδρόμια υποφέρουν από υπερβάλλουσα ζήτηση τις ώρες αιχμής.

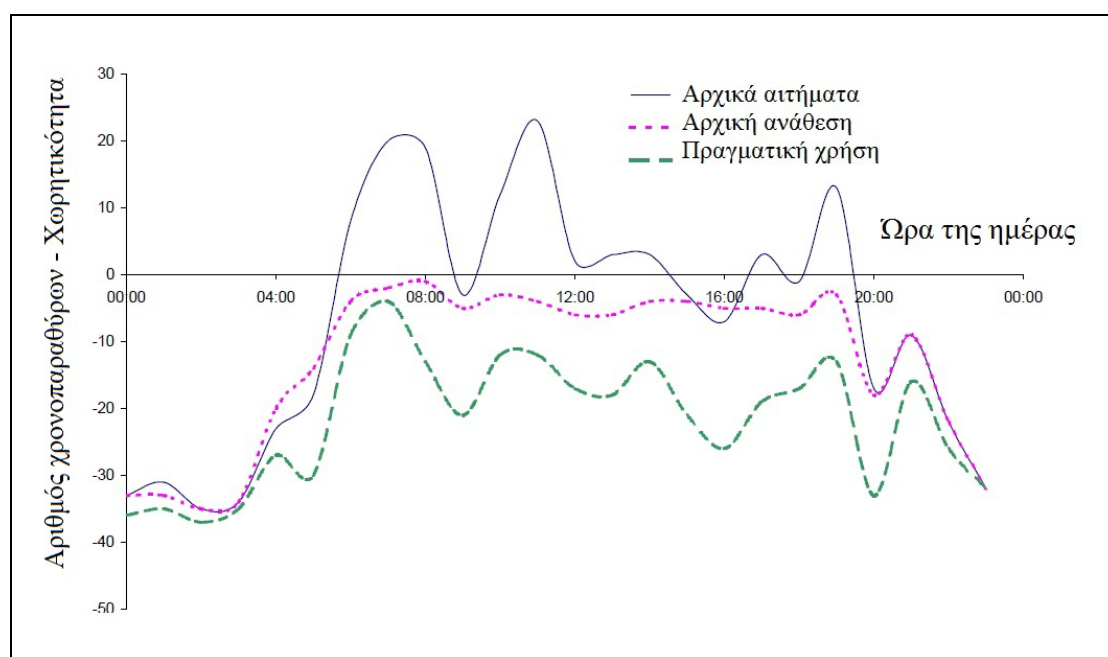
Η αυξανόμενη ανισορροπία μεταξύ χωρητικότητας και ζήτησης (με τα συνακόλουθα προβλήματα συμφόρησης και καθυστερήσεων) έχει προσελκύσει την προσοχή των διαφόρων εμπλεκομένων ώστε να αναθεωρήσουν τις τακτικές διαχείρισης της αεροπορικής κίνησης ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα έλλειψης χωρητικότητας. Η επιλογή της αύξησης της χωρητικότητας του αεροδρομίου (μέσω κατασκευής νέων υποδομών) πέραν του ότι είναι ακριβή (απαιτούνται δαπανηροί πόροι) και χρονοβόρα (μέχρι την ολοκλήρωση των εργασιών ενδεχόμενα να υπάρχουν άλλα δεδομένα κίνησης), δε λύνει το πρόβλημα μακροπρόθεσμα (με δεδομένο πως η ες αεί επέκταση δεν είναι εφικτή λόγω διαφόρων παραγόντων (φυσικοί περιορισμοί, πολιτικές αποφάσεις, περιβαλλοντικές επιπτώσεις).

Είναι αναγκαίο πως απαιτείται προσεκτική αξιολόγηση των τεχνικών διαχείρισης της ζήτησης ώστε να καλυφθεί το κενό ανάμεσα στην προσφορά (δηλαδή τη χωρητικότητα) και τη ζήτηση (δηλαδή την κίνηση) στις λιγοστές χρονοπαράθυρα των αεροδρομίων. Η

διαχείριση της ζήτησης αποτελεί θεμελιώδες εργαλείο για την αντιμετώπιση των προβλημάτων χωρητικότητας και καθυστέρησης γενικά στο σύστημα μεταφορών (και στα αεροδρόμια). Οι ερευνητές των αεροπορικών μεταφορικών συστημάτων έχουν εξετάσει διάφορες τεχνικές:

- Υλοποίηση τεχνικών τιμολόγησης στις ώρες αιχμής ([13][15][30][45][51]),
- Δευτερογενής εμπορία χρονοπαραθύρων και δημοπρασίες ([23][50][48][56]).

Οι τεχνικές αυτές παρουσιάστηκαν και στο προηγούμενο Κεφάλαιο. Παρόλη όμως τη διαχείριση εξακολουθεί να υπάρχει ένα κενό ανάμεσα στη ζήτηση και τη χωρητικότητα και είναι αξιοσημείωτο πως το κενό αυτό μεγαλώνει λόγω της μη σωστής διαχείρισης και κατανομής των χρονοπαραθύρων. Για παράδειγμα, στο Σχήμα 3.1 φαίνεται ένα παράδειγμα διαχείρισης χρονοπαραθύρων σε ένα πλήρως συντονισμένο αεροδρόμιο της ΕΕ. Φαίνεται πως τα αρχικά αιτήματα των εταιρειών ξεπερνούν κατά πολύ τη χωρητικότητα του αεροδρομίου (η διαφορά αριθμού χρονοπαραθύρων και πραγματικής χωρητικότητας είναι θετική) για αρκετές ώρες της μέρας (και ειδικά τις ώρες αιχμής). Η αρχική κατανομή που γίνεται προσπαθεί να εξομαλύνει την κίνηση ώστε να ικανοποιούνται οι περιορισμοί της χωρητικότητας. Η τελική (πραγματική) χρήση όμως φαίνεται πως βρίσκεται πολύ χαμηλότερα από τις κινήσεις που κατανεμήθηκαν αρχικά.



Σχήμα 3.1: Παράδειγμα αιτημάτων, αναθέσεων και πραγματικής χρήσης χρονοπαραθύρων σε ένα πλήρως συντονισμένο αεροδρόμιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Η παραπάνω παρατήρηση ενισχύεται και από στοιχεία που αφορούν στην κίνηση μερικών βασικών αεροδρομίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για το 2003 και φαίνονται στον Πίνακα 3.2.

Αεροδρόμιο	Επιβάτες (’000)	Ωραία Χωρητικότητα	Χρονοπαράθυρα που ανατέθηκαν (100%)	Χρονοπαράθυρα που ζητήθηκαν	Πραγματική κατάσταση
Κοπεγχάγη	9,068	83	184,763	103.70%	93.80%
Δουβλίνο	7,346	44	115,256	100.30%	88.70%
Ντίσελντορφ	7,300	38	129,468	107.30%	84.60%
Φρανκφούρτη	23,830	80	284,949	106.80%	95.60%
Λονδίνο LGW	14,760	46	177,211	134.30%	86.20%
Λονδίνο LHR	31,506	87	282,256	121.00%	97.30%
Λονδίνο STN	8,022	42	121,051	103.70%	86.20%
Μαδρίτη	17,024	78	253,875	108.50%	85.60%
Μιλάνο LIN	3,857	18	57,700	149.90%	85.30%
Μιλάνο MXP	7,701	70	164,937	104.70%	78.60%
Παρίσι CDG	23,347	97	361,552	113.90%	82.40%
Άμστερνταμ Στοκχόλμη ARN	20,366 8,228	106 76	275,000 172,900	106.60% 108.30%	88.60% 82.40%

Πίνακας 3.2: Χρήση 13 αεροδρομίων της Ευρώπης (2003)

Αιτίες των προβλημάτων αυτών είναι:

- Καθυστερημένες επιστροφές χρονοπαραθύρων [43]: Οι εταιρίες που τελικά δεν προτίθεται να χρησιμοποιήσουν τα χρονοπαράθυρα που τους έχουν κατανεμηθεί, πρέπει να τα επιστρέψουν εντός κάποιο χρονικού διαστήματος το οποίο συνήθως δεν τηρείται (αφού δεν υπάρχει και κάποιο πρόστιμο ή τιμωρία, όπως αναφέρθηκε και στην Παράγραφο 2.3.3). Η καθυστερημένη επιστροφή έχει σαν αποτέλεσμα να μην δίνεται δυνατότητα να δοθούν τα χρονοπαράθυρα αυτές σε άλλες εταιρείες (που έχουν ήδη κάνει τον προγραμματισμό τους)
- Μη εκτέλεση πτήσεων στο κατανεμηθέν χρονοπαράθυρο: Πολλές εταιρείες επιλέγουν τελικά να μην πραγματοποιήσουν πτήσεις στα συγκεκριμένα χρονοπαράθυρα (χωρίς καν να τα επιστρέψουν στο συντονιστή), άλλες δε επιλέγουν να χρησιμοποιήσουν διαφορετική ώρα της ημέρας (επειδή τους εξυπηρετεί καλύτερα).
- “Slot babysitting” : Πρόκειται για μία τακτική των εταιρειών να χρησιμοποιούν το χρονοπαράθυρο που τους έχει κατανεμηθεί με διαφορετικό τρόπο απ’ ότι παρουσιάστηκε κατά το αίτημα στο συντονιστή (και βάσει του οποίου της ανατέθηκε). Συνήθως περιλαμβάνει να επιχειρεί η εταιρεία με μικρότερο αεροσκάφος. Στόχος της εταιρείας είναι να πραγματοποιήσει το χρονοπαράθυρο κατά το ελάχιστο δυνατό ώστε να το διατηρήσει ιστορικά.

Είναι φανερό πως όλα τα παραπάνω προβλήματα εμποδίζουν το συντονιστή του αεροδρομίου να διαχειριστεί επαρκώς τη χωρητικότητα του αεροδρομίου και να αξιοποιήσει στο μέγιστο

τις δυνατότητές του. Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί διάφορες τεχνικές που διαχειρίζονται το χάσμα ανάμεσα στη ζήτηση και τη χωρητικότητα αλλά και τα προβλήματα που προκύπτουν από τη μη αποδοτική χρήση των χρονοπαραθύρων.

3.2 Προτεινόμενες τεχνικές διαχείρισης ζήτησης

Έχοντας κατά νου όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη Παράγραφο έχουν κατά καιρούς προταθεί διάφορα εργαλεία διαχείρισης των χρονοπαραθύρων και της ζήτησης που υπάρχει, ώστε να επιτυγχάνεται η μικρότερη δυνατή συμφόρηση και οι λιγότερες καθυστερήσεις [36]. Μερικές από αυτές τις τεχνικές παρουσιάζονται παρακάτω.

3.2.1 Αναθεώρηση όρων κατανομής χρονοπαραθύρων

Τα κριτήρια για την κατανομή χρονοπαραθύρων μπορούν να τροποποιηθούν και να διαφέρουν από αεροδρόμιο σε αεροδρόμιο ανάλογα με τις ανάγκες τους. Για παράδειγμα στο Ηνωμένο Βασίλειο [6] υπάρχει ένας αριθμός κριτηρίων με στόχο τη μεγιστοποίηση χρήσης της υπάρχουσας χωρητικότητας και είναι:

- Επαρκής χρονική περίοδος χρήσης
- Συχνότητα πτήσεων
- Περιορισμοί ωραρίου σε εμπλεκόμενα αεροδρόμια (π.χ. νυκτερινή αναστολή)
- Τοπικά κριτήρια

Δευτερευόντως, υπάρχουν κριτήρια τα οποία ενθαρρύνουν το συντονιστή του αεροδρομίου να θεωρήσει ζητήματα ανταγωνισμού ή οικονομικής αποτελεσματικότητας, αλλά τα κριτήρια είναι αρκετά αφηρημένα και περισσότερο λειτουργούν ως στόχοι της διαδικασίας κατανομής χρονοπαραθύρων. Μια επιλογή αλλαγής της πολιτικής της διαχείρισης χρονοπαραθύρων θα ήταν να εντοπιστούν αυτοί οι στόχοι και να μετατραπούν σε μορφή κανόνων ώστε να εφαρμόζονται από τους συντονιστές. Έτσι για παράδειγμα, θα μπορούσαν να υλοποιηθούν κανόνες προτεραιότητας στην κατανομή χρονοπαραθύρων βάσει των ακόλουθων χαρακτηριστικών/στόχων:

- Μέγεθος και τύπος της αγοράς
- Προώθηση του ανταγωνισμού
- Οικονομική αποτελεσματικότητα
- Απαιτήσεις του ταξιδιωτικού κοινού
- Διαφανής και αδιάκριτη πρόσβαση

3.2.2 Διαχειριστικές τεχνικές κατανομής αριθμού χρονοπαραθύρων

Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν αρκετές εργασίες ([16][59][44][60] που θεωρούν πως η λύση για την αποτελεσματική διαχείριση των χρονοπαραθύρων ενός αεροδρομίου θα έλθει με την εύρεση ενός αντισταθμίسمatos (tradeoff) ανάμεσα στις καθυστερήσεις και στη χρησιμοποίηση των πόρων του αεροδρομίου. Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται μία αναθεώρηση του όρου της “δηλωμένης” χωρητικότητας εντός αεροδρομίου [22], ώστε να μπορεί να εξακριβωθεί εκ των προτέρων ποια είναι η τιμή της που εξυπηρετεί το παραπάνω αντιστάθμισμα. Βέβαια, είναι γνωστό πως η χωρητικότητα επηρεάζεται και από τις συνθήκες της ημέρας (π.χ. καιρικές συνθήκες). Η δήλωση μιας μεγάλης τιμής χωρητικότητας δημιουργεί τον κίνδυνο μεγάλων καθυστερήσεων σε περιπτώσεις κακών καιρικών συνθηκών ή σε περιπτώσεις συνωστισμού (π.χ. λόγω περιορισμών εναέριας κυκλοφορίας) ενώ η δήλωση μικρής τιμής χωρητικότητας μπορεί να οδηγήσει σε υπο-χρησιμοποίηση των υποδομών και των δυνατοτήτων του αεροδρομίου σε φυσιολογικές συνθήκες. Γεγονός είναι πως η δηλωμένη χωρητικότητα (ο αριθμός δηλαδή των χρονοπαραθύρων που διατίθενται σε κάποια χρονική περίοδο) επηρεάζει έντονα τη συμφόρηση και τις καθυστερήσεις των αεροδρομίων.

Για τον καθορισμό της πιο κατάλληλης τιμής για τη δηλωμένη χωρητικότητα, είναι σημαντικό να γίνει διαχωρισμός μεταξύ της ζήτησης για χωρητικότητα στο αεροδρόμιο σε σχέση με τον αριθμό των πτήσεων και τον αριθμό των επιβατών, καθώς οι κινήσεις των αεροσκαφών είναι το μέγεθος που επηρεάζει περισσότερο τη χωρητικότητα. Για παράδειγμα, ο παρακάτω Πίνακας 3.3 δείχνει τις τιμές του συνολικού αριθμού επιβατών, του συνολικού αριθμού πτήσεων και της συνολικής καθυστέρησης αφίξεων σε πτήσεις στις ΗΠΑ. Οι τιμές είναι κανονικοποιημένες ώστε οι τιμές για το 2000 να είναι όλες ίσες με 100 και τα υπόλοιπα έτη να είναι ανάλογα με αυτό.

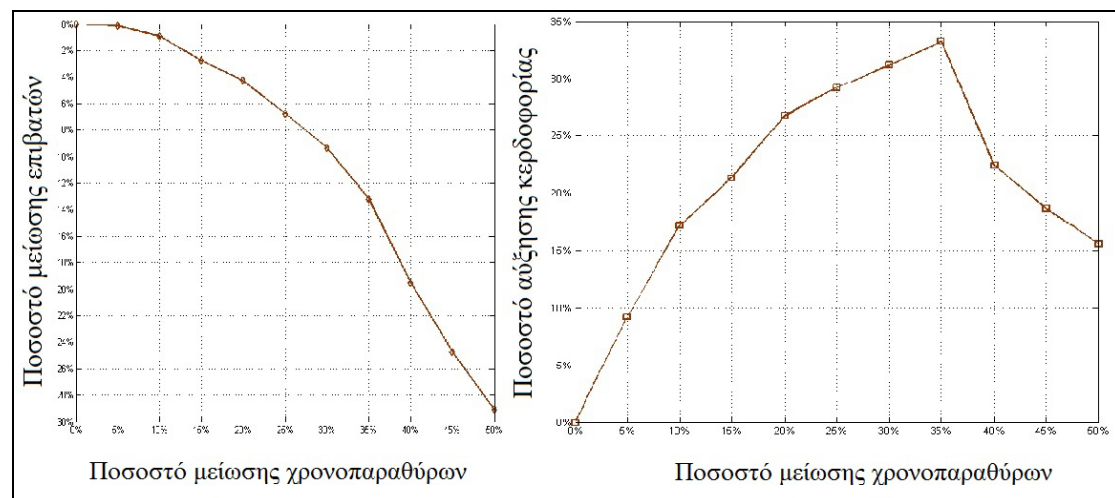
Έτος	Αριθμός επιβατών	Αριθμός Πτήσεων	Καθυστέρηση αφίξεων
2000	100	100	100
2001	93.34	96.47	78.15
2002	92.06	102.32	59.75
2003	97.29	119.65	75.18
2004	105.04	126.09	103.58
2005	109.62	126.98	107.8
2006	109.81	122.86	120.99
2007	113.28	124.46	138.58
2008	108.7	118.6	119.11
2009	103.07	110.73	91.82

Πίνακας 3.3: Τάσεις όσον αφορά τον αριθμό επιβατών, αριθμό πτήσεων και καθυστερήσεις στα αεροδρόμια των ΗΠΑ

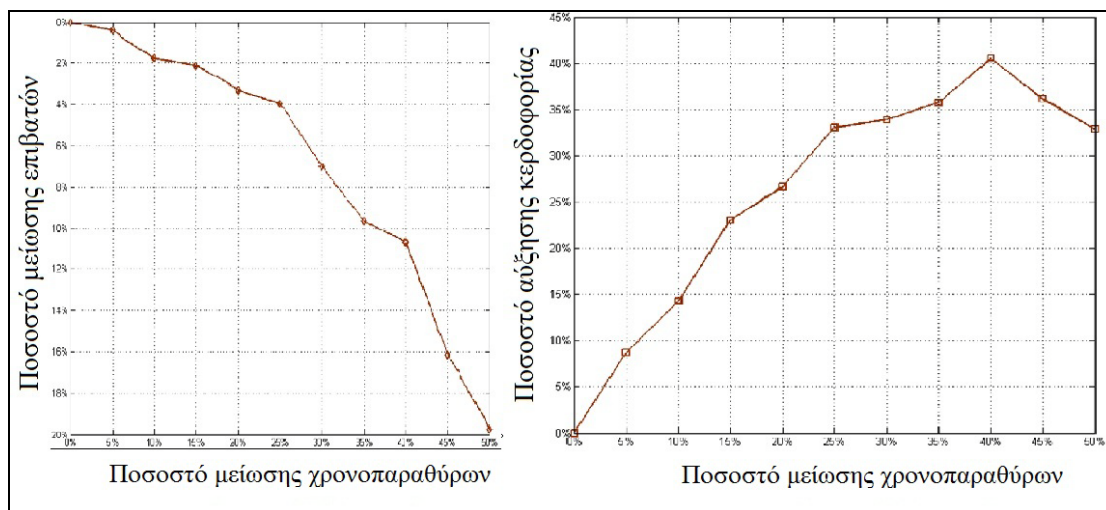
Η επιβατική κίνηση μειώθηκε τα δύο πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 2000 λόγω της οικονομικής ύφεσης που ακολούθησε μετά την επίθεση της 11^{ης} Σεπτεμβρίου, αλλά από το 2002 έως το 2007 επήλθε σταθερή αύξηση στον αριθμό των επιβατών. Μέχρι το 2007, ο αριθμός των επιβατών παρουσίασε αύξηση 13.28% σε σχέση με το 2000, αλλά ο αριθμός των πτήσεων ήταν αυξημένος κατά 24.46% ενώ οι καθυστερήσεις κατά 38.58%.

Τέτοια δυσαναλογία στην αύξηση στον αριθμό των πτήσεων σε σχέση με την αύξηση του αριθμού των επιβατών υπογορεύει πως ο μέσος αριθμός επιβατών ανά πτήση μειώθηκε κατά περίπου 9% από το 2000 έως το 2007. Άρα βγαίνει το συμπέρασμα πως πέραν του χάσματος που υπάρχει ανάμεσα στη χωρητικότητα και τη ζήτηση, υπάρχει και μία άλλη παράμετρος που σχετίζεται με τη χωρητικότητα των αεροσκαφών. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παρατήρηση πως μία εταιρεία με την αύξηση της συχνότητας των πτήσεων, προσελκύει περισσότερους επιβάτες. Ο ανταγωνισμός συχνότητας μεταξύ των εταιρειών είναι δηλαδή εν μέρει υπεύθυνος για το χάσμα ανάμεσα στη ζήτηση και τη χωρητικότητα και τελικά για τη συμφόρηση που παρατηρείται.

Πιο συγκεκριμένα, στην εργασία [59] έγιναν δύο πειράματα στο αεροδρόμιο La Guardia (LGA) της Νέας Υόρκης, ένα το οποίο μείωνε τη διαθεσιμότητα χρονοπαραθύρων αναλογικά (αν δηλαδή τα χρονοπαράθυρα του αεροδρομίου από 100 γίνονταν 80 και μοιράζονταν σε δύο εταιρείες με ποσοστό 60-40, τότε οι 80 “νέες” θα κατανέμονταν ως 42-38) και ένα το οποίο αντάμειβε τις εταιρείες που μετέφεραν περισσότερους επιβάτες (είτε μέσω μεγαλύτερων αεροσκαφών είτε μέσω μεγαλύτερων βαθμών πληρότητας). Και στα δύο πειράματα έγινε θεώρηση σταθερού μεγέθους των αεροσκαφών και αμετάβλητων τιμών εισιτηρίων. Στα ακόλουθα Σχήματα φαίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της μείωσης του αριθμού των χρονοπαραθύρων σε σχέση με το λειτουργικό κέρδος των εταιρειών και σε σχέση με τον αριθμό των επιβατών.



Σχήμα 3.2: Επιπτώσεις μείωσης χρονοπαραθύρων με αναλογικό τρόπο (LGA)



Σχήμα 3.3: Επιπτώσεις μείωσης χρονοπαραθύρων βάσει ανταμοιβής αποδοτικής χρήσης (LGA)

Από τα παραπάνω Σχήματα φαίνεται πως αναλογική μείωση του αριθμού των χρονοπαραθύρων έως 35% έχει τις εξής επιπτώσεις: Για κάθε 1% μείωση στον αριθμό των χρονοπαραθύρων, υπάρχει κατά μέσο όρο μείωση μόλις 0.38% στο συνολικό αριθμό επιβατών. Η μείωση του αριθμού των χρονοπαραθύρων κατά 35% οδηγεί σε μείωση 13% του συνολικού αριθμού επιβατών. Αντίστοιχα, το 35% φαίνεται να είναι ένα όριο και για την αύξηση της κερδοφορίας των εταιρειών. Πέραν από αυτό το σημείο η κερδοφορία αρχίζει να μειώνεται (όπως και ο αριθμός των επιβατών φθίνει πιο γρήγορα). Παρόμοιες παρατηρήσεις γίνονται και για τη στρατηγική ανταμοιβής βάσει αποδοτικής χρήσης του χρονοπαραθύρου. Μέχρι μείωση 40% στον αριθμό των χρονοπαραθύρων, κάθε 1% μείωση του αριθμού οδηγεί σε μόλις 0.27% κατά μέσο όρο μείωση του αριθμού των επιβατών. Για 40% μείωση στον αριθμό των χρονοπαραθύρων, η μείωση στον αριθμό των επιβατών είναι 11%. Αντίστοιχα, ισχύουν παρόμοια και για το λειτουργικό κέρδος.

Η εξήγηση για τις παραπάνω παρατηρήσεις είναι πολύ απλή. Με δεδομένο πως η προσομοίωση θεωρεί ότι τα μεγέθη των αεροσκαφών παραμένουν σταθερά, τότε η αρχική μείωση στον αριθμό των χρονοπαραθύρων, οδηγεί (καταρχήν) σε αύξηση των συντελεστών πληρότητας των πτήσεων, επομένως η τα λειτουργικά έξοδα μειώνονται πιο γρήγορα απ' ό,τι τα έσοδα, οδηγώντας έτσι σε αύξηση του λειτουργικού κέρδους. Αυτή η αύξηση συνεχίζεται μέχρι ενός σημείου στο οποίο το σταθερό μέγεθος του αεροσκάφους γίνεται στενωπός και μειώνει τον αριθμό των επιβατών. Έτσι, η λειτουργική κερδοφορία μειώνεται. Είναι αυτονόητο επίσης πως παράλληλα με τη μείωση του αριθμού των χρονοπαραθύρων (δηλωμένη χωρητικότητα), μειώνεται η συμφόρηση και οι καθυστερήσεις.

Δείκτες	Παρούσα κατάσταση (Χωρίς μείωση χρονοπαραθύρων)	12.3% μείωση χρονοπαραθύρων	
		Αναλογική κατανομή μείωσης στις αεροπορικές εταιρείες	Μείωση στις εταιρείες βάσει απόδοσης του χρονοπαραθύρου
Συνολικό Λειτουργικό Κέρδος	\$1,237,623	\$1,475,217 (19.20%)	\$1,446,520 (16.88%)
Μέση καθυστέρηση πτήσης λόγω εναέριας κυκλοφορίας	12.74 min	7.52 min (-40.97%)	7.52 min (-40.97%)
Συνολικός Αριθμός Επιβατών	22,184	21,680 (-2.27%)	21,728 (-2.05%)
Μέση Καθυστέρηση επιβάτη	25.10 min	14.81 min (40.97%)	14.81 min (40.97%)

Πίνακας 3.4: Δείκτες απόδοσης αεροδρομίου La Guardia λόγω της μείωσης του αριθμού των χρονοπαραθύρων

Τα αποτελέσματα δείχνουν πως μικρές μειώσεις στη συνολική χωρητικότητα που διατίθεται μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις καθυστερήσεις των πτήσεων, τις καθυστερήσεις των επιβατών και να βελτιώσουν τα λειτουργικά κέρδη των εταιρειών. Η μικρή μείωση του αριθμού των επιβατών που παρατηρείται, μπορεί να αρθεί εφόσον οι εταιρείες είναι σε θέση να χρησιμοποιήσουν μεγαλύτερα αεροσκάφη. Συμπερασματικά, μία μικρή μείωση στον αριθμό των χρονοπαραθύρων είναι ωφέλιμη για:

- Τις αεροπορικές εταιρείες καθώς μειώνονται οι καθυστερήσεις και αυξάνονται τα κέρδη
- Τους επιβάτες επειδή αντιμετωπίζουν μικρότερη καθυστέρηση ενώ οι μειώσεις στις πτήσεις δεν επηρεάζουν τόσο την ταξιδιωτική τους εμπειρία
- Τους διαχειριστές του αεροδρομίου επειδή μειώνεται σημαντικά η συμφόρηση και οι καθυστερήσεις
- Το συνολικό σύστημα καθώς σχεδόν όλοι οι επιβάτες μεταφέρονται με λιγότερες πτήσεις, μικρότερες καθυστερήσεις και μικρότερο συνολικό κόστος

3.3 Το πρόβλημα των ελληνικών αεροδρομίων

3.3.1 Γενικά για τα ελληνικά αεροδρόμια

Η Ελληνική επικράτεια αποτελείται από 33 αεροδρόμια που χρησιμοποιούνται για πολιτική χρήση. Με δεδομένο τον πληθυσμό της χώρας (περίπου 11 εκατομμύρια) ο αριθμός των αεροδρομίων είναι αρκετά μεγάλος σε σχέση με τον ευρωπαϊκό μέσο όρο. Σε μεγάλο βαθμό αυτό δικαιολογείται από τη γεωγραφική μορφολογία της χώρας (νησιά, ορεινά εδάφη) και τις ανάγκες της βαριάς βιομηχανίας της χώρας που είναι ο τουρισμός.

Βάσει των ορισμών των αεροδρομίων (σε σχέση με την ανάγκη ή όχι συντονισμού των χρονοπαραθύρων τους), τα ελληνικά αεροδρόμια διακρίνονται όπως φαίνεται στον ακόλουθο Πίνακα.

Αεροδρόμιο	Κωδικός IATA	Κωδικός ICAO	Θερινή Περίοδος	Χειμερινή Περίοδος
Αθήνα	ATH	LGAV	Κατηγορία 2	Κατηγορία 2
Αλεξανδρούπολη	AXD	LGAL	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Ζάκυνθος	ZTH	LGZA	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Ηράκλειο	HER	LGIR	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Θεσσαλονίκη	SKG	LGTS	Κατηγορία 3	Κατηγορία 3
Ικαρία	JIK	LGIK	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Ιωάννινα	IOA	LGIO	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Καβάλα	KVA	LGKV	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Καλαμάτα	KLX	LGKL	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Κάρπαθος	AOK	LGKP	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Καστοριά	KSO	LGKA	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Κέρκυρα	CFU	LGKR	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Κεφαλονιά	EFL	LGKF	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Κύθηρα	KIT	LGKC	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Κως	KGS	LGKO	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Λήμνος	LXS	LGLM	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Μήλος	MLO	LGML	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Μύκονος	JMK	LGMK	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Μυτιλήνη	MJT	LGMT	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Νάξος	JNX	LGNX	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Νέα Αγχίαλος	VOL	LGBL	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Πάρος	PAS	LGPA	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Πάτρα - Άραξος	GPA	LGRY	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Πρέβεζα - Ακτιο	PVK	LGPZ	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Ρόδος	RHO	LGRP	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Σάμος	SMI	LGSM	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Σαντορίνη	JTR	LGSR	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Σητεία	JSH	LGST	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Σκιάθος	JSI	LGSK	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Σκύρος	SKU	LGSY	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Σύρος	JSY	LGSO	Κατηγορία 2	Κατηγορία 1
Χανιά	CHQ	LGSA	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1
Χίος	JKH	LGHI	Κατηγορία 3	Κατηγορία 1

Πίνακας 3.5: Κατηγορίες συντονισμού Ελληνικών Αεροδρομίων

Η διαδικασία συντονισμού για τα Ελληνικά αεροδρόμια γίνεται από την ανεξάρτητη αρχή συντονισμού πτήσεων (Hellenic Slot Coordination Authority, HSCA). Όπως φαίνεται από τον παραπάνω Πίνακα, 21 αεροδρόμια λειτουργούν ως συντονισμένα στη θερινή περίοδο ενώ τα

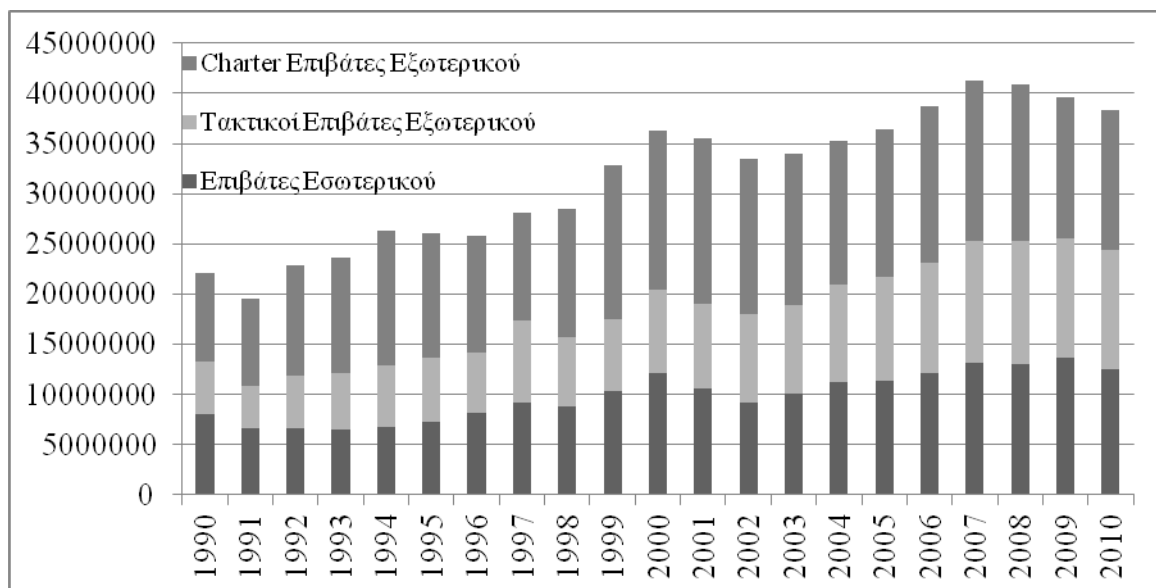
υπόλοιπα λειτουργούν με διευκολύνσεις. Στη χειμερινή περίοδο η κατάσταση είναι εντελώς διαφορετική αφού μόλις ένα (Θεσσαλονίκη) λειτουργεί ως συντονισμένο, ένα (Αθήνα) λειτουργεί με διευκολύνσεις και όλα τα υπόλοιπα δεν τίθενται σε συντονισμό αφού εξυπηρετούν περισσότερο εσωτερικές πτήσεις.

Τα αεροδρόμια με τη μεγαλύτερη κίνηση είναι η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, το Ηράκλειο, η Ρόδος, η Κέρκυρα, η Κως, τα Χανιά, η Ζάκυνθος και η Σαντορίνη, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.6.

Αερολιμένας	Κινήσεις Αεροσκαφών	Επιβατική Κίνηση
Αθήνα	181859	15303127
Θεσσαλονίκη	44938	3910751
Ηράκλειο	42396	4907337
Ρόδος	31558	3586572
Κως	14872	1627240
Κέρκυρα	14636	1744761
Χανιά	13852	1654864
Μυτιλήνη	7992	506581
Σαντορίνη	7914	722155
Ζάκυνθος	6782	871064

Πίνακας 3.6: Κίνηση 10 μεγαλύτερων ελληνικών αεροδρομίων 2010

Στα Σχήματα 3.4 και 3.5 φαίνεται η εξέλιξη της κίνησης εσωτερικού, (τακτικής) εξωτερικού και έκτακτης (charter) εξωτερικού από το 1990 έως το 2010. Παρά την κάμψη των τελευταίων ετών η αύξηση είναι αισθητή σε όλη τη διάρκεια της 20ετίας, τόσο όσον αφορά τα νούμερα επιβατών όσο και τα νούμερα των κινήσεων αεροσκαφών.



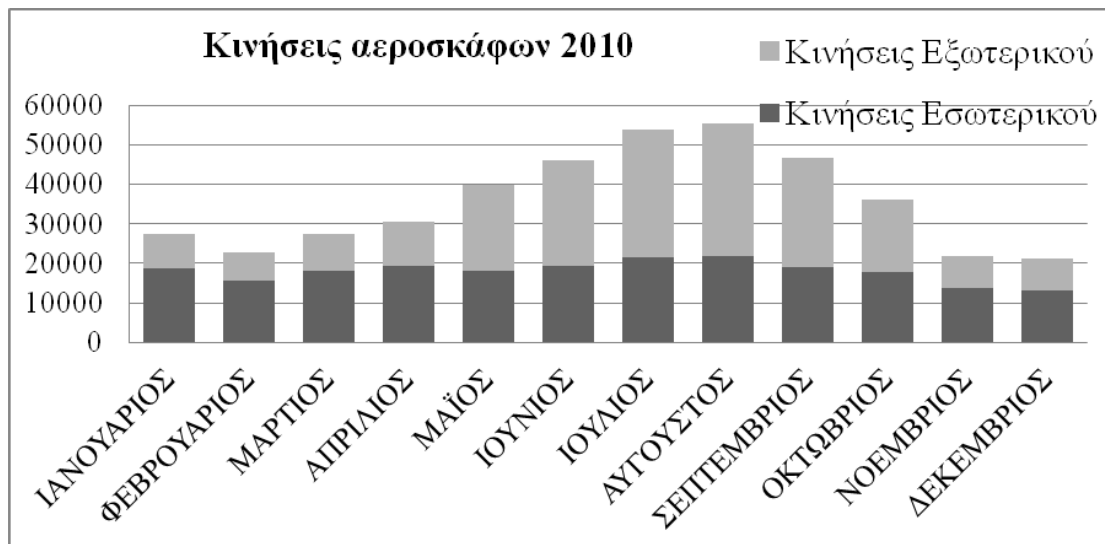
Σχήμα 3.4: Εξέλιξη επιβατικής κίνησης Ελληνικών Αεροδρομίων (1990-2010)



Σχήμα 3.5: Εξέλιξη κινήσεων αεροσκαφών Ελληνικών Αεροδρομίων (1990-2010)

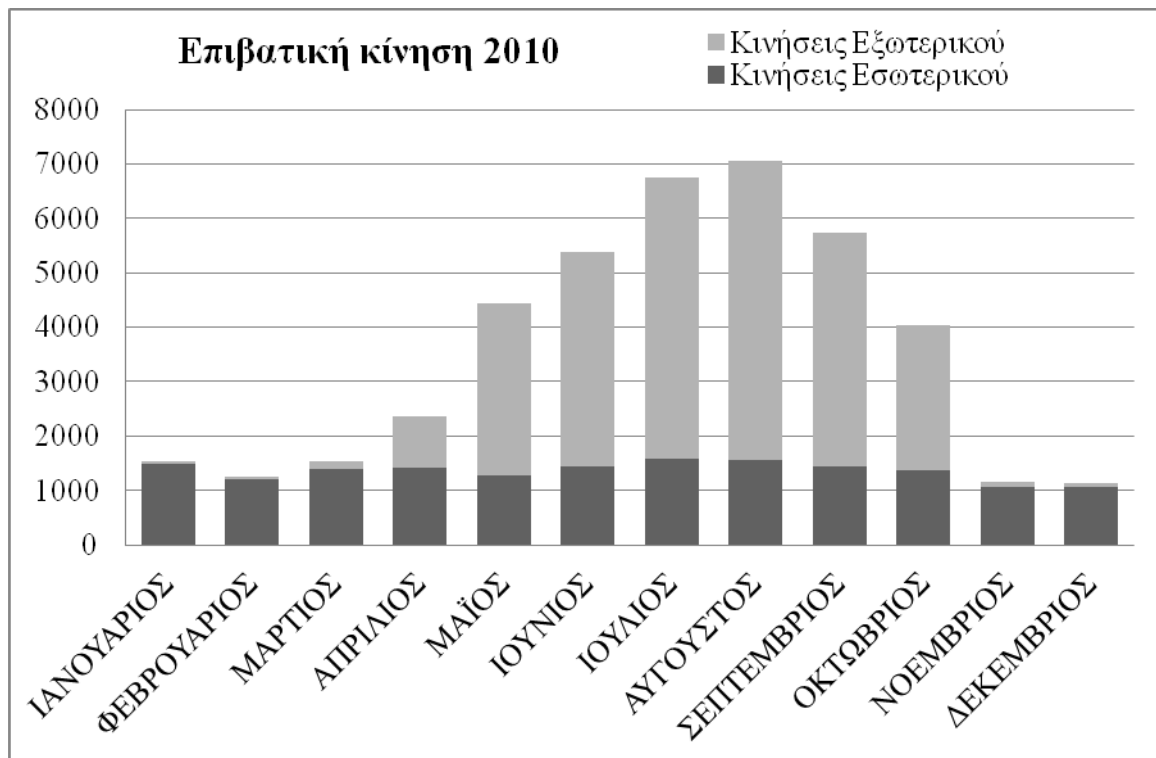
3.3.2 Χαρακτηριστικά εποχικής κίνησης

Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται η επιβατική κίνηση των ελληνικών αεροδρομίων για το 2010 κατανομημένη ανά μήνα. Από το γράφημα αυτό φαίνεται πως ενώ η επιβατική κίνηση εσωτερικού παραμένει σχεδόν σταθερή (υπάρχει μια μικρή αύξηση τους θερινούς μήνες), δεν ισχύει το ίδιο για την επιβατική κίνηση εξωτερικού που παρουσιάζει τεράστιες ανισορροπίες και είναι εξαιρετικά μεγάλη τους θερινούς μήνες. Επί της ουσίας, τα ελληνικά αεροδρόμια (ειδικά της νησιωτικής χώρας) καλούνται να εξυπηρετήσουν όγκο κίνησης σχεδόν διπλάσιο κατά το καλοκαίρι, απ' ότι εξυπηρετούν όλους τους υπόλοιπους μήνες μαζί. Κάτι που επίσης δε φαίνεται από τα μηνιαία στατιστικά στοιχεία είναι πως μεγάλος όγκος κίνησης σωρεύεται σε συγκεκριμένες μέρες και ώρες κάθε μήνα και μπορεί να αποδειχθεί αναλύοντας πιο συγκεκριμένα την κίνηση κάθε αεροδρομίου χωριστά (βλέπε επόμενα Κεφάλαια).

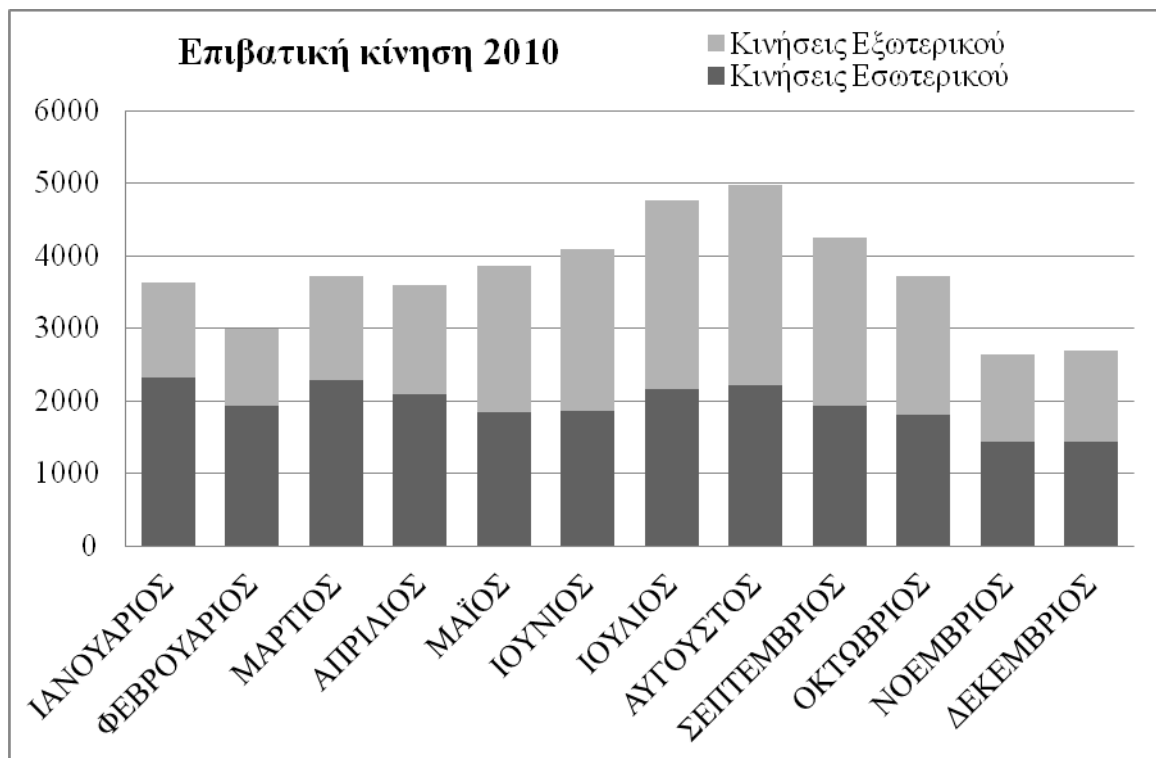


**Σχήμα 3.6: Κινήσεις αεροσκαφών εσωτερικού-εξωτερικού
Ελληνικών Αεροδρομίων 2010**

Για τον πιο συστηματικό εντοπισμό των ανισορροπιών στην κατανομή κίνησης, επιλέγεται προς μελέτη το αεροδρόμιο του Ηρακλείου, το οποίο αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο αεροδρόμιο της χώρας σε επιβατική κίνηση και το τρίτο μεγαλύτερο σε κινήσεις αεροσκαφών. Επίσης, με εξαίρεση την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη που διατηρούν σταθερή κίνηση εξωτερικού και το χειμώνα, το Ηράκλειο παρουσιάζει συγκεντρωμένη την κίνηση εξωτερικού κυρίως τη θερινή περίοδο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7 σε αντιδιαστολή π.χ. με τη Θεσσαλονίκη (Σχήμα 3.8). Είναι δηλαδή το πρώτο κατά σειρά αεροδρόμιο της Ελλάδας με απολύτως ισχυρά εποχικά χαρακτηριστικά.

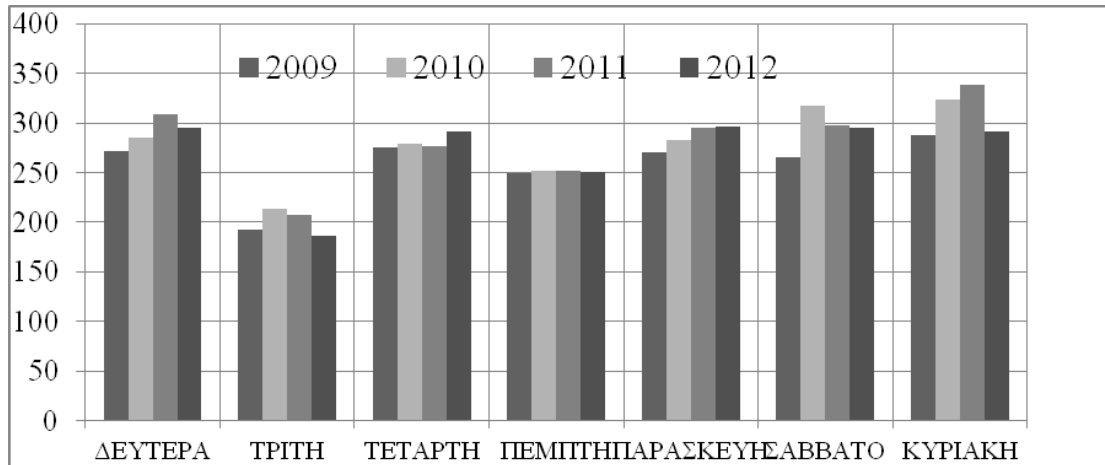


Σχήμα 3.7: Επιβατική κίνηση αεροδρομίου Ηρακλείου 2010



Σχήμα 3.8: Επιβατική κίνηση αεροδρομίου Θεσσαλονίκης 2010

Αναλύοντας πιο προσεκτικά την κίνηση του αεροδρομίου του Ηρακλείου φαίνεται σε ποιες μέρες συνωστίζονται οι περισσότερες κινήσεις. Για την τετραετία 2009-2012 οι αναθέσεις χρονοπαραθύρων φαίνονται στο Σχήμα 3.9. Είναι φανερό πως μέρες όπως η Τρίτη ή η Πέμπτη έχουν λιγότερες κινήσεις σε σχέση με π.χ. τη Δευτέρα ή την Κυριακή. Όπως αναλύεται στα επόμενα Κεφάλαια, οι αιχμές δεν περιορίζονται μόνο στις μέρες αλλά και σε συγκεκριμένες ώρες.



Σχήμα 3.9: Συνολική κατανομή χρονοπαραθύρων αεροδρομίου Ηρακλείου (2009-2012)

4

Ανάλυση κατανομής χρονοπαραθύρων στα ελληνικά αεροδρόμια: Η περίπτωση του ΚΑΗΚ

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο η Ελλάδα διαθέτει 33 ενεργά αεροδρόμια που εξυπηρετούν επιβατικές πτήσεις. Από αυτά τα 40 αεροδρόμια, 21 λειτουργούν κατά τη θερινή ως πλήρως «συντονισμένα», 13 λειτουργούν ως «συντονισμένα με διευκολύνσεις» και 6 είναι «μη - συντονισμένα». Τα περισσότερα από τα συντονισμένα αεροδρόμια βρίσκονται σε νησιά και το κύριο χαρακτηριστικό που εκβιάζει το χαρακτηρισμό «συντονισμένο» είναι η εποχική αυξημένη κίνηση του καλοκαιριού (εν αντιθέσει με το χειμώνα που δεν παρατηρούνται προβλήματα). Τα αεροδρόμια με τη μεγαλύτερη αεροπορική κίνηση (σε όγκους επιβατών) είναι με φθίνουσα σειρά: Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο, Ρόδος, Κέρκυρα, Κως, Χανιά, Ζάκυνθος και Σαντορίνη. Τα χαρακτηριστικά της κίνησης είναι όμοια σε όλα τα συντονισμένα ελληνικά αεροδρόμια και συνοψίζονται στα ακόλουθα δύο:

- Ισχυρή εποχικότητα (ειδικά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο)
- Συγκέντρωση των περισσότερων κινήσεων σε συγκεκριμένες ημέρες και ώρες της εβδομάδας

Στις επόμενες Παραγράφους η ανάλυση εστιάζεται στο αεροδρόμιο Ηρακλείου αλλά μπορεί πολύ εύκολα με τα αντίστοιχα δεδομένα να επεκταθεί σε οποιοδήποτε ελληνικό αεροδρόμιο, αφού τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν πιο πάνω ισχύουν για όλα. Γίνεται πλήρης ανάλυση της τελικής κατανομής των χρονοπαραθύρων του αεροδρομίου στις αεροπορικές

εταιρείες κατά τη θερινή περίοδο και συγκρίνεται με την αντίστοιχη κατανομή που προκύπτει από τα αιτήματα των αεροπορικών εταιρειών και τις τελικές πραγματοποιηθείσες πτήσεις. τον τρόπο εντοπίζονται τα προβλήματα που παρατηρούνται και οδηγούν σε αποκλίσεις από την (θεωρητικά) χωρίς προβλήματα κατανομή χρονοπαραθύρων που επιχειρείται στην αρχή κάθε περιόδου. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται πλήρης ανάλυση των χαρακτηριστικών (προέλευση, μέγεθος στόλου κλπ) των εταιρειών που πραγματοποιούν παραβάσεις των χρονοπαραθύρων τους και οδηγούν σε προβλήματα στη λειτουργία του αεροδρομίου.

4.1 Στοιχεία χωρητικότητας αερολιμένα ΚΑΗΚ

Βάσει των δημοσιευμένων στοιχείων από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, η χωρητικότητα του αεροδρομίου Ηρακλείου καθορίζεται ως εξής:

Χωρητικότητα	Μέγιστη Τιμή
Διάδρομος - Αφίξεις εντός 10΄	5
Διάδρομος – Αφίξεις εντός 60΄	8
Διάδρομος – Αναχωρήσεις εντός 10΄	5
Διάδρομος – Αναχωρήσεις εντός 60΄	12
Διάδρομος – Συνολική Χωρητικότητα (15΄)	5
Διάδρομος – Συνολική Χωρητικότητα (60΄)	20
Αεροσταθμός – Επιβάτες εκτός Schengen (60΄)	450
Αεροσταθμός – Επιβάτες εντός Schengen (60΄)	1350
Δάπεδο – Θέσεις αεροσκαφών	19

Πίνακας 4.1: Χωρητικότητα αεροδρομίου Ηρακλείου (2006)

Βάσει των τιμών του Πίνακα 4.1 η αρχή συντονισμού πτήσεων κατανέμει τις αφίξεις και αναχωρήσεις αεροσκαφών ώστε σε καμία περίπτωση να μη γίνεται υπέρβαση των μέγιστων τιμών. Θεωρητικά, εφόσον όλα λειτουργούν άψογα, δε θα έπρεπε να υπάρχει καμία παραβίαση και οι υποδομές του αεροδρομίου να εξυπηρετούν πλήρως τα αεροσκάφη χωρίς προβλήματα. Στην πράξη όμως δε συμβαίνει αυτό.

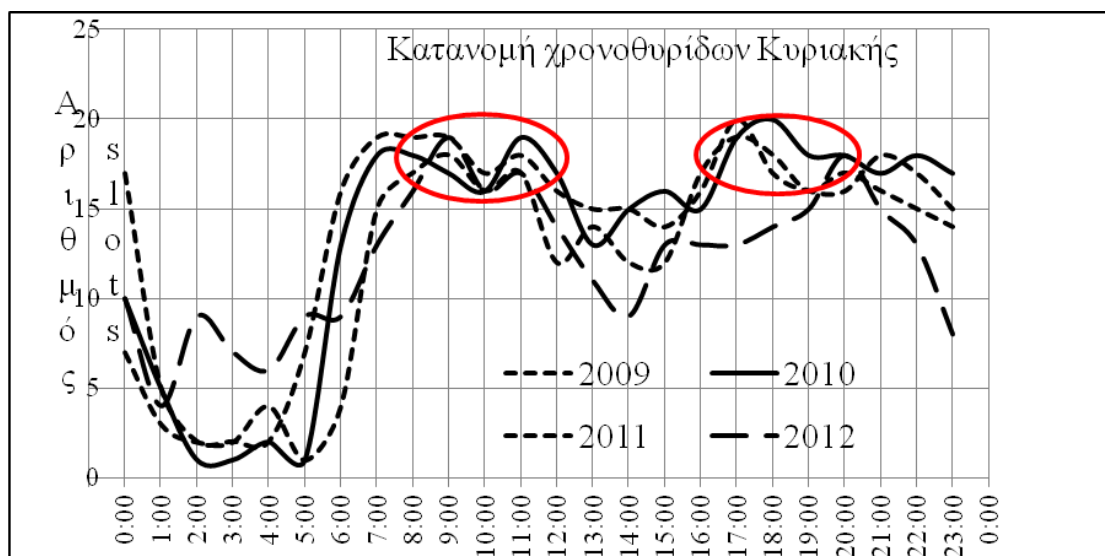
4.2 Κατανομή χρονοπαραθύρων στον ΚΑΗΚ

Στον παρακάτω Πίνακα φαίνεται η (τελική) κατανομή χρονοπαραθύρων για τον ΚΑΗΚ για τα έτη 2009-2012.

	ΚΥΡΙΑΚΗ				ΣΑΒΒΑΤΟ				ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ				ΠΕΜΠΤΗ				ΤΕΤΑΡΤΗ				ΤΡΙΤΗ				ΔΕΥΤΕΡΑ				
	2012	2011	2010	2009	2012	2011	2010	2009	2012	2011	2010	2009	2012	2011	2010	2009	2012	2011	2010	2009	2012	2011	2010	2009	2012	2011	2010	2009	
0:00	10	17	10	7	12	11	14	11	5	6	12	6	5	10	5	6	9	3	6	6	10	13	12	6	13	12	14	6	0:00
1:00	4	5	5	3	7	4	6	6	4	3	9	4	3	2	3	4	4	3	7	10	5	3	11	3	9	10	8	4	1:00
2:00	9	2	1	2	7	6	8	6	5	2	2	5	5	3	3	5	6	6	5	7	4	1	2	8	4	3	4	8	2:00
3:00	7	2	1	2	6	2	5	3	8	3	4	3	6	0	1	2	9	3	7	7	2	2	2	1	7	2	2	2	3:00
4:00	6	2	2	4	2	2	9	6	2	0	2	3	2	0	0	0	4	6	7	11	0	1	1	2	2	3	0	0	4:00
5:00	9	7	1	1	2	0	4	5	4	0	1	0	4	2	3	3	3	4	6	5	1	2	1	0	1	0	1	0	5:00
6:00	9	16	13	4	6	4	8	1	11	8	8	6	10	6	8	7	8	9	7	3	8	6	4	3	12	10	9	6	6:00
7:00	13	19	18	15	11	10	15	12	10	14	17	12	9	9	9	12	11	7	11	8	4	10	8	8	6	13	13	12	7:00
8:00	16	19	18	17	17	18	14	7	16	17	15	16	15	15	18	16	14	15	19	17	10	10	8	7	12	18	13	17	8:00
9:00	19	19	17	18	15	20	20	17	18	17	15	17	16	16	15	10	18	16	18	16	10	9	9	5	18	19	16	14	9:00
10:00	16	17	16	16	15	20	19	18	16	15	14	12	14	16	18	15	18	17	15	15	8	10	14	13	19	16	18	17	10:00
11:00	17	18	19	17	18	12	16	11	18	17	13	15	17	16	13	15	20	19	15	17	11	12	12	13	18	17	18	16	11:00
12:00	14	16	17	12	14	14	14	14	15	17	13	16	9	12	8	8	14	16	14	14	7	7	10	9	15	14	14	17	12:00
13:00	11	15	13	14	11	14	14	13	12	15	11	17	10	10	12	15	15	9	8	11	12	14	12	13	16	15	15	16	13:00
14:00	9	15	15	12	14	14	16	12	15	12	10	10	11	13	11	11	14	6	12	8	9	12	11	10	16	14	11	14	14:00
15:00	13	14	16	12	18	15	18	13	18	17	16	14	11	15	14	12	17	16	12	15	10	13	10	10	16	18	17	15	15:00
16:00	13	16	15	17	14	16	15	14	16	17	13	17	16	13	14	14	11	14	11	15	9	9	11	12	13	14	14	11	16:00
17:00	13	20	19	19	17	18	13	11	13	20	17	13	14	18	11	14	14	19	15	17	10	14	12	6	14	19	12	10	17:00
18:00	14	17	20	18	18	17	18	12	13	16	11	11	11	16	13	15	12	17	14	11	7	14	9	10	14	17	12	16	18:00
19:00	15	16	18	16	13	14	13	15	14	17	14	15	14	14	14	14	14	16	10	10	10	10	14	15	14	18	17	17	19:00
20:00	18	16	18	17	19	14	16	17	16	18	20	18	17	16	18	14	17	13	18	16	13	8	14	13	17	15	14	13	20:00
21:00	15	18	17	16	15	17	15	18	16	16	16	17	16	16	17	16	15	14	16	15	9	11	8	11	14	14	13	15	21:00
22:00	13	17	18	15	13	18	12	12	15	15	17	14	8	8	13	13	14	13	12	8	10	10	9	8	15	15	18	15	22:00
23:00	8	15	17	14	11	18	16	12	16	13	9	9	8	6	11	9	11	16	14	13	7	6	9	6	10	13	12	11	23:00
	291	338	324	288	295	298	318	266	296	295	283	270	251	252	252	250	292	277	279	275	186	207	213	192	295	309	285	272	

Πίνακας 4.2: Επίσημες κατανομές χρονοπαραθύρων στον ΚΑΗΚ κατά την τετραετία 2009-2012

Από τον Πίνακα αυτό φαίνεται πως εντοπίζονται δύο διακριτές περιοχές συγκέντρωσης των περισσότερων πτήσεων. Η πρώτη είναι η “πρωινή” ζώνη και εκτείνεται από τις 0800 έως τις 1200 (τοπική ώρα Ελλάδος) και η δεύτερη είναι η “απογευματινή” ζώνη που εκτείνεται από τις 1700 έως τις 2100. Επίσης, από τη μελέτη του Πίνακα φαίνονται και οι ημέρες που η κίνηση είναι σαφώς μεγαλύτερη: Υπάρχει μια σαφής υπεροχή της Κυριακής, που ακολουθείται από το Σάββατο, τη Δευτέρα, την Παρασκευή, την Τετάρτη, την Πέμπτη και τελευταία ημέρα (από άποψη αριθμού κατανεμημένων χρονοπαραθύρων) είναι η Τρίτη. Κάτι άλλο που γίνεται σαφές είναι πως την Τρίτη, ακόμα και αν οι περίοδοι που αναφέρθηκαν παραπάνω (0800-1200 και 1700-2100) συγκεντρώνουν μεγάλο μέρος των κινήσεων, εντούτοις λόγω του ότι δεν προσεγγίζεται το όριο της χωρητικότητας, φαίνεται πως δε δημιουργούνται προβλήματα. Αντίστοιχα, την Κυριακή, είναι φανερό πως αρκετές ώρες της μέρας η χωρητικότητα φτάνει τα όρια του αεροδρομίου (20 κινήσεις / ώρα) κάτι το οποίο εγείρει το ερώτημα του τι θα γίνει στην περίπτωση που μία ή περισσότερες εταιρείες δεν τηρήσουν το χρονοπαραθύρο που τους έχει κατανεμηθεί. Οι παραπάνω περίοδοι αιχμής φαίνονται καλύτερα αν παραστήσει κανείς σε ένα γράφημα τον αριθμό των χρονοπαραθύρων που έχουν κατανεμηθεί (επιλέγεται η Κυριακή ως μέρα με τις περισσότερες κινήσεις).



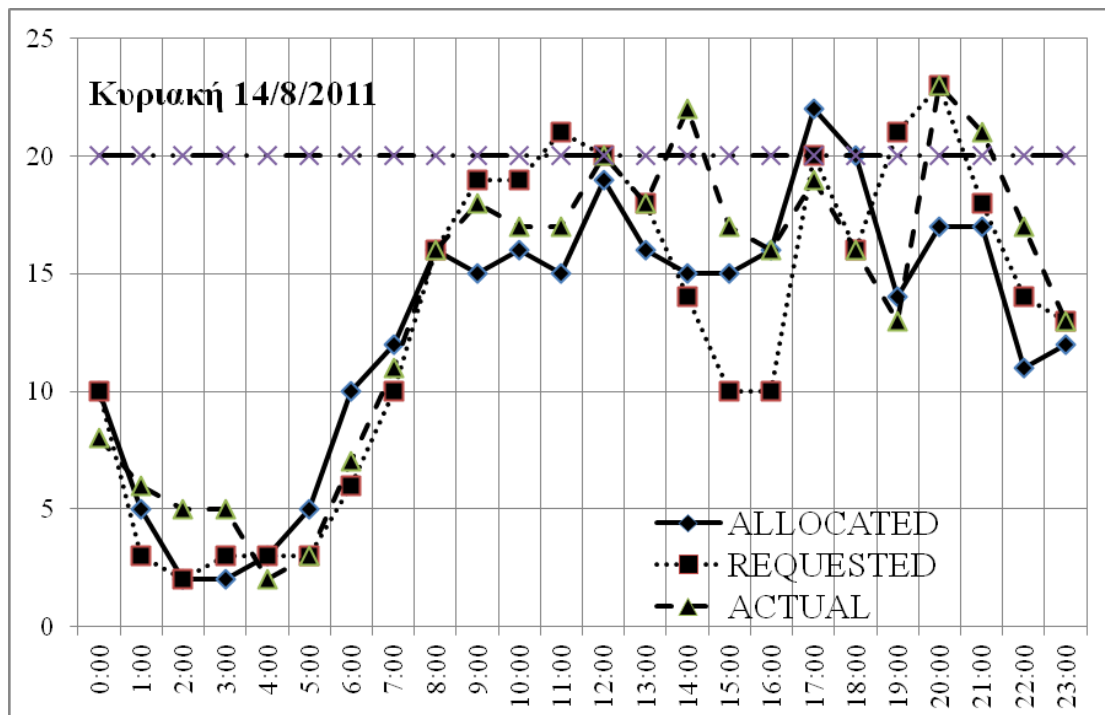
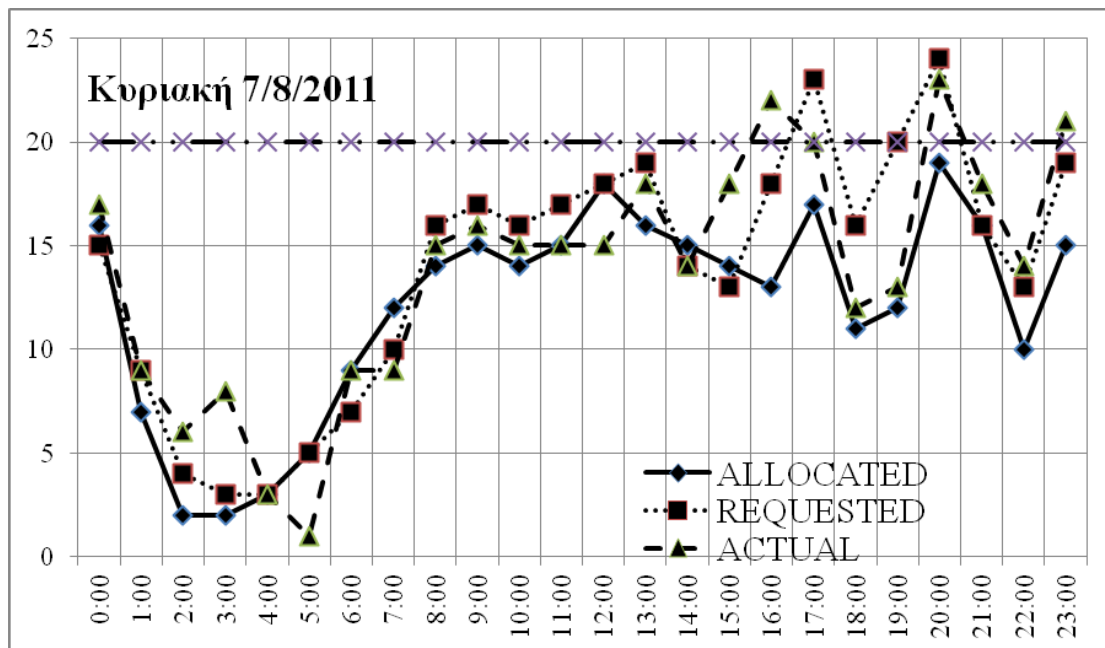
Σχήμα 4.1: Κατανομή χρονοπαραθύρων ΚΑΗΚ την ημέρα Κυριακή (2009-2012)

4.2.1 Ποια χρονοπαραθύρα θέλουν οι αεροπορικές εταιρείες και ποια τελικά χρησιμοποιούν

Η διαδικασία κατανομής χρονοπαραθύρων ξεκινά αρκετά πριν την έναρξη της (θερινής εν προκειμένω) περιόδου και βασίζεται σε μια διαδικασία αιτημάτων από μέρους των

αεροπορικών εταιρειών, τα οποία εγκρίνονται ή αντίστοιχα απορρίπτονται από το συντονιστή. Ενδιαφέρον έχει να εξετάσει κανείς ποια είναι τα αιτήματα των αεροπορικών εταιρειών, δηλαδή ποιες χρονοπαράθυρα έχουν ζητήσει ώστε να ελεγχθεί αν και κατά πόσον έχει ικανοποιηθεί το αίτημά τους. Τέλος, δε μπορεί κανείς να αγνοήσει την πραγματική κατάσταση, δηλαδή ποια είναι τελικά τα χρονοπαράθυρα που χρησιμοποίησαν οι αεροπορικές εταιρείες και αν συμφωνούν (και κατά πόσον με την κατανομή που τους έχει γίνει).

Η ανάλυση εστιάζεται σε μία ημέρα του 2011 με πολύ μεγάλη κίνηση (Κυριακή 7/8/2011 και Κυριακή 14/8/2011) και συμπυκνώνεται στα ακόλουθα δύο Σχήματα. Στη συγκεκριμένη διαδικασία έχουν περιληφθεί μόνο πτήσεις που πραγματοποιήθηκαν (καθώς μπορεί κάποια εταιρεία να είχε ζητήσει χρονοπαράθυρο αλλά τελικά να μην το χρησιμοποίησε).



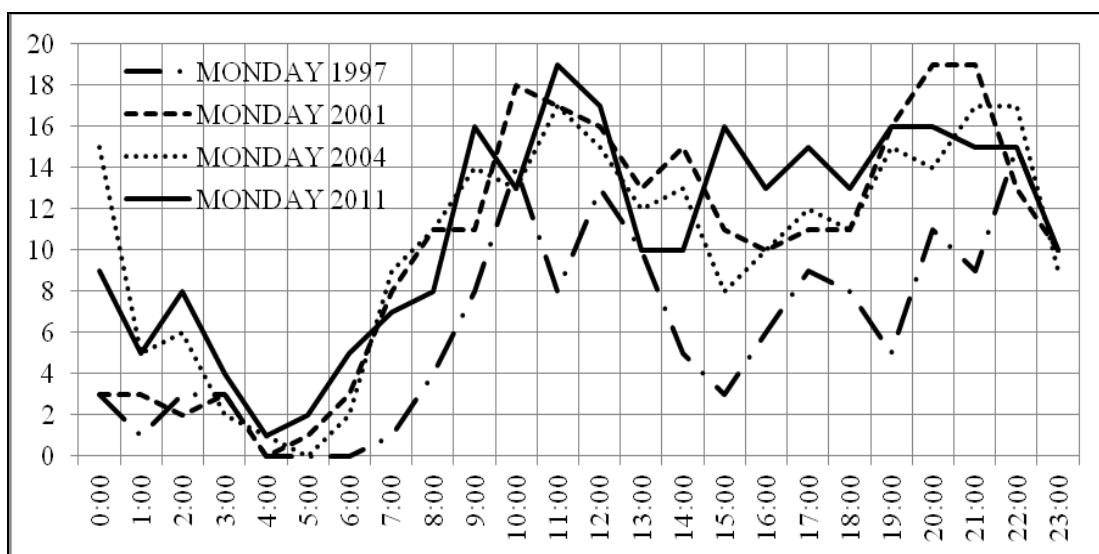
Σχήμα 4.2: Χρονοπαράθυρα Κυριακής 7 και 14/8/2011 ΚΑΗΚ

Από τη συγκεκριμένο Σχήμα εξάγονται δύο βασικά συμπεράσματα:

- Οι αεροπορικές εταιρείες δεν τηρούν τα χρονοπαράθυρα τους (η κατανομή των ζητηθέντων χρονοπαραθύρων (allocated) διαφέρει αρκετά από αυτή των πραγματικών (actual))

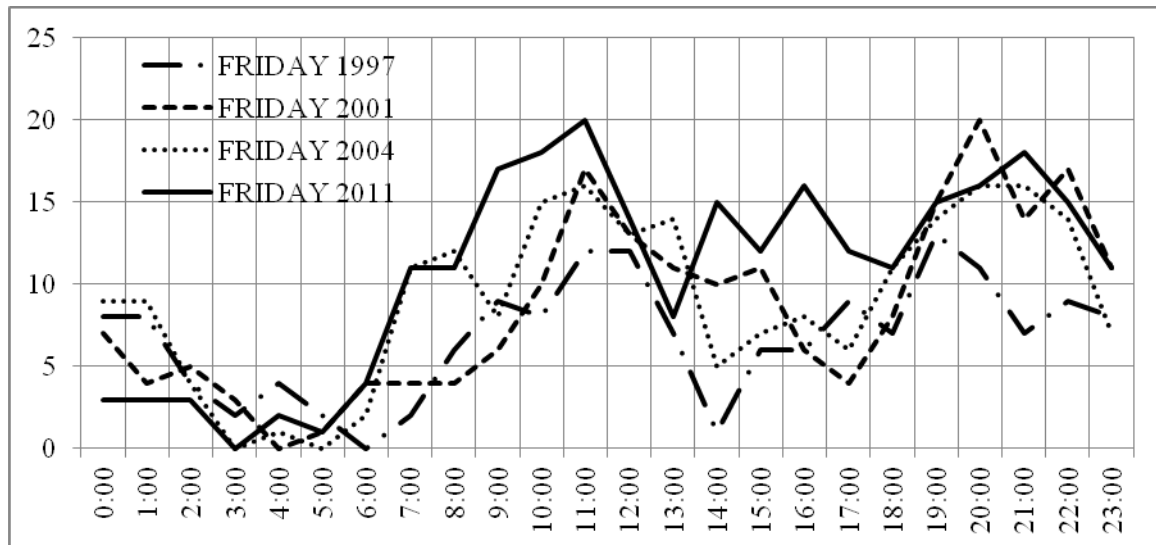
- Υπάρχει μια ξεκάθαρη τάση των αεροπορικών εταιρειών να επιχειρήσουν πτήσεις σε περιόδους που είχαν ζητηθεί αρχικά τα χρονοπαράθυρα τους, που οδηγεί σε υπέρβαση πολλές φορές της δηλωμένης χωρητικότητας του αεροδρομίου.

Επίσης, πραγματοποιείται μία σύγκριση της κατάστασης με προηγούμενα έτη για να διαπιστωθεί κατά πόσον το πρόβλημα είναι διαχρονικό. Έτσι, επιλέγεται για το μήνα Αύγουστο η εβδομάδα με τη μεγαλύτερη κίνηση για τα έτη 1997, 2001, 2004 και γίνεται σύγκριση με το έτος 2011. Ελέγχονται οι πτήσεις που τελικά πραγματοποιήθηκαν σε χαρακτηριστικές ημέρες (επιλέγεται η Δευτέρα καθώς παλαιότερα ήταν η μέρα με τις περισσότερες κινήσεις και η Παρασκευή πως ημέρα με διαχρονικά σημαντικό αριθμό κινήσεων).



Σχήμα 4.3: Πραγματοποιηθείσες κινήσεις αεροσκαφών στον ΚΑΗΚ την ημέρα Δευτέρα (1997-2011)

Από το γράφημα της Δευτέρας, καταρχάς συμπεραίνεται πως η κίνηση έχει αυξηθεί σημαντικά μέσα σε αυτά τα χρόνια. Συνολικά υπήρχαν 149 κινήσεις το 1997, 244 το 2001, 248 το 2004 και 263 το 2011. Παρόλα αυτά, η τάση να δημιουργείται μία πρωινή αιχμή (ώρες 10.00-12.00) και μία απογευματινή αιχμή (19.00-21.00) παραμένει σταθερή (ακόμα και το 1997 που η χωρητικότητα του διαδρόμου ήταν μειωμένη (13 αντί 20). Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί πως το 2011 αναλογικά (με την αύξηση της κίνησης) υπάρχει καλύτερη κατανομή της κίνησης (π.χ. με μόνο μία σημαντική αιχμή το πρωί) ενώ υπάρχουν αρκετές κινήσεις και στη μεσημεριανή ώρα. Αυτό καταδεικνύει την προσπάθεια τόσο των συντονιστών να ικανοποιήσουν τα αιτήματα των εταιρειών ώστε να μην παραβιάζουν τα χρονοπαράθυρα που τους δίνονται αλλά και των εταιρειών να μην δημιουργούν πρόβλημα στο σύστημα του αεροδρομίου.



Σχήμα 4.4: Πραγματοποιηθείσες κινήσεις αεροσκαφών στον ΚΑΗΚ την ημέρα Παρασκευή (1997-2011)

Η ίδια κατάσταση φαίνεται πως επικρατεί και την Παρασκευή. Λόγω της αύξησης των κινήσεων (από 161 το 1997 σε 256 το 2011), παραμένουν οι πρωινές και απογευματινές αιχμές, αλλά η κατανομή των πτήσεων αναλογικά γίνεται καλύτερα (υπάρχει και σχετική μεσημεριανή αιχμή).

Παρά τη διαφαινόμενη εξομάλυνση των αιχμών είναι φανερό πως εξακολουθούν να παρατηρούνται συγκεντρώσεις πτήσεων, ειδικά κατά την πρωινή αιχμή (1100-1200), ενώ υπάρχουν άλλα ωραία διαστήματα ακόμα και μέσα στη μέρα (π.χ. 1300-1400) με αξιοποίηση της χωρητικότητας κάτω από το μισό. Κάτι τέτοιο δημιουργεί προβλήματα συμφόρησης τα οποία μπορούν να επιλυθούν μόνο με μία δυναμική ανακατανομή των χρονοπαραθύρων.

Αντίστοιχες παρατηρήσεις από παραβιάσεις χρονοπαραθύρων έχουν γίνει και σε άλλες εργασίες [40].

4.3 Ανάλυση προορισμών ΚΑΗΚ

Στις επόμενες παραγράφους επιχειρείται μία ανάλυση της κίνησης του ΚΑΗΚ όσον αφορά τους προορισμούς και τις αεροπορικές εταιρείες που εξυπηρετούνται και αναζητούνται πιθανές αιτίες της παραπάνω παραβατικής συμπεριφοράς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα στοιχεία χρονοπαραθύρων του 2011.

Από την ανάλυση των τελικών κατανεμημένων χρονοπαραθύρων για τη θερινή περίοδο του 2011 προκύπτει ο Πίνακας 4.3 που δείχνει τις χώρες που εξυπηρετούνται από τον ΚΑΗΚ, το πλήθος των αεροπορικών που εξυπηρετεί κάθε χώρα, τον αριθμό των χρονοπαραθύρων (ανά εβδομάδα που ζητήθηκαν) και τις συνολικές θέσεις.

Χώρα	Πλήθος Αεροπορικών Εταιρειών	Ζητηθέντα Χρονοπαράθυρα	Πλήθος διαφορετικών αεροδρομίων	Σύνολο Προσφερόμενων Θέσεων
Γερμανία	9	120	21	22160
Γαλλία	7	84	16	14800
Αγγλία	8	79	14	16114
Ρωσία	10	78	11	16640
Ιταλία	18	74	11	12676
Ολλανδία	2	62	4	11453
Τσεχία	4	61	4	10205
Πολωνία	7	41	8	7023
Ελβετία	4	27	5	4568
Βέλγιο	2	24	2	4016
Ισραήλ	5	20	1	3377
Αυστρία	2	17	4	2747
Σλοβενία	2	12	3	2025
Σερβία	1	9	1	1081
Δανία	3	6	2	1155
Ρουμανία	3	6	4	918
Λεττονία	2	5	1	686
Ουγγαρία	2	5	1	956
Αλβανία	2	4	1	296
Κύπρος	1	4	1	267
Νορβηγία	3	4	1	916
Σουηδία	4	4	2	891
Εσθονία	2	3	1	426
Λουξεμβούργο	1	3	1	513
Λευκορωσία	1	2	1	296
Βουλγαρία	1	1	1	110
Ισπανία	1	1	1	180
Μολδαβία	1	1	1	114
Πορτογαλία	1	1	1	237
Τουρκία	1	1	1	159
Φινλανδία	1	1	1	227

Πίνακας 4.3: Χώρες προέλευσης ΚΑΗΚ (2011)

Στην επόμενη φάση γίνεται μία ανάλυση των πιο δημοφιλών προορισμών (εξωτερικού) από το Ηράκλειο (σε σχέση πάντα με τον αριθμό των χρονοπαραθύρων που ανατέθηκαν). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.4.

Αεροδρόμιο	Αριθμός Χρονοπαραθύρων	Αεροδρόμιο	Αριθμός Χρονοπαραθύρων
Άμστερνταμ	48	Βρυξέλλες	16
Μόσχα (DME)	36	Κίεβο (KBP)	15
Πράγα	31	Παρίσι (ORY)	13
Παρίσι (CDG)	30	Λυών	12
Λονδίνο (LGW)	29	Μόναχο	12
Μιλάνο (MXP)	26	Ντίσελντορφ	12
Μόσχα (SVO)	21	Κατοβίτσε	11
Τελ Αβίβ	19	Βερόνα	11
Μπρατισλάβα	18	Λειψία	10
Ρώμη (FCO)	18	Αγ. Πετρούπολη	10
Ζυρίχη	18	Στουτγάρδη	10
Μάντσεστερ	18	Φρανκφούρτη	10
Βαρσοβία	18	Βιέννη	10

Πίνακας 4.4: Πίνακας προορισμών με τα περισσότερα χρονοπαράθυρα

Επιχειρώντας μία γεωγραφική κατανομή των σημαντικότερων χωρών/προορισμών ώστε να κατανοηθεί ο ρόλος της θέσης του αεροδρομίου ΚΑΗΚ (και γενικότερα της Ελλάδας) σχεδιάζεται ο χάρτης του Σχήματος 4.5. Για το χάρτη αυτό έχουν επιλεγεί οι 10 χώρες με τα περισσότερα χρονοπαράθυρα και από κάθε χώρα ο προορισμός που εξυπηρετείται με περισσότερες πτήσεις (συνδυασμός των Πινάκων 4.3 και 4.4).



Σχήμα 4.5: Χάρτης κυριότερων προορισμών από ΚΑΗΚ

Επιπλέον, γίνεται μία καταγραφή της απόστασης των παραπάνω προορισμών από τον ΚΑΗΚ που φαίνεται στον Πίνακα 4.5:

Αεροδρόμιο	Απόσταση (km) από ΚΑΗΚ
Μόναχο (MUC)	1818
Παρίσι (CDG)	2393
Λονδίνο (LGW)	2683
Μόσχα (DME)	2434
Μιλάνο (MXP)	1797
Άμστερνταμ (AMS)	2483
Πράγα (PRG)	1863
Βαρσοβία (WAW)	1899
Ζυρίχη (ZRH)	1928
Βρυξέλλες (BRU)	2397
Μέση απόσταση	2169.5

Πίνακας 4.5: Κύριοι προορισμοί και αποστάσεις από ΚΑΗΚ

4.4 Παραβάσεις χρήσης χρονοπαραθύρων στον ΚΑΗΚ

4.4.1 Είδος και πλήθος παραβάσεων χρονοπαραθύρων

Στον ΚΑΗΚ εντοίζονται δύο κυρίως προβλήματα από παράβαση χρήσης των χρονοπαραθύρων: Το πρώτο (που είναι και το σημαντικότερο) έχει να κάνει με τη μη τήρηση από μέρους των εταιρειών των χρονικών πλαισίων που υπαγορεύονται από την κατανομή ενός χρονοπαραθύρου. Το δεύτερο έχει να κάνει με τη χρήση άλλου τύπου αεροσκάφους το οποίο μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα τόσο στη χωρητικότητα του δαπέδου στάθμευσης (μεγαλύτερο αεροσκάφος απαιτεί άλλη θέση στάθμευσης) όσο και στη χωρητικότητα του αεροσταθμού (μεγαλύτερο αεροσκάφος απαιτεί περισσότερες υποδομές στον αεροσταθμό).

Στην παρακάτω ανάλυση εντοπίζονται τα προβλήματα που οφείλονται σε παραβάσεις των χρονοπαραθύρων σε σχέση με το χρόνο.

Στατιστικά, μελετώντας τις παραβάσεις για δύο Κυριακές του Αυγούστου 2011 (7 και 14/8) θεωρούμε πως ένα χρονοπαραθύρο έχει παραβιαστεί όταν το αεροσκάφος προσγειώνεται με απόκλιση μεγαλύτερη του τετάρτου από το κατανεμηθέν χρονοπαραθύρο.

Παράβαση		Αριθμός πτήσεων 7/8	Αριθμός πτήσεων 14/8	Σύνολο πτήσεων	Αριθμός πτήσεων που είχαν ζητήσει διαφορετικό χρονοπαράθυρο
Πραγματοποιηθείσες κινήσεις μετά τον προγραμματισμένο χρόνο	15<Απόκλιση<60 λεπτά	29	25	54	6
	Απόκλιση >60 λεπτά	18	17	35	13
Πραγματοποιηθείσες κινήσεις πριν τον προγραμματισμένο χρόνο	-15 <Απόκλιση <-60 λεπτά	17	22	39	4
	Απόκλιση <-60 λεπτά	9	11	20	15

Πίνακας 4.6: Παραβάσεις χρήσης χρονοπαράθυρων για Κυριακή 7 και 14/8/2011 ΚΑΗΚ

Στον παραπάνω Πίνακα αξίζει να σημειωθούν μερικά στοιχεία που βοηθούν στη μελέτη του:

- Ο αριθμός των πτήσεων με απόκλιση παραμένει περίπου ο ίδιος και για τις δύο Κυριακές που μελετήθηκαν,
- Οι πτήσεις οι οποίες παρουσίαζαν απόκλιση τη μία Κυριακή, παρουσίασαν σε συντριπτικό ποσοστό και την άλλη,
- Ένα ποσοστό των πτήσεων που παρουσίασαν απόκλιση από το χρονοπαράθυρο οφείλεται σε εξωγενείς καθυστερήσεις (εναέρια κυκλοφορία, τεχνικά προβλήματα κτλ)
- Για την Κυριακή υπήρχαν συνολικά 35 αιτήματα για διαφορετικά χρονοπαράθυρα. Από αυτές τις 35 περιπτώσεις:
 - ο 9 πτήσεις (ποσοστό 25.7%) τήρησαν το κατανεμηθέν χρονοπαράθυρο (παρά το αίτημα αλλαγής)
 - ο 7 πτήσεις δεν πραγματοποιήθηκαν (ή έγιναν άλλη μέρα)
 - ο 19 πτήσεις (ποσοστό 54.3%) πραγματοποιήθηκαν σε χρονοπαράθυρο πολύ κοντινό αυτό του ζητηθέντος

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό πως οι εταιρείες που δεν έχουν λάβει τα χρονοπαράθυρα που ζήτησαν τείνουν παρόλα αυτά (σε ποσοστό > 50%) να επιχειρούν – παραβιάζοντας βέβαια τους κανονισμούς- στα χρονικά διαστήματα που διευκολύνονται.

4.4.2 Χαρακτηριστικά εταιρειών που παραβιάζουν χρονοπαράθυρα

Στον Πίνακα 4.7 συγκεντρώνονται τα χαρακτηριστικά των εταιρειών που πραγματοποίησαν τις παραβάσεις του Πίνακα 4.6 και είχαν ζητήσει διαφορετικό χρονοπαράθυρο.

Α/Α εταιρείας	Χώρα προέλευσης	Αριθμός αεροσκαφών εταιρείας	Είδος εταιρείας	Αρ. παραβάσεων	Είδος παράβασης
1	Πολωνία	8	Charter	2	-60 min < άφιξη < -15 min
				2	άφιξη < -60min
				2	15 min < άφιξη < 60 min
				2	άφιξη > 60min
2	Ρωσία	8	Charter	2	-60 min < άφιξη < -15 min
3	Ρωσία	43	Scheduled + Charter	4	άφιξη < -60min
4	Ρωσία	2	Scheduled + Charter	2	άφιξη < -60min
5	Ιταλία	3	Charter	2	άφιξη < -60min
6	Ιταλία	6	Charter	1	άφιξη < -60min
7	Ιταλία	1	Charter	2	15 min < άφιξη < 60 min
8	Ιταλία	7	Scheduled + Charter	1	15 min < άφιξη < 60 min
9	Ιταλία	6	Charter	1	άφιξη > 60min
10	Τσεχία	2	Charter	2	άφιξη < -60min
11	Τσεχία	13	Charter	2	άφιξη > 60min
12	Εσθονία	3	Scheduled + Charter	2	άφιξη > 60min
13	Ουκρανία	2	Charter	2	άφιξη > 60min
14	Ολλανδία	22	Scheduled + Charter	1	15 min < άφιξη < 60 min
15	Γερμανία	28	Scheduled + Charter	1	άφιξη > 60min
16	Ισραήλ	2	Charter	1	άφιξη > 60min
17	Λετονία	2	Charter	1	άφιξη > 60min
18	Σουηδία	1	Charter	1	άφιξη > 60min

Πίνακας 4.7: Χαρακτηριστικά εταιρειών που πραγματοποίησαν παραβάσεις χρονοπαράθρων τις Κυριακές 7 και 14/8/2011

Επιχειρώντας μία γενικότερη καταγραφή του προβλήματος των εταιρειών που έχουν ζητήσει διαφορετικές χρονοπαράθυρα και κατά πόσον τελικά τις παραβιάζουν προκειμένου να εξυπηρετηθούν, εξετάζονται σε διάστημα μιας εβδομάδας (1-7/8/2011) οι εταιρείες που είχαν αιτηθεί διαφορετικό χρονοπαράθυρο και εντοπίζεται αν και κατά πόσον πραγματοποίησαν παράβαση του επίσημα κατανεμηθέντος χρονοπαράθρου τους. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 4.8.

Χώρα προέλευσης	Πλήθος εταιρειών με αιτήματα	Συνολικός αριθμός αιτημάτων (1-14/08/2011)	Παραβάσεις σε διάστημα 2 εβδομάδων	Ποσοστό παραβατικής συμπεριφοράς
Εσθονία	2	2	2	100.00%
Σλοβενία	1	2	2	100.00%
Πολωνία	3	24	22	91.67%
Αλβανία	1	4	3	75.00%
Ουκρανία	2	4	3	75.00%
Ελβετία	3	7	5	71.43%
Ισραήλ	3	7	5	71.43%
Τσεχία	3	6	4	66.67%
Ρωσία	6	36	18	50.00%
Σερβία	2	4	2	50.00%
Ουγγαρία	1	2	1	50.00%
Σουηδία	1	2	1	50.00%
Γαλλία	3	19	8	42.11%
Ιταλία	7	28	11	39.29%
Γερμανία	6	30	8	26.67%
Ολλανδία	2	12	2	16.67%
Αγγλία	4	12	0	0.00%
Βέλγιο	1	2	0	0.00%

Πίνακας 4.8: Χαρακτηριστικά παραβάσεων χρονοπαραθύρων σε σχέση με τα αιτήματα για διαφορετικές χρονοπαράθυρα στο διάστημα 01-14/08/2011 ΚΑΗΚ

Από τη μελέτη των παραπάνω Πινάκων και αντιπαραβάλλοντας τα στοιχεία του Πίνακα 4.3 εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Χώρες που εξυπηρετούνται με αρκετές εταιρείες (κάτι που φαίνεται από το λόγο αριθμού εταιρειών που εξυπηρετούν μια χώρα προς τον αριθμό των χρονοπαραθύρων που έχουν ζητήσει) όπως η Ιταλία (0.24), η Πολωνία (0.17) ή η Ρωσία (0.13) παρουσιάζουν τις περισσότερες παραβάσεις που έχουν να κάνουν με τη χρήση διαφορετικών χρονοπαραθύρων. Αντίστοιχα, χώρες με μικρότερο λόγο όπως η Αγγλία (0.11), η Γαλλία (0.08), η Γερμανία (0.075) δεν έχουν την τάση να παραβιάζουν χρονοπαράθυρα.
- Το παραπάνω γεγονός ενισχύεται αν παρατηρήσει κανείς το μέγεθος του στόλου των αεροσκαφών των εταιρειών που εξυπηρετούν το συγκεκριμένο δρομολόγιο. Εταιρείες με μικρό στόλο αεροσκαφών που ειδικεύονται στις ναυλωμένες πτήσεις έχουν πολύ μεγαλύτερη τάση παραβάσεων απ' ότι εταιρείες με μεγαλύτερο στόλο που μπορεί να πραγματοποιούν και προγραμματισμένες πτήσεις.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις σε συνδυασμό με δεδομένα του Σχήματος 4.2, εισάγουν τον προβληματισμό του γιατί συγκεντρώνονται τα αιτήματα (και επομένως οι μεγάλες αποκλίσεις) των αεροπορικών εταιρειών σε χρονοπαράθυρα που εντοπίζονται στο Σχήμα 4.1 (διαστήματα 08.00-12.00 και 17.00-21.00). Για την απάντηση στο ερώτημα αυτό μελετάται το δίκτυο και το πτητικό πρόγραμμα των αεροπορικών εταιρειών που επιχειρούν στον ΚΑΗΚ και πιο συγκεκριμένα εταιρειών από τις πέντε βασικές χώρες του Πίνακα 4.3.

4.5 Ο ρόλος των δικτύων των αεροπορικών εταιρειών στην

κατανομή των χρονοπαραθύρων

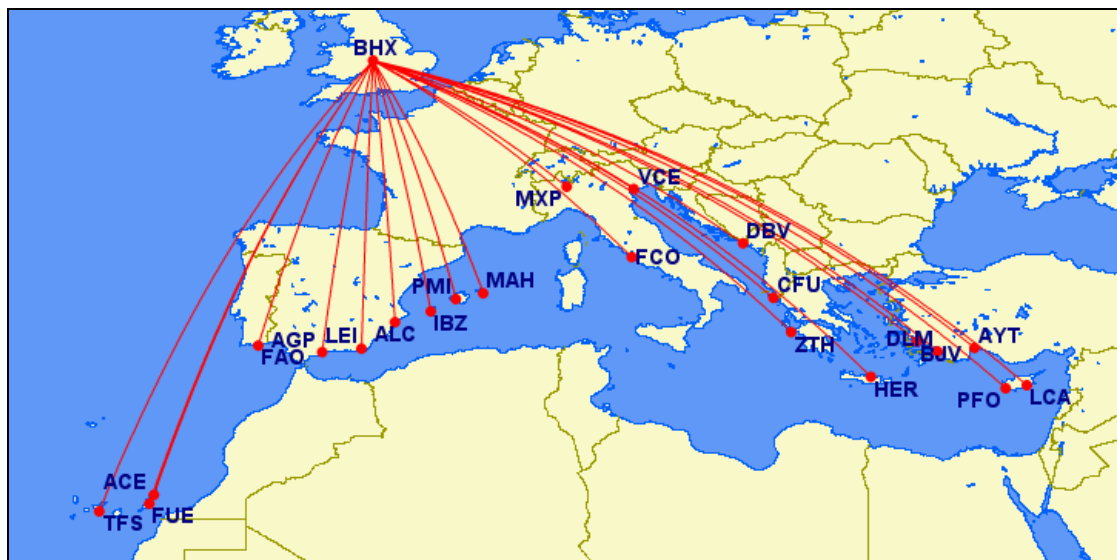
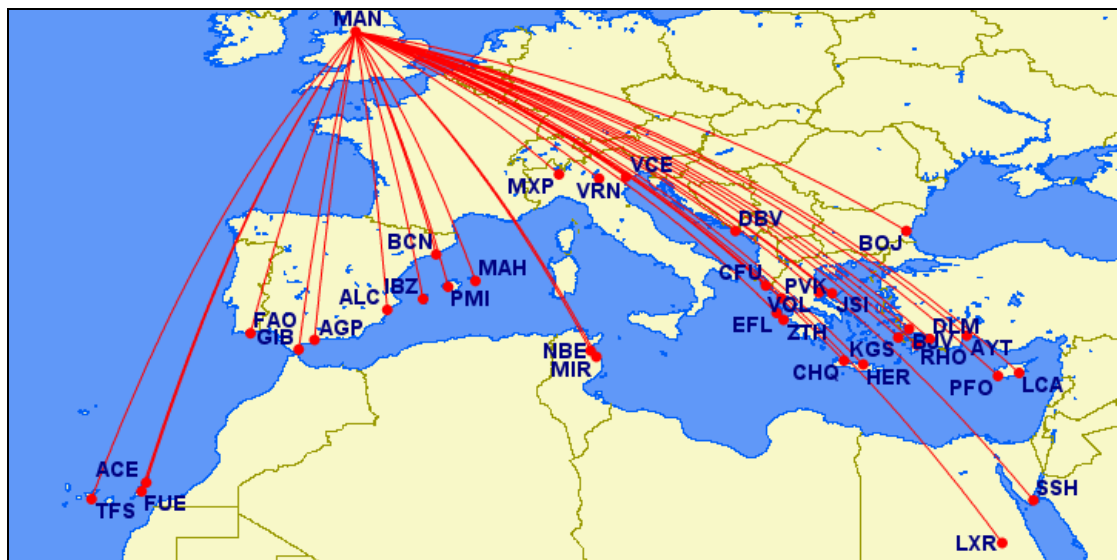
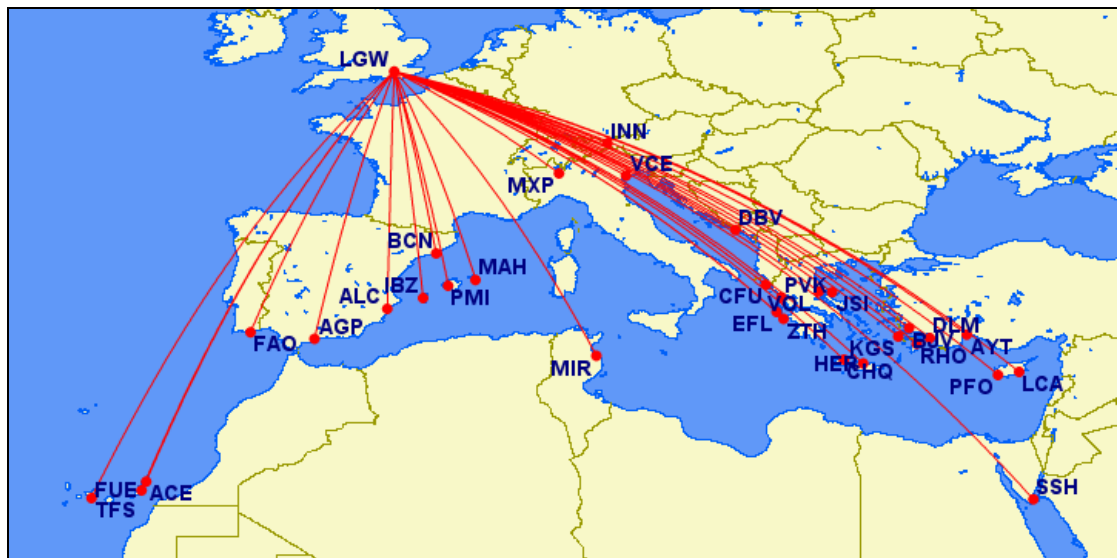
Ήδη από το Σχήμα 4.3 έχει φανεί η ιδιαίτερη θέση του αεροδρομίου Ηρακλείου (αλλά και της Ελλάδας γενικότερα) ως προς τα κέντρα προέλευσης των περισσότερων πτήσεων της θερινής περιόδου (η Ελλάδα βρίσκεται στη γωνία της Ευρώπης σε αποστάσεις όπως αυτές του Πίνακα 4.5 από τις περισσότερες πόλεις της Ευρώπης). Επιλέγουμε προς μελέτη μερικά δίκτυα αεροπορικών εταιρειών από κάθε χώρα (από τις 5 πρώτες) του Πίνακα 4.3.

4.5.1 Παραδείγματα δικτύων αεροπορικών εταιρειών

4.5.1.1 Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Monarch (Αγγλία)

Η αεροπορική εταιρεία ειδικεύεται στις ναυλωμένες πτήσεις (αν και έχει ξεκινήσει και προγραμματισμένες) και επιχειρεί βασικά από τέσσερα αγγλικά αεροδρόμια με ένα σύνολο 32 αεροσκαφών.

Η εταιρεία επιχειρεί σε προορισμούς της Ελλάδας, στα παράλια της Τουρκίας, στην Κύπρο και στην Αίγυπτο (παρόμοια απόσταση περίπου) και σε πιο κοντινούς προορισμούς στα παράλια της Ισπανίας, στην Τυνησία, στα Κανάρια νησιά. Το δίκτυο από τις 4 βάσεις της μοιάζει πάρα πολύ, όπως φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες που απεικονίζουν τους προορισμούς της εταιρείας από το Λονδίνο (LGW), το Μπέρμινγχαμ (BHX) και το Μάντσεστερ (MAN).



Σχήμα 4.6: Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Monarch

4.5.1.2 Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Hamburg Airways (Γερμανία)

Η αεροπορική εταιρεία Hamburg Airways πετάει από πολλές γερμανικές πόλεις (όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 4.3, η Γερμανία είναι η χώρα με τα περισσότερα αεροδρόμια (21) που εξυπηρετούνται) προς προορισμούς στην Ελλάδα, στα παράλια της Τουρκίας, στα παράλια της Ισπανίας και στα Κανάρια νησιά, στην Αίγυπτο και μερικοί ή άλλους προορισμούς. Έχει στο στόλο της 4 αεροσκάφη.

Επιλέγονται 3 προορισμοί-βάσεις της εταιρείας και απεικονίζεται το δίκτυο στο επόμενο Σχήμα.





Σχήμα 4.7: Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Hamburg Airways

4.5.1.3 Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Nord Wind Airlines (Ρωσία)

Τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης εισροής τουριστών από τη Ρωσία έχει αυξηθεί και ο αριθμός των εταιρειών που επισκέπτονται τα ελληνικά αεροδρόμια. Ένα παράδειγμα τέτοιας εταιρείας είναι η Nord Wind που έχει στόλο 13 αεροσκαφών. Η κύρια πόλη από την οποία επιχειρούν οι αεροπορικές εταιρείες είναι η Μόσχα (SVO, DME) αλλά πολλές εταιρείες (όπως η Nord Wind) εκτελούν και πτήσεις από άλλα αεροδρόμια. Για παράδειγμα, το δίκτυο της Nord Wind από τη Μόσχα είναι το ακόλουθο:

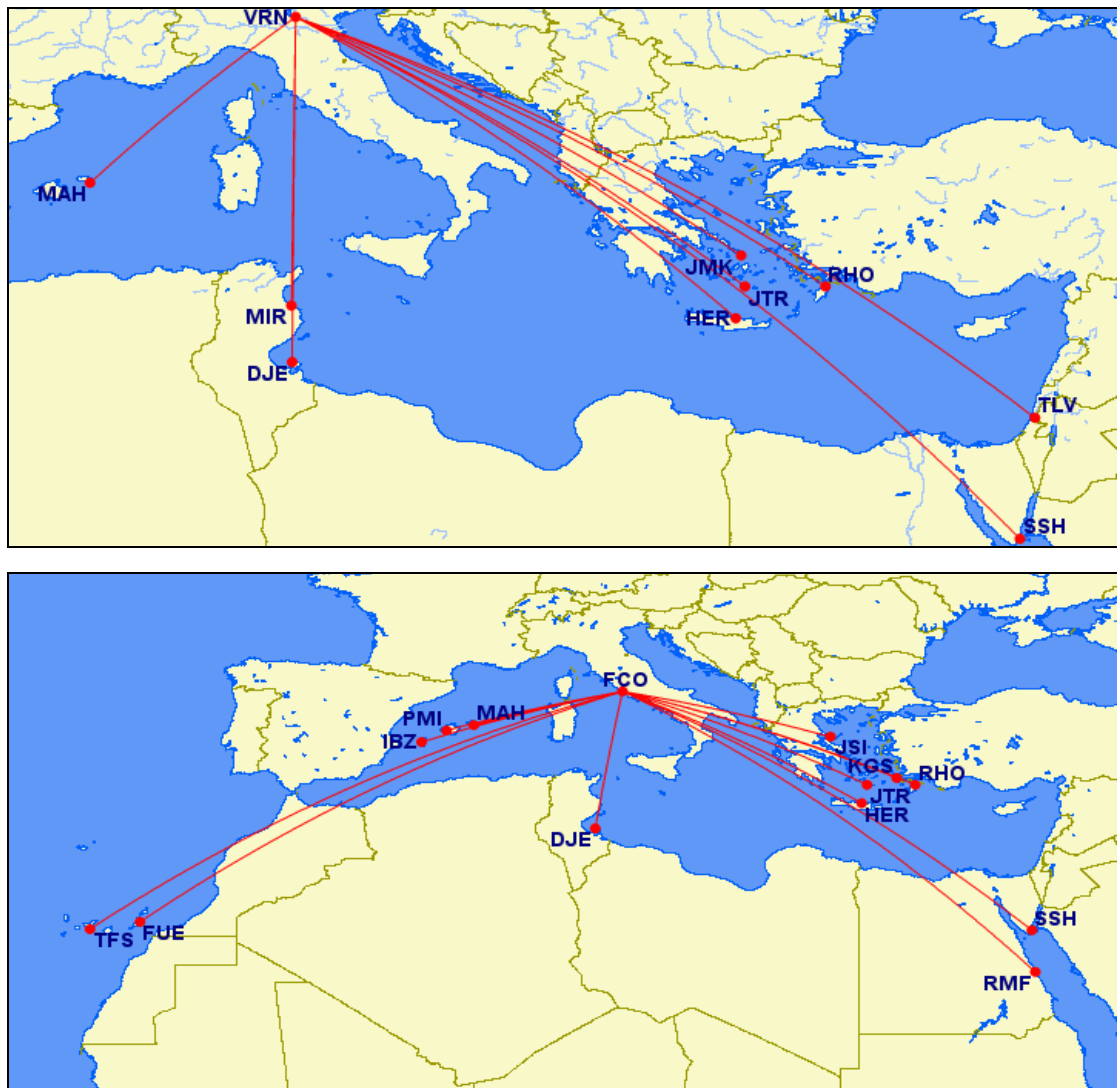


Σχήμα 4.8: Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Nord Wind Airlines

Καλύπτει πόλεις στην Ελλάδα, τα τουρκικά και ισπανικά παράλια, την Αίγυπτο, τη Σικελία, την Τυνησία.

4.5.1.4 Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Livingston (Ιταλία)

Η αεροπορική εταιρεία Livingston επιχειρεί από διάφορες πόλεις της Ιταλίας προς διάφορους προορισμούς αναψυχής. Διαθέτει 3 αεροσκάφη μέσης απόστασης με τα οποία πραγματοποιεί ναυλωμένες πτήσεις σε αρκετούς προορισμούς. Το δίκτυό της από 3 ιταλικές πόλεις φαίνεται στο επόμενο Σχήμα:

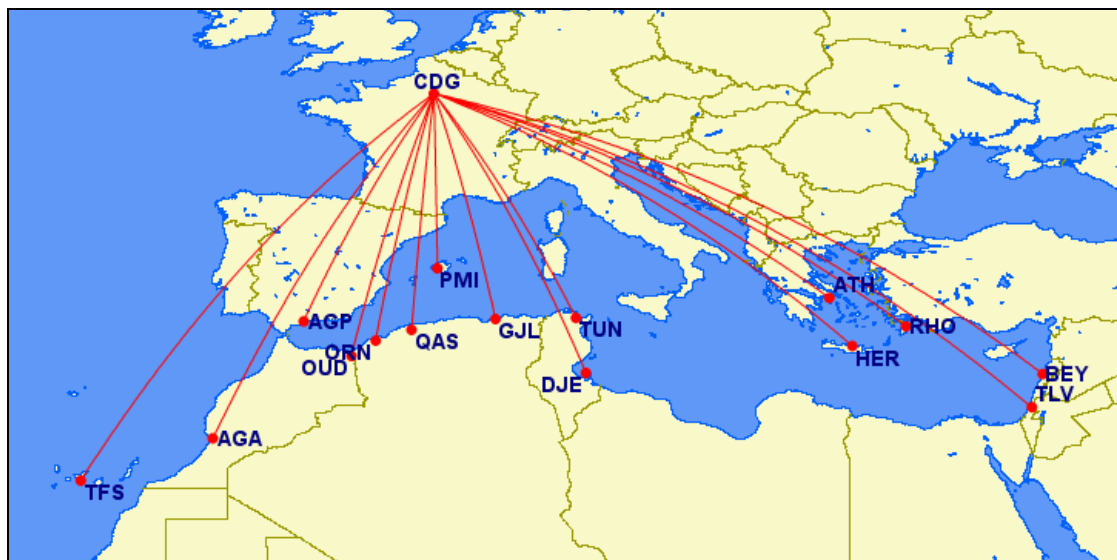




Σχήμα 4.9: Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Livingston

4.5.1.5 Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Air Méditerranée (Γαλλία)

Οι γαλλικές πόλεις συνδέονται με αρκετές ελληνικές (όπως και την Αθήνα). Η Air Méditerranée αποτελεί μία από τις εταιρείες που εξυπηρετούν την κίνηση. Το δίκτυο από 3 πόλεις της Γαλλίας φαίνεται στα ακόλουθα Σχήματα:





Σχήμα 4.10: Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας Air Méditerranée

4.5.2 Συγκεντρωτικά χαρακτηριστικά δικτύου αεροπορικών εταιρειών

Το Σχήμα 4.11 δείχνει εποπτικά την απόσταση του Ηρακλείου από τις 5 (κύριες) πόλεις που εξετάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Ο Πίνακας 4.9 συνοψίζει τα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου των αεροπορικών εταιρειών (όπως εξάχθηκαν από τους παραπάνω χάρτες) και πιο συγκεκριμένα παρουσιάζει ποια είναι η μέση απόσταση που διανύεται προς τους προορισμούς της εταιρείας από 5 βασικά αεροδρόμια (ένα ανά βασική χώρα) και πόσος είναι ο χρόνος ανακύκλωσης της πτήσης δηλαδή πόσο χρόνο απασχολείται ένα αεροσκάφος για να εκτελέσει μία πτήση για Ηράκλειο (συμπεριλαμβάνεται ο χρόνος πτήσης, οι χρόνοι τροχοδρόμησης και στα δύο αεροδρόμια και ο χρόνος εξυπηρέτησης στο αεροδρόμιο Ηρακλείου).



Σχήμα 4.11: Αποστάσεις 5 πόλεων των 5 κυριότερων χωρών προέλευσης από ΚΑΗΚ

Χώρα	Αεροδρόμιο	Μέση απόσταση προορισμών (μίλια)	Τυπική Απόκλιση απόστασης προορισμών (μίλια)	Απόσταση η HER (μίλια)	Block Time inbound+ Turn Around + Block Time outbound (ώρες:λεπτά)	Total Time (ώρες: λεπτά)
Αγγλία	Λονδίνο (LGW)	1374.6	460	1667	3:40 + 0:45 + 3:55	8:20
Γερμανία	Μύνστερ (FMO)	1771.9	330	1487	3:15 + 0:45 + 3:25	7:25
Ρωσία	Μόσχα (SVO)	1768	290	1538	3:55 + 1:00 + 3:45	8:40
Ιταλία	Μιλάνο (MXP)	1068.2	500	1117	2:55 + 0:50 + 2:40	6:35
Γαλλία	Παρίσι (CDG)	1259.8	435	1445	3:45 + 0:50 + 3:40	7:15

Πίνακας 4.9: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικών δικτύου αεροπορικών εταιρειών

Ο Πίνακας 4.9 παρουσιάζει μερικά πολύ βασικά χαρακτηριστικά που παίζουν μεγάλο ρόλο στη μελέτη των προβλημάτων των χρονοπαραθύρων των αεροδρομίων:

- Με εξαίρεση την Ιταλία, τα αεροδρόμια των υπολοίπων 4 χωρών εξυπηρετούν προορισμούς που έχουν παρόμοιες αποστάσεις από το αεροδρόμιο βάσης. Χαρακτηριστικό είναι πως το Ηράκλειο απέχει σχεδόν εξίσου από αυτά τα αεροδρόμια, κάτι το οποίο δείχνει πως αεροσκάφη τα οποία αναχωρούν παρόμοιες ώρες από αυτά τα αεροδρόμια θα έχουν και παρόμοιες ώρες άφιξης στο Ηράκλειο
- Παρατηρώντας και τα δίκτυα των αεροπορικών εταιρειών που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες Παραγράφους, συμπεραίνει κανείς πως οι προορισμοί που

εξυπηρετούνται είναι παρόμοιοι (κάτι το οποίο δικαιολογεί και το γεγονός των παρόμοιων αποστάσεων). Οι περισσότερες εταιρείες που ασχολούνται με τον τομέα των ναυλωμένων πτήσεων έχουν προορισμούς:

- ο Στην Ελληνική επικράτεια (ιδίως στα νησιά)
- ο Στα Τουρκικά παράλια
- ο Στα Αιγυπτιακά θέρετρα
- ο Στα παράλια της Βορείου Αφρικής (Αλγερία, Τυνησία)
- ο Στα παράλια της Ισπανίας
- ο Στις Βαλεαρίδες νήσους

Ανάλογα βέβαια με τις προτιμήσεις των χωρών κάποιοι προορισμοί ενισχύονται περισσότερο ή λιγότερο (για παράδειγμα η Γαλλία έχει ισχυρό δίκτυο προς πολλές πόλεις της Αλγερίας λόγω των ισχυρών πολιτικών και κοινωνικών δεσμών ενώ η Ρωσία δε φαίνεται να έχει δίκτυο προς τις Βαλεαρίδες νήσους ίσως και λόγω της πολύ μεγάλης απόστασης).

Οι παραπάνω παρατηρήσεις οδηγούν στο συμπέρασμα πως αρκετές αεροπορικές εταιρείες παρουσιάζουν παρόμοια δίκτυα κάτι το οποίο υπαγορεύεται από τις αποστάσεις των προορισμών (τουριστικά θέρετρα). Η Πόμπηνη παράγραφος έχει σαν στόχο να καταδείξει τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στο πρόγραμμα πτήσεων που εκτελεί μια αεροπορική εταιρεία και στα χρονοπαράθυρα που ζητάει και είναι φυσικά άμεση απόρροια του δικτύου που καλείται να εξυπηρετήσει.

4.6 Ο ρόλος των προγραμμάτων πτήσεων των αεροπορικών εταιρειών στην κατανομή χρονοπαραθύρων

Οι εταιρείες που εκτελούν ναυλωμένες πτήσεις έχουν μερικά βασικά χαρακτηριστικά:

- Καλούνται να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένη ζήτηση επιβατών σε πολύ συγκεκριμένες μέρες που έχουν να κάνουν με τον τρόπο οργάνωσης των πρακτορείων εκδρομών (tour operators)
- Πολλές φορές το πρόγραμμά τους υπόκειται σε περιορισμούς που θέτουν τα πρακτορεία εκδρομών (tour operators) και έχουν να κάνουν με τα πακέτα που καθορίζονται. Για παράδειγμα στο Ηράκλειο υπάρχουν πακέτα που αναχωρούν για άλλα μέρη του νησιού και πρέπει να γίνει ταυτόχρονα οπότε απαιτείται να προσγειωθούν οι πτήσεις της εταιρείας που μεταφέρει τους επιβάτες σε παρόμοια

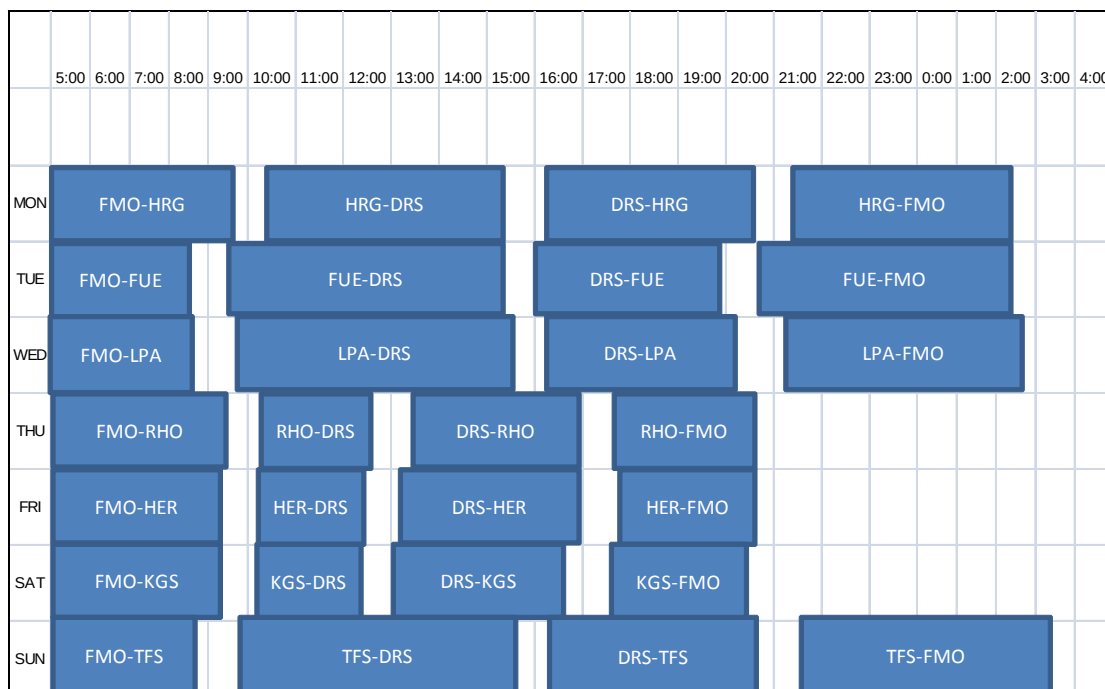
ώρα την ίδια μέρα ή οι περιορισμοί των ξενοδοχείων σε σχέση με τις ώρες εισόδου/εξόδου από τα δωμάτια.

- Προκειμένου να εξυπηρετήσουν τη ζήτηση με τις παραπάνω προϋποθέσεις, οι αεροπορικές εταιρείες επιχειρούν με αεροσκάφη συνήθως μεγάλης χωρητικότητας προσπαθώντας να αυξήσουν το βαθμό χρησιμοποίησης του αεροσκάφους.

Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 4.9 προβαίνουμε σε ένα σχεδιασμό πτήσεων βάσει των προγραμματιών εταιρειών που οι πτήσεις τους ήταν διαθέσιμες από τις ιστοσελίδες τους.

4.6.1 Ενδεικτικό πρόγραμμα εταιρείας με βάση τη Γερμανία

Εξετάζεται το πρόγραμμα πτήσεων της εταιρείας Hamburg Airways και συγκεκριμένα για το αεροσκάφος της εταιρείας με βάση το αεροδρόμιο του Μύνστερ (FMO).



Σχήμα 4.12: Πρόγραμμα αεροσκάφους με βάση το Μύνστερ (FMO)

Από το παραπάνω πτητικό πρόγραμμα γίνονται κατανοητά τα ακόλουθα:

- Η εταιρεία προσπαθεί να αξιοποιήσει στο μέγιστο το ένα αεροσκάφος που διαθέτει στο συγκεκριμένο αεροδρόμιο ξεκινώντας τις πτήσεις αρκετά πρωί (05.00).
- Το “μοτίβο” των πτήσεων παραμένει ίδιο και στις 7 ημέρες της εβδομάδας, η πρώτη πτήση αναχωρεί στις 05.00 από Μύνστερ για το αεροδρόμιο προορισμού και από εκεί αναχωρεί για Δρέσδη, επιστρέφει από τη Δρέσδη και καταλήγει το βράδυ ξανά στο Μύνστερ

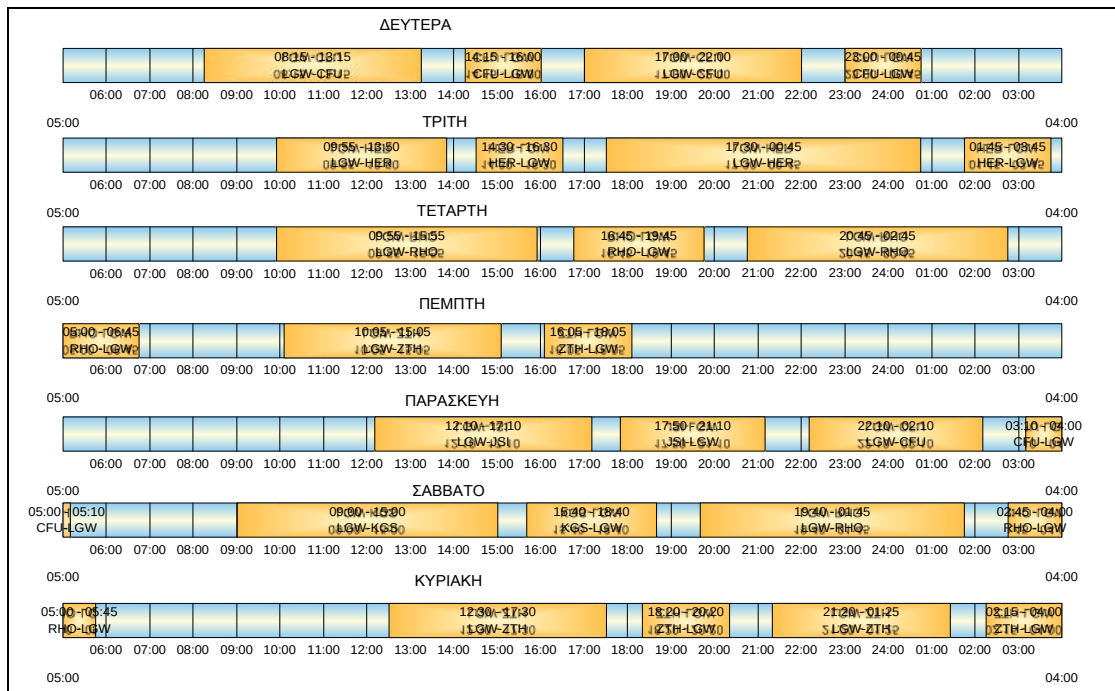
- Από το πτητικό πρόγραμμα φαίνεται πως λόγω των αποστάσεων όλων των προορισμών(οι αποστάσεις είναι παρόμοιες όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.9), η άφιξη στα αεροδρόμια προορισμού (Ελλάδα, Κανάρια, Αίγυπτος) είναι παρόμοια (μεταξύ 0800 και 1000) και αντίστοιχα ακολουθείται το ίδιο πρόγραμμα και στη δεύτερη πτήση που εκτελείται μέσα στη μέρα (άφιξη μεταξύ 1600 και 1900).
- Γίνεται λοιπόν σαφές πως αν όλες οι εταιρείες ακολουθούν ένα παρόμοιο πρόγραμμα πτήσεων σε παρόμοιους προορισμούς (κάτι που φαίνεται από την ανάλυση δικτύων και προορισμών των προηγούμενων Παραγράφων), μοιραία θα δημιουργούνται συνωστισμοί στα αεροδρόμια προορισμού.

4.6.2 Δίκτυο αεροπορικής εταιρείας με βάση την Αγγλία

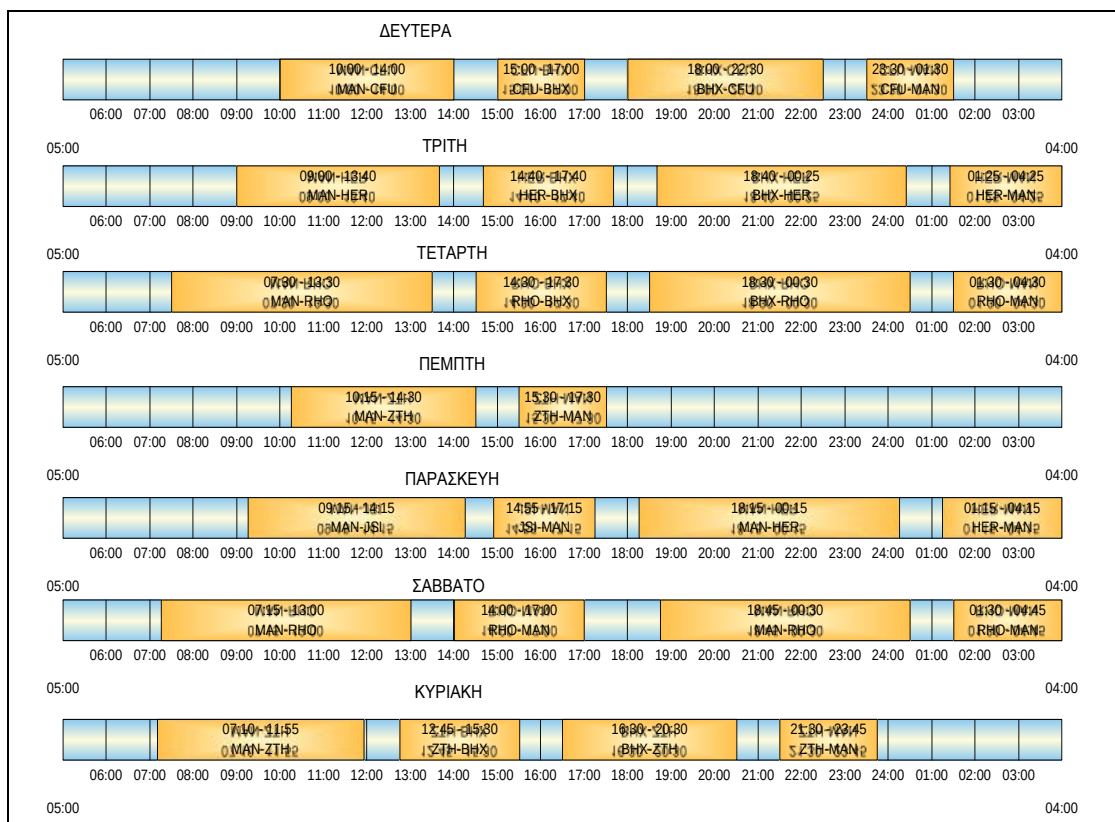
Στην περίπτωση αυτή εξετάζεται το πρόγραμμα της εταιρείας Strategic Airlines που επιχειρεί από το Λονδίνο (LGW) και το Μάντσεστερ (MAN) με ένα στόλο 2 αεροσκαφών (αποκλειστικά ναυλωμένες πτήσεις) και το πρόγραμμα της εταιρείας Monarch που επιχειρεί από το αεροδρόμιο Μπέρμινγχαμ (BHX) με ένα στόλο 6 αεροσκαφών.

Στις επόμενες δύο εικόνες φαίνεται το πρόγραμμα πτήσεων της εταιρείας Strategic από Λονδίνο και Μάντσεστερ. Από τα δύο προγράμματα αυτά φαίνονται τα εξής στοιχεία:

- Η προσπάθεια της εταιρείας να αξιοποιήσει πλήρως τα δύο αεροσκάφη με πτήσεις ενίοτε και κατά τη διάρκεια της νύχτας
- Οι προορισμοί εξυπηρετούνται τις ίδιες μέρες και από τα τρία αεροδρόμια (Λονδίνο (LGW), Μάντσεστερ, Μπέρμινγχαμ) δηλαδή πτήσεις για Κέρκυρα υπάρχουν τη Δευτέρα, για Ηράκλειο την Τρίτη, για Ζάκυνθο την Πέμπτη και την Κυριακή και μάλιστα σε παρόμοιες ώρες (είναι πιθανό τα δύο αεροσκάφη της εταιρείας να συμπέσουν στο αεροδρόμιο προορισμού), το οποίο προφανώς έχει να κάνει με τη φύση των ναυλωμένων πτήσεων που εξυπηρετούν πακέτα στον προορισμό και πρέπει τα γκρουπ των τουριστών να φτάνουν/αναχωρούν από κοινού εξυπηρετώντας τις ανάγκες των ξενοδόχων.



Σχήμα 4.13: Πτητικό πρόγραμμα αεροσκάφους με βάση το Λονδίνο (LGW)



Σχήμα 4.14: Πτητικό πρόγραμμα αεροσκάφους με βάση το Μάντσεστερ (MAN)

Το πρόγραμμα της εταιρείας Monarch με βάση το Μπέρμινγχαμ φαίνεται συνοπτικά παρακάτω:

Προορισμός	Ημέρα	Ώρα αναχ. από BHX	Ώρα άφιξης στον προορισμό	Ώρα αναχ. από προορισμό	Ώρα άφιξης στο BHX		Αρ. πτήσεως προς	Αρ. πτήσεως από
1ST A/C AIRBUS A321								
FAO	X	620	915	1015	1255		402	403
LCA	XE26	1410	2050	2150	105	*	486	487
CHQ	2	1400	2000	2100	2315		1242	1243
PFO	6	1400	2040	2140	50	*	946	947

2ND A/C AIRBUS A321								
PMI	6	615	940	1040	1210		958	959
ALC	XE6	630	1010	1110	1300		496	497
ACE	6	1310	1725	1825	2225		458	459
PMI	5	1355	1720	1820	1950		954	955
TFS	147	1400	1830	1930	2345	*	932	933
PFO	3	1400	2040	2140	50	*	946	947
ACE	2	1410	1825	1925	2325		458	459
IBZ	5	2050	20	320	455	*	906	907
PMI	6	2330	255	355	525	*	956	957

3RD A/C AIRBUS A321								
AGP	XE5	700	1100	1200	1345		970	971
MAH	5	850	1220	1320	1450		942	943
LEI	4	1445	1835	1935	2130		924	925
MAH	1	1445	1810	1910	2045		470	471
TFS	23	1445	1915	2015	30	*	932	933
FCO	7	1455	1855	1940	2135		5402	5403
FUE	6	1545	2005	2105	120	*	438	439
MAH	5	1550	1915	2015	2150		470	471
IBZ	1	2145	115	215	350	*	906	907
IBZ	7	2245	215	315	450	*	902	903
ZTH	4	2330	500	600	745	*	1606	1607
AGP	5	2330	330	430	600	*	972	973

4TH A/C AIRBUS A320								
VCE	246	725	1025	1125	1245		5484	5485
MLP	135	730	1030	1130	1230		5472	5473
VCE	7	730	1040	1140	1300		5484	5485
BJV	5	1330	1935	2035	2300		416	417
PMI	1	1330	1655	1755	1925		954	955
DLM	2	1345	1955	2055	2335		908	909
DLM	47	1400	2010	2110	2335		908	909
DLM	36	1410	2020	2120	2345		908	909
BJV	1	2030	235	335	600	*	416	417

5TH A/C AIRBUS A321								
IBZ	7	45	415	515	650		906	907
PMI	2	620	945	1045	1215		958	959
CFU	1	630	1145	1245	1415		1642	1643

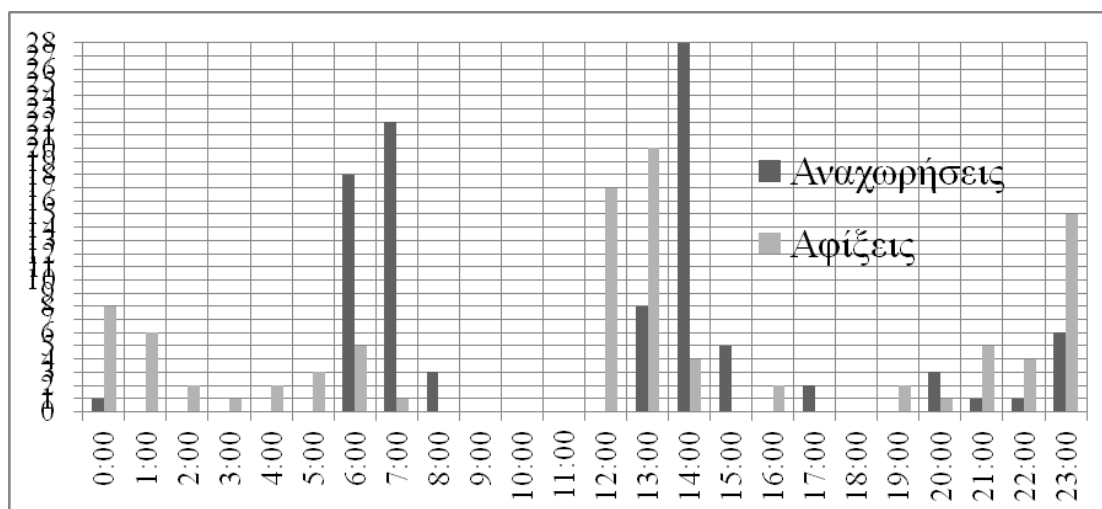
PMI	34	635	1000	1100	1230		958	959
AGP	5	700	1100	1200	1345		970	971
ALC	6	830	1205	1305	1445		496	497
PMI	7	830	1155	1255	1430		958	959
HER	2	1315	1925	2025	2245		914	915
ACE	4	1330	1745	1845	2245		458	459
BJV	3	1330	1935	2035	2300		416	417
TFS	5	1445	1915	2015	30	*	932	933
PFO	7	1530	2210	2310	220	*	946	947
LPA	16	1545	1945	2045	45	*	424	425
IBZ	4	2345	315	415	550	*	906	907

6TH A/C AIRBUS A320								
LEI	1	700	1050	1150	1345		922	923
RHO	3	700	1305	1405	1625		7322	7323
FCO	2456	700	1030	1130	1315		5408	5409
ACE	7	700	1115	1215	1615		454	455
HER	5	1425	2035	2135	2355		914	915
LPA	4	1415	1845	1945	2345		424	425
DBV	26	1415	1805	1905	2110		5436	5437
FUE	3	1715	2135	2235	250	*	438	439
DLM	1	1445	2055	2155	20	*	908	909
MXP	7	1715	2015	2115	2215		5478	5479
AGP	67	2330	330	430	600	*	972	973

Πίνακας 4.10: Πτητικό πρόγραμμα εταιρείας από Μπέρμινχαμ

Από το παραπάνω πρόγραμμα της εταιρείας βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- Υπάρχει ένα συγκεκριμένο μοτίβο στην εκτέλεση των πτήσεων το οποίο έχει εν πολλοίς να κάνει με το δίκτυο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.6 από Μπέρμινχαμ. Αυτό φαίνεται και στο ακόλουθο γράφημα που καταναίμει τις 98 εβδομαδιαίες αναχωρήσεις και αφίξεις της εταιρείας ανά ώρα.



Σχήμα 4.15: Κατανομή αφίξεων και αναχωρήσεων πτήσεων εταιρείας από Μπέρμινχαμ

Τα αεροσκάφη ξεκινούν τις περισσότερες μέρες το πρόγραμμά τους (μεταξύ 0600-0700) με μία πτήση προς τα Ισπανικά παράλια ή την Ιταλία με αποτέλεσμα να επιστρέφουν ξανά στη βάση τους προς το μεσημέρι (1200-1300) και κατόπιν αναχωρούν άμεσα (1300-1400) για κάποιο πιο μακρινό προορισμό όπως η Ελλάδα, τα Τουρκικά παράλια, η Αίγυπτος ή οι Βαλεαρίδες. Στην περίπτωση που το πρόγραμμα το επιτρέπει, μπορεί να εκτελεστεί και τρίτη (βραδινή) πτήση όπως για παράδειγμα στο 3^ο αεροσκάφος (Τετάρτη βράδυ/Πέμπτη βράδυ).

- Η αξιοποίηση των αεροσκαφών είναι επίσης πολύ μεγάλη, απλά λόγω του μεγαλύτερου στόλου υπάρχει δυνατότητα για αλλαγές στα προγράμματα σε περιπτώσεις καθυστερήσεων (κάτι το οποίο διευκολύνεται από τις περίπου κοινές ώρες άφιξης/αναχώρησης) ή η εναλλαγή των αεροσκαφών στις επιπλέον βραδινές πτήσεις ώστε να μη χρησιμοποιείται συνέχεια το ίδιο αεροσκάφος.
- Ο μεγαλύτερος στόλος πέραν του να επιτρέπει περισσότερους προορισμούς και πτήσεις προσφέρει και δυνατότητες εναλλακτικής δρομολόγησης σε ώρες και ημέρες με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν μερικά από τα προβλήματα και οι περιορισμοί που υπάρχουν στις εταιρείες με πολύ μικρό στόλο αεροσκαφών.

4.6.3 Συμπεράσματα από τον προγραμματισμό πτήσεων των εταιρειών

Παρακολουθώντας τα προγράμματα των εταιρειών βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι εταιρείες που εκτελούν αποκλειστικά ναυλωμένες πτήσεις έχουν σα στόχο τη δρομολόγηση των αεροσκαφών σε όσο το δυνατόν περισσότερες πτήσεις μέσα στην ημέρα σε ώρες και ημέρες που εξυπηρετούν περισσότερο την εταιρεία (ή τον tour operator) και με ελάχιστες δυνατότητες εναλλακτικής δρομολόγησης
- Οι εταιρείες με μεγαλύτερο στόλο αεροσκαφών (και που μπορεί να μην εκτελούν αποκλειστικά ναυλωμένες πτήσεις) έχουν περισσότερες δυνατότητες δρομολόγησης των αεροσκαφών με αποτέλεσμα να είναι και πιο ευέλικτες στις ώρες άφιξης/αναχώρησης εφόσον το επιθυμούν

5

Ο αλγόριθμος αναζήτησης αρμονίας (Harmony Search, HS) για την εύρεση της βέλτιστης κατανομής χρονοπαραθύρων

5.1 Γενικά

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός αλγορίθμων για την επίλυση διαφόρων προβλημάτων βελτιστοποίησης με εφαρμογή σε πραγματικά προβλήματα και ειδικά στον κλάδο της αεροπορικής βιομηχανίας. Οι περισσότεροι από αυτούς τους αλγόριθμους βασίζονται σε μεθόδους γραμμικού ή μη-γραμμικού προγραμματισμού και επί της ουσίας προσπαθούν να βελτιώσουν μία λύση “κοντινή” στο σημείο εκκίνησης. Παρόλα αυτά, η σύνθετη φύση των προβλημάτων στον πραγματικό κόσμο πολλές φορές δυσχεραίνει την εύρεση μίας καθολικά βέλτιστης λύσης με χρήση αυτών των αριθμητικών μεθόδων.

Αυτά τα υπολογιστικά μειονεκτήματα των υπαρχόντων αριθμητικών μεθόδων έχουν αναγκάσει τους ερευνητές να στραφούν σε ενισχυμένους ευριστικούς αλγορίθμους που βασίζονται σε προσομοιώσεις με στόχο την επίλυση προβλημάτων βελτιστοποίησης. Κοινός παρανομαστής των ευριστικών αλγορίθμων είναι πως συνδυάζουν απλούς κανόνες και την

τυχαιότητα με στόχο να μιμηθούν φυσικά φαινόμενα. Τέτοια φαινόμενα περιλαμβάνουν τη βιολογική εξελικτική διαδικασία π.χ. τον εξελικτικό αλγόριθμο [21][31][42], το γενετικό αλγόριθμο (GA) [34][37], τη συμπεριφορά των ζώων π.χ., Tabu Search [33], την προσομοιωμένη απόπτηση [41][32]. Ο γενετικός αλγόριθμος αποτελεί έναν (καθολικό) αλγόριθμο αναζήτησης που βασίζεται σε έννοιες από τη φυσική γενετική και την αρχή του Δαρβίνου περί επιβίωσης του ισχυρότερου.

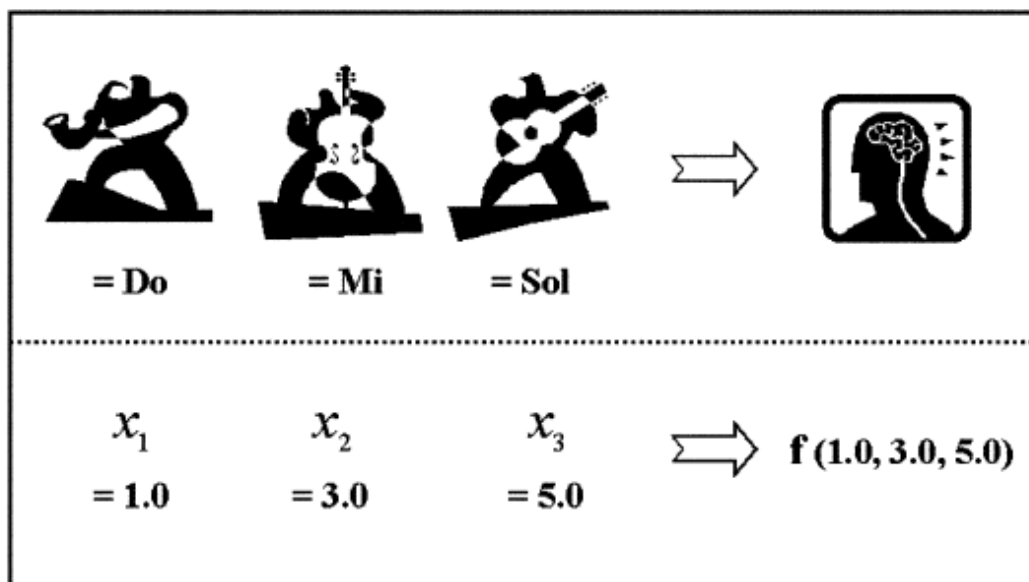
Πρόσφατα, οι Geem κ.α. [32] ανέπτυξαν έναν νέο ευριστικό αλγόριθμο την αναζήτηση αρμονίας (Harmony Search, HS) που βασίζεται στη μουσική διαδικασία αναζήτησης της “τέλειας αρμονίας” όταν υπάρχει μία ομάδα μουσικών οργάνων. Η αρμονία στη μουσική θεωρείται ανάλογη με το βέλτιστο διάνυσμα απόφασης του προβλήματος ενώ οι “αυτοσχεδιασμοί” των μουσικών βελτιστοποίησης, και οι αυτοσχεδιασμοί των οργανοποιικών θεωρούνται ανάλογες με τις τοπικές τεχνικές αναζήτησης βελτιστοποίησης. Ο αλγόριθμος HS δεν απαιτεί αρχικές τιμές για τις μεταβλητές απόφασης (που αποτελούν το διάνυσμα απόφασης). Επιπλέον, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια στοχαστική τυχαία αναζήτηση της βέλτιστης λύσης που βασίζεται στη “μνήμη” της αρμονίας και σε διάφορες μεθόδους προσαρμογής του “μουσικού τόνου” λαμβάνοντας υπ’ όψιν είτε τη μνήμη αρμονίας είτε την προσαρμογή σε “γειτονικό” τόνο (όλες οι παράμετροι ορίζονται παρακάτω).

Σε σύγκριση με προηγούμενους ευριστικούς αλγορίθμους βελτιστοποίησης, ο αλγόριθμος HS εγείρει λιγότερες μαθηματικές απαιτήσεις και μπορεί εύκολα να προσαρμοστεί για διάφορα προβλήματα βελτιστοποίησης. Στα πλεονεκτήματά του περιλαμβάνονται πως μπορεί να χειριστεί εξίσου διακριτές και συνεχείς μεταβλητές, δεν απαιτεί αρχικές τιμές για το διάνυσμα απόφασης, δεν έχει θέματα σύγκλισης και αποφεύγει τα τοπικά ακρότατα (ελάχιστα ή μέγιστα).

5.2 Περιγραφή αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας

Ο αλγόριθμος αναζήτησης αρμονίας βασίζεται στη μουσική διαδικασία αναζήτησης της τέλειας αρμονίας όταν συνδυάζονται διάφορα μουσικά όργανα. Κατά τη διάρκεια μιας μουσικής πρόβας, αναζητείται η καλύτερη αρμονία (ο τέλειος δηλαδή συνδυασμός ή η τέλεια κατάσταση) όπως ορίζεται με αισθητικά (μουσικά) κριτήρια, όπως ακριβώς γίνεται όταν αναζητείται η βέλτιστη λύση (τέλεια κατάσταση) όταν υπάρχει μία αντικειμενική συνάρτηση. Ο τόνος κάθε μουσικού οργάνου καθορίζει την αισθητική ποιότητα, ενώ η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης καθορίζεται από τις τιμές των επιμέρους μεταβλητών που συνθέτουν τη συνάρτηση. Αυτός ο νέος αλγόριθμος αναζήτησης βασίζεται εν πολλοίς και στη διαδικασία που γίνεται όταν ένας μουσικός αναζητά μια καλύτερη αρμονία (καλύτερη κατάσταση), όπως για παράδειγμα με τους αυτοσχεδιασμούς της jazz [32].

Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται οι αναλογίες ανάμεσα στους μουσικούς αυτοσχεδιασμούς και στην βελτιστοποίηση προβλημάτων. Στο μουσικό αυτοσχεδιασμό, ένας μουσικός έχει τη δυνατότητα να παράγει έναν τόνο βάσει των διαθέσιμων του οργάνου, και όλοι μαζί οι τόνοι των μουσικών συνθέτουν μια αρμονία (σε μορφή διανύσματος διάστασης όσα είναι τα όργανα). Αν όλοι οι τόνοι συνθέτουν μία καλή αρμονία, τότε η εμπειρία αυτή αποθηκεύεται στη μνήμη κάθε μουσικού και έτσι η πιθανότητα να παράγει ξανά το συγκεκριμένο τόνο είναι αυξημένη. Παρομοίως, σε προβλήματα βελτιστοποίησης, κάθε μεταβλητή απόφασης αρχικά επιλέγεται ανάμεσα σε ένα γνωστό εύρος και όλες μαζί οι μεταβλητές συνθέτουν το διάνυσμα απόφασης. Αν όλες οι τιμές των μεταβλητών συνθέτουν μια καλή λύση (που καθορίζεται από την τιμή μιας αντικειμενικής συνάρτησης), τότε η λύση αυτή αποθηκεύεται για μελλοντική αναφορά.

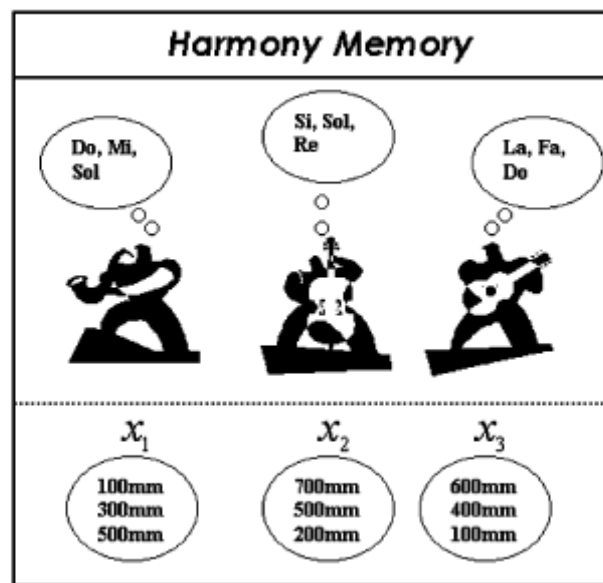


Σχήμα 5.1: Αναλογία ανάμεσα στο μουσικό αυτοσχεδιασμό και στη βελτιστοποίηση προβλήματος

Και αν στην περίπτωση της αρμονίας, πολλοί ισχυρίζονται πως η αποτίμηση του πόσο καλή είναι βασίζεται σε καθαρά αισθητικά και υποκειμενικά κριτήρια (παρότι υπάρχουν πολλοί από τον Πυθαγόρα μέχρι σύγχρονους συνθέτες που ισχυρίζονται πως μπορούν να βρεθούν συσχετίσεις ανάμεσα στους τόνους) στην περίπτωση της βελτιστοποίησης ενός πραγματικού προβλήματος, η εκτίμηση της λύσης γίνεται μέσω του συνδυασμού των τιμών των μεταβλητών απόφασης με χρήση μιας αντικειμενικής συνάρτησης που αξιολογεί την ποιότητα της λύσης με ποσοτικά κριτήρια (κόστος, αποτελεσματικότητα, σφάλμα κτλ).

Το Σχήμα 5.2 δίνει τη δομή της “μνήμης της αρμονίας” (Harmony Memory, HM) που αποτελεί τον πυρήνα του αλγορίθμου. Για παράδειγμα, έστω ότι ένα τρίο που παίζει jazz

μουσική αποτελείται από ένα σαξόφωνο, ένα μπάσο και μία κιθάρα. Προφανώς υπάρχει συγκεκριμένο εύρος τόνων που υπάρχει στη μνήμη κάθε μουσικού (βάσει της προηγούμενης εμπειρίας του), για παράδειγμα: για το σαξοφωνίστα {Do, Mi, Sol}, για το μπάσιστα {Si, Sol, Re} και για τον κιθαρίστα {La, Fa, Do}. Προφανώς ανάλογα με τους τόνους που παίζουν κάθε οργανοπαίκτης παράγεται μία ανάλογη αρμονία π.χ. αν ο σαξοφωνίστας τυχαία παράγει το {Sol}, ο μπάσιστας το {Si} και ο κιθαρίστας το {Do} τότε ο συνδυασμός (Sol, Si, Do) παράγει μια αρμονία (γνωστή ως χορδή C-7). Αν αυτή η αρμονία, είναι καλύτερη από την – έστω- χειρότερη προηγούμενη αρμονία, τότε η τελευταία εξαιρείται από τη μνήμη αρμονίας. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να βρεθεί η τέλεια αρμονία.



Σχήμα 5.2: Δομή της μνήμης αρμονίας (Harmony Memory, HM)

Σε πραγματικά προβλήματα βελτιστοποίησης, αντικαθίσταται ο κάθε μουσικός από μία μεταβλητή απόφασης (x_1, x_2, x_3 στο Σχήμα 5.2) και οι πιθανοί τόνοι αντικαθίστανται από τις πιθανές τιμές των μεταβλητών αυτών. Για παράδειγμα, εάν οι μεταβλητές απόφασης αντιπροσωπεύουν διαμέτρους σωλήνων που συνδέουν δύο κόμβους τότε υπάρχουν συγκεκριμένες επιθυμητές τιμές διαμέτρων. Για παράδειγμα, αν επιλεγεί για την πρώτη μεταβλητή η τιμή 100, για τη δεύτερη η τιμή 500 και για την τρίτη η τιμή 400, τότε ο συνδυασμός (100,500,400) αποτελεί ένα διάνυσμα απόφασης. Εφόσον, η λύση αυτή είναι καλύτερη από τη χειρότερη που υπάρχει στη μνήμη, τότε η τελευταία αντικαθίσταται από την καινούρια. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να εκπληρωθεί κάποιο κριτήριο τερματισμού.

Όταν ένας μουσικός αυτοσχεδιάζει και παράγει έναν καινούριο τόνο συνήθως ακολουθεί έναν από τους τρεις παρακάτω “κανόνες”:

1. Παράγει κάποιον τόνο από μνήμης,
2. Παράγει έναν τόνο γειτονικό (παρόμοιο) με κάποιον της μνήμης του,
3. Παράγει έναν εντελώς τυχαίο τόνο από όλο το πιθανό εύρος τόνων.

Παρόμοια, όταν επιλέγεται μία τιμή για κάθε μεταβλητή απόφασης, ακολουθείται ένας από τους 3 ακόλουθους κανόνες:

1. Επιλέγεται μία τιμή από τη μνήμη HM και ορίζεται ως “θεώρηση μνήμης” (memory consideration),
2. Επιλέγεται μία παρόμοια τιμή με κάποια από τη μνήμη και ορίζεται ως “προσαρμογή τόνου” (pitch adjustment),
3. Επιλέγεται μία εντελώς τυχαία τιμή από το δυνατό εύρος τιμών της μεταβλητής και ορίζεται ως “τυχαιοποίηση”

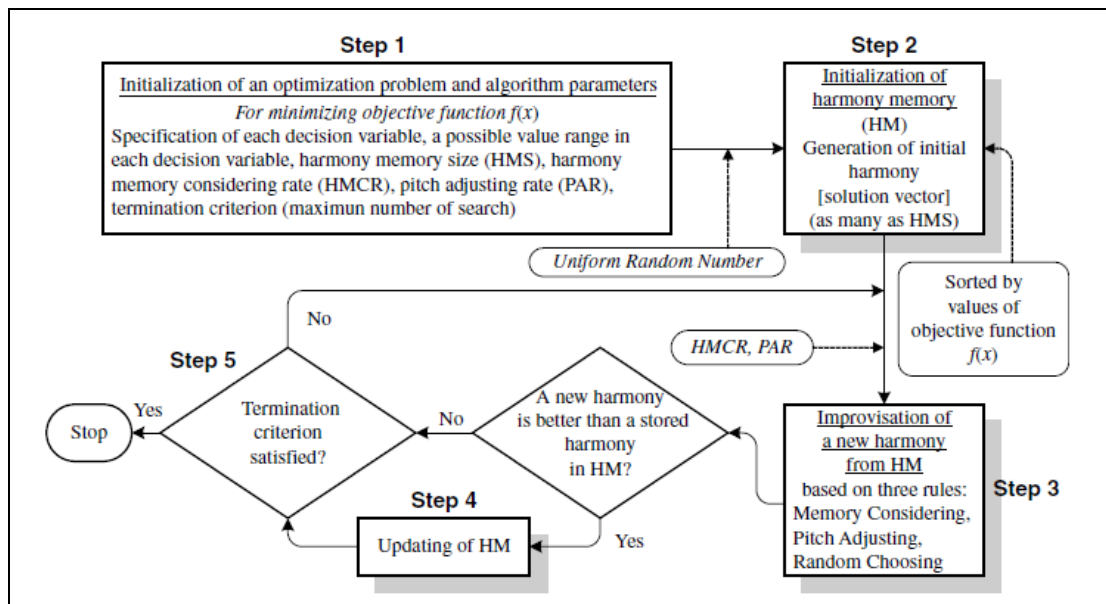
Οι τρεις αυτοί κανόνες του αλγορίθμου υλοποιούνται ευθέως χρησιμοποιώντας δύο παραμέτρους (που περιγράφονται στα ακόλουθα):

- Το βαθμό θεώρησης της μνήμης αρμονίας (harmony memory considering rate, HMCR)
- Το βαθμό προσαρμογής τόνου (pitch adjusting rate, PAR)

Στο Σχήμα 5.3 περιγράφεται η διαδικασία βελτιστοποίησης ενός προβλήματος βάσει του αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας και αποτελείται από 5 βήματα:

- Βήμα 1: Αρχικοποίηση προβλήματος και παραμέτρων
- Βήμα 2: Αρχικοποίηση μνήμης αρμονίας (HM)
- Βήμα 3: Αυτοσχεδιασμός μιας νέας αρμονίας
- Βήμα 4: Ενημέρωση της μνήμης
- Βήμα 5: Επανάληψη βημάτων 3 και 4 μέχρι το κριτήριο τερματισμού

Αναλυτικά, κάθε βήμα παρουσιάζεται στα επόμενα.



Σχήμα 5.3: Βήματα αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας

5.2.1 Βήμα 1 αλγορίθμου HS: Αρχικοποίηση

Σε πρώτη φάση ορίζεται το πρόβλημα επίλυσης, π.χ.

$$\text{ελαχιστοποιήσε } f(x), \quad x_i \in X_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

όπου :

η συνάρτηση $f(x)$ είναι η αντικειμενική συνάρτηση,

x είναι το σύνολο μεταβλητών σχεδιασμού,

X_i είναι το εύρος τιμών για τη μεταβλητή x_i .

Οι παράμετροι που χρειάζονται για τον αλγόριθμο HS και απαιτείται να καθοριστούν είναι:

- Το μέγεθος της μνήμης αρμονίας που είναι ο αριθμός των διανυσμάτων-λύσεων που κρατούνται στη μνήμη (HMS, Harmony Memory Size)
- Ο βαθμός θεώρησης μνήμης (HMCR)
- Ο βαθμός προσαρμογής τόνου (PAR)

5.2.2 Βήμα 2 αλγορίθμου HS: Αρχικοποίηση μνήμης αρμονίας

Στο βήμα 2, η μνήμη αρμονίας αρχικοποιείται με τιμές για κάθε μεταβλητή στο εύρος των πιθανών τιμών και ταξινομούνται βάσει της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης $f(x)$. Έτσι προκύπτει ο πίνακας της μνήμης αρμονίας

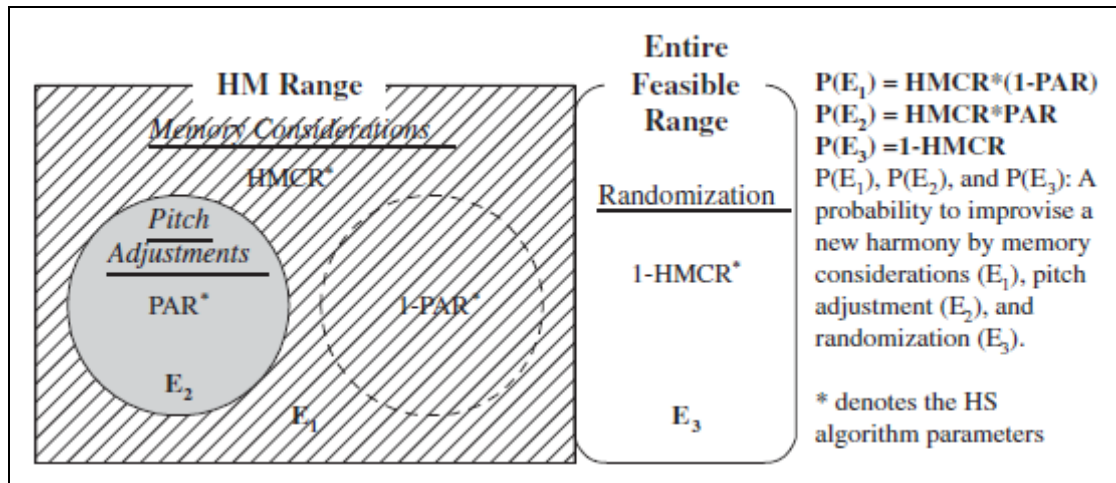
$$HM = \begin{bmatrix} x^1 \\ x^2 \\ x^3 \\ \dots \\ x^{HMS} \end{bmatrix} \quad (2)$$

5.2.3 Βήμα 3 αλγορίθμου HS: Αυτοσχεδιασμός αρμονίας

Στο βήμα 3, παράγεται ένα νέο διάνυσμα αρμονίας $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ που δημιουργείται βάσει της μνήμης αρμονίας θεωρώντας τους κανόνες που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα και ορίζονται αναλυτικά εδώ και παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.4.

Για παράδειγμα, η τιμή της πρώτης μεταβλητής σχεδιασμού x'_1 για το νέο διάνυσμα αρμονίας μπορεί να είναι οποιαδήποτε ανάμεσα στο πιθανό εύρος $x_1 - x_1^{HMS}$. Αντίστοιχα, επιλέγονται και οι τιμές για τις υπόλοιπες μεταβλητές απόφασης. Ο βαθμός θεώρησης μνήμης καθορίζεται το αν η επιλεγείσα τιμή θα είναι από τη μνήμη ή θα είναι τυχαία από το πιθανό εύρος τιμών. Τυπικά, ορίζεται ως εξής:

$$x'_i \leftarrow \begin{cases} x'_i \in \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HMS}\} & \text{με πιθανότητα } HMCR \\ x'_i \in X_i & \text{με πιθανότητα } 1 - HMCR \end{cases} \quad (3)$$



Σχήμα 5.4: Η ιδέα του αυτοσχεδιασμού αρμονίας

Το HMCR είναι η πιθανότητα επιλογής τιμής για τη μεταβλητή από τις ιστορικές τιμές της μνήμης και (1-HMCR) η πιθανότητα επιλογής τυχαίας τιμής από το πιθανό εύρος τιμών της μεταβλητής. Για παράδειγμα, HMCR τιμή 0.95, σημαίνει πως η πιθανότητα επιλογής τιμής από τις ιστορικές τιμές της μνήμης είναι 95% και επιλογή τυχαίας τιμής είναι 5%.

Κατόπιν, κάθε συνιστώσα του νέου διανύσματος $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_N)$ εξετάζεται για το αν θα γίνει προσαρμογή τόνου. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο βαθμός προσαρμογής τόνου (PAR) ως εξής:

$$\text{προσαρμογή τόνου για τη μεταβλητή } x'_i \leftarrow \begin{cases} \text{ναι,} & \text{με πιθανότητα } PAR \\ \text{όχι,} & \text{με πιθανότητα } 1 - PAR \end{cases} \quad (4)$$

Η προσαρμογή τόνου λαμβάνει χώρα μόνο αφού έχει επιλεγεί τιμή από τη μνήμη. Η τιμή (1-PAR) είναι η πιθανότητα να μη συμβεί τίποτα. Για παράδειγμα, μία τιμή PAR 0.3 δείχνει πως υπάρχει πιθανότητα 30%*HMCR να επιλεγεί μία γειτονική τιμή. Στην περίπτωση που ισχύει αυτό τότε η επιλογή της γειτονικής τιμής γίνεται ως εξής:

$$x'_i \leftarrow x'_i + \alpha \quad (5)$$

Όπου το α είναι μία τιμή που παράγει ποσότητα ίση με την επόμενη τιμή (γίνεται διάκριση εάν πρόκειται για τυχαίες ή διακριτές μεταβλητές).

5.2.4 Βήμα 4 αλγορίθμου HS: Ενημέρωση μνήμης HM

Στο βήμα 4, στην περίπτωση που η νέα αρμονία που παράγεται είναι καλύτερη από τη χειρότερη αρμονία που υπάρχει στη μνήμη, τότε αντικαθιστά αυτή τη χειρότερη αρμονία. Και πάλι η μνήμη ταξινομείται βάσει της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης

5.2.5 Βήμα 5 αλγορίθμου HS: Επανάληψη βημάτων 3 και 4 μέχρι το κριτήριο τερματισμού

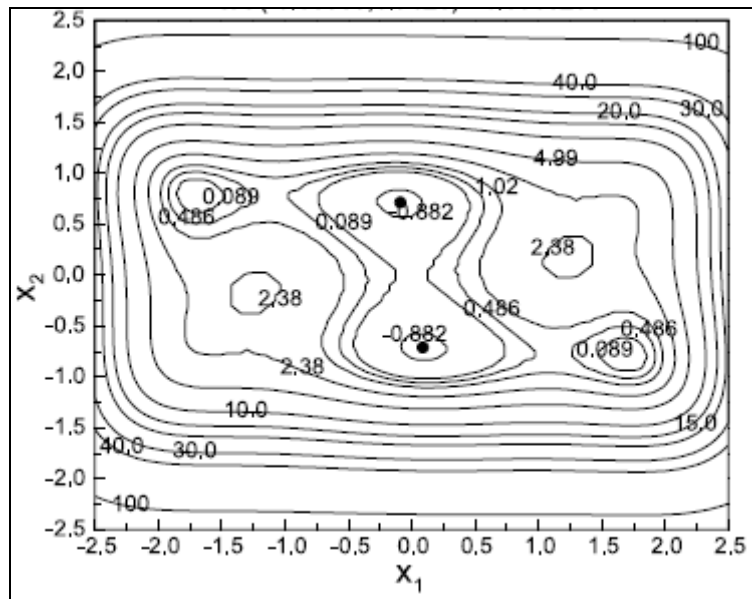
Στο βήμα 5 ελέγχεται εάν το κριτήριο τερματισμού που έχει επιλεγεί ικανοποιείται διαφορετικά επαναλαμβάνονται τα βήματα 3 και 4.

5.2.6 Παράδειγμα εφαρμογής αλγορίθμου HS

Για την καλύτερη εξήγηση του αλγορίθμου HS έστω η συνάρτηση f:

$$f(x) = 4x_1^2 - 2.1x_1^4 + \frac{1}{3}x_1^6 + x_1x_2 - 4x_2^2 + 4x_2^4$$

Η συνάρτηση αυτή είναι γνωστή ως η συνάρτηση πλάτης της καμήλας (Six-Hump Camelack) και αποτελεί ένα κλασσικό έλεγχο για προβλήματα βελτιστοποίησης. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5, φαίνεται πως η συνάρτηση παρουσιάζει 6 τοπικά βέλτιστες λύσεις εκ των οποίων 2 είναι καθολικά βέλτιστες και ως εκ τούτου υπάρχει άμεση εξάρτηση από την επιλογή του αρχικού σημείου για οποιονδήποτε αλγόριθμο (ευριστικό ή μη) που θα λύσει το πρόβλημα.



Σχήμα 5.5: Συνάρτηση πλάτης καμήλας

Η βέλτιστη λύση της συνάρτησης έγκειται στις δύο καθολικά βέλτιστες λύσεις :

$$x^* = (-0.08984, 0.71266) \text{ ή } x^* = (0.08984, -0.71266)$$

καθεμιά από τις οποίες δίνει βέλτιστη τιμή $f^*(x) = -1.0316285$. Για την λύση του προβλήματος βελτιστοποίησης της συνάρτησης αυτής με τη μέθοδο του αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας επιλέγονται οι παράμετροι που φαίνονται στον Πίνακα 5.1.

Παράμετρος αλγορίθμου	Τιμή
Εύρος τιμών x_1, x_2	$[-10, 10]$
Μέγεθος μνήμης (HMS)	10
Βαθμός θεώρησης μνήμης (HMCR)	0.85
Βαθμός προσαρμογής τόνου (PAR)	0.45

Πίνακας 5.1: Παράμετροι αλγορίθμου HS για την εύρεση βέλτιστης λύσης της συνάρτησης πλάτης καμήλας

Στον Πίνακα 5.2 φαίνονται τα αποτελέσματα του αλγορίθμου. Σε πρώτη φάση γίνεται αρχικοποίηση της μνήμης σε τυχαίες τιμές (στο εύρος $[-10, 10]$) και ταξινομούνται βάσει της τιμής της συνάρτησης f . Κατόπιν, ένα νέο διάνυσμα απόφασης $(3.183, 8.666)$ προκύπτει από αυτοσχεδιασμό βάσει των γνωστών κανόνων:

- Θεώρηση μνήμης βάσει πιθανότητας $HMCR \times (1 - PAR)$ ($0.85 \times 0.55 = 0.4675$) δηλαδή 46.75%

- Προσαρμογή τόνου βάσει πιθανότητας HMCR x PAR ($0.85 \times 0.45 = 0.3825$) δηλαδή 38.25%
- Τυχαία νέα τιμή με πιθανότητα (1-HMCR) δηλαδή 15%

Optimal results for the Six-Hump Camelback function using the HS algorithm									
Rank	x_1	x_2	$f(x)$	x_1	x_2	$f(x)$	x_1	x_2	$f(x)$
Initial HM				Subsequent HM			HM after 50 searches		
1	3.183	-0.400	169.95	3.183	-0.400	169.95	0.80558	-0.400	0.94270
2	-6.600	5.083	26274.83	3.183 ^a	8.666 ^a	22454.67 ^a	0.80558	2.301	94.65
3	6.667	7.433	37334.24	-6.600	5.083	26274.83	0.80558	2.322	98.47
4	6.767	8.317	46694.70	6.667	7.433	37334.24	0.81676	2.419	117.35
5	-7.583	5.567	60352.77	6.767	8.317	46694.70	-0.88333	2.561	145.66
6	7.767	4.700	67662.40	-7.583	5.567	60352.77	-0.88333	2.589	152.54
7	8.250	2.750	95865.20	7.767	4.700	67662.40	3.074	-1.833	157.57
8	-8.300	8.533	120137.09	8.250	2.750	95865.20	3.183	-0.400	169.95
9	-9.017	-8.050	182180.00	-8.300	8.533	120137.09	3.183	-1.755	191.78
10	-9.500	3.333	228704.72	-9.017	-8.050	182180.00	3.183	2.308	271.38
HM after 100 searches				HM after 1000 searches			HM after 4870 searches		
1	0.31672	0.40000	-0.2838402	0.09000	-0.71143	-1.0316159	0.08984 ^b	-0.71269 ^b	-1.0316285 ^b
2	0.23333	0.32581	-0.2439473	0.09028	-0.71143	-1.0316149	0.09000	-0.71269	-1.0316284
3	0.26504	0.32581	-0.1951466	0.08863	-0.71143	-1.0316119	0.09000	-0.71277	-1.0316283
4	0.23333	0.28628	-0.1561579	0.09081	-0.71143	-1.0316114	0.09013	-0.71269	-1.0316281
5	0.35011	0.30594	0.0128968	0.09000	-0.71446	-1.0316020	0.08951	-0.71269	-1.0316280
6	0.26504	0.22232	0.0238899	0.09028	-0.71446	-1.0316019	0.08951	-0.71277	-1.0316279
7	0.35011	0.28628	0.0581726	0.09081	-0.71446	-1.0316000	0.08951	-0.71279	-1.0316278
8	0.31883	0.25029	0.0705802	0.09000	-0.71062	-1.0315942	0.09028	-0.71269	-1.0316277
9	0.35011	0.23078	0.1768801	0.08863	-0.71446	-1.0315939	0.08980	-0.71300	-1.0316275
10	0.54693	0.28628	0.5600001	0.09028	-0.71062	-1.0315928	0.09000	-0.71300	-1.0316274

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα αλγορίθμου HS για τη συνάρτηση πλάτης καμήλας

Η νέα τιμή για την αρμονία-λύση (3.183, 8.666) είναι 224545.67, άρα αντικαθιστά τη χειρότερη λύση (-0.95, 3.333) στη μνήμη. Έπειτα από 4870 αναζητήσεις, ο αλγόριθμος βρίσκει μία λύση πολύ κοντά στη βέλτιστη $x = (0.08984, -0.71269)$, με τιμή -1.0316285. Ο αλγόριθμος HS ενσωματώνει τα περισσότερα θετικά χαρακτηριστικά των ευριστικών αλγορίθμων:

- Διατηρεί τις ιστορικές λύσεις (όπως ο αλγόριθμος tabu search)
- Μεταβάλλει το βαθμό επιλογής των λύσεων (HMCR) (όπως ο αλγόριθμος προσομοιωμένης ανόπτησης)
- Θεωρεί ταυτόχρονα πολλά διανύσματα (όπως ο γενετικός αλγόριθμος)

αλλά ταυτόχρονα βελτιώνει πολλά χαρακτηριστικά όπως:

- Δημιουργεί ένα νέο διάνυσμα απόφασης θεωρώντας όλα τα προηγούμενα διανύσματα-λύσεις (που υπάρχουν στην ουσία στη μνήμη),
- Θεωρεί ανεξάρτητα τις μεταβλητές απόφασης
- Επιλέγει ένα εύρος τιμών για τις μεταβλητές απόφασης βασισμένο στη μνήμη αλλά και στο πραγματικό (δυνατό) εύρος τιμών

5.3 Προσαρμογή αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας για τον καθορισμό του βέλτιστου αριθμού χρονοπαραθύρων

Έχοντας κατά νου τις παρατηρήσεις του Κεφαλαίου 3 περί ελλείμματος ορθής διαχείρισης της κατανομής χρονοπαραθύρων (που οδηγεί σε καθυστερήσεις και προβλήματα εν γένει στην ομαλή λειτουργία των αεροδρομίων), θα προταθεί μία τροποποίηση του αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας ώστε να βρίσκεται ο βέλτιστος αριθμός χρονοπαραθύρων που πρέπει να διατίθενται σε κάθε χρονική περίοδο ώστε να υπάρχουν οι μικρότερες δυνατές καθυστερήσεις.

Σε πρώτη φάση εισάγονται οι ακόλουθες αναλογίες μεταξύ του αρχικού αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας και της κατανομής χρονοπαραθύρων.

Χαρακτηριστικά αλγορίθμου	Χαρακτηριστικά κατανομής χρονοπαραθύρων
Μεταβλητές απόφασης	Αριθμός χρονοπαραθύρων διαθέσιμων για μια περίοδο
Διάνυσμα απόφασης	Διάνυσμα με συνιστώσες τον αριθμό χρονοπαραθύρων που διατίθενται ανά περίοδο
Αντικειμενική Συνάρτηση Βελτιστοποίησης	Συνάρτηση που υπολογίζει τις καθυστερήσεις που αναμένονται βάσει του διανύσματος διαθέσιμων χρονοπαραθύρων

Πίνακας 5.3: Προσαρμογή αλγορίθμου αναζήτησης αρμονίας στο πρόβλημα κατανομής χρονοπαραθύρων

Για παράδειγμα, θεωρώντας μία ημέρα χωρισμένη σε 24 περιόδους (άρα μία μεταβλητή απόφασης αντιστοιχεί στον αριθμό των διαθέσιμων χρονοπαραθύρων για την μία ώρα) η εικόνα του διανύσματος-λύσης είναι η ακόλουθη:

2	5	2	3	4	10	10	10	10	8	7	6	5	8	9	10	10	10	10	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	---	---	---	---	---

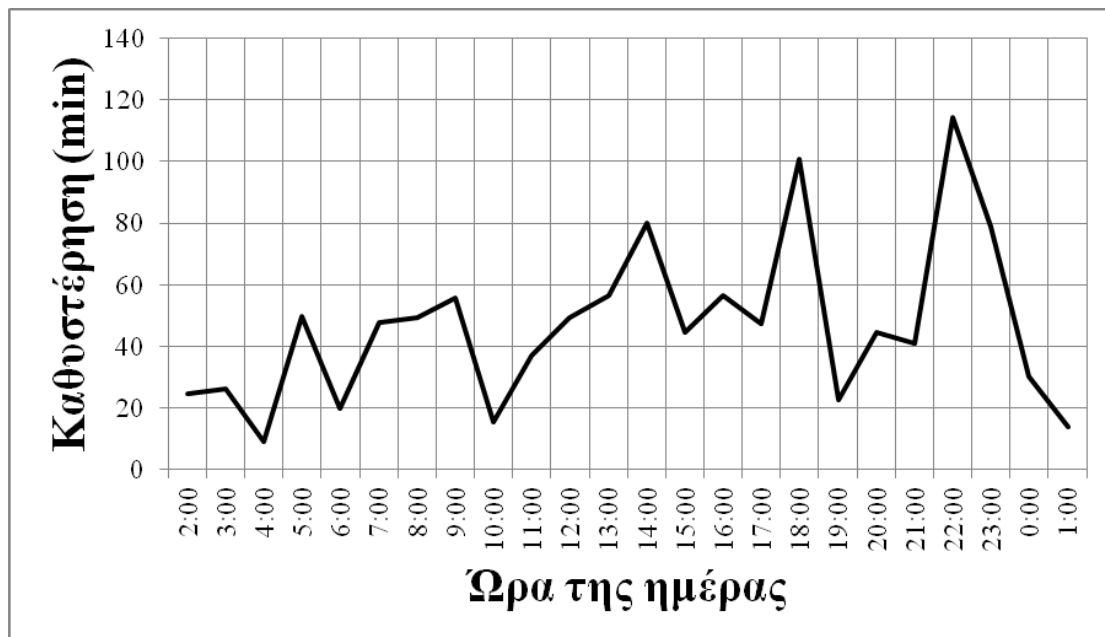
Δηλαδή είναι ένα διάνυσμα 24 συνιστωσών, κάθε συνιστώσα αντιστοιχεί σε μία ώρα (00:00-00:59, 01:00-01:59 κτλ) και η τιμή της συνιστώσας είναι ο αριθμός των χρονοπαραθύρων που διατίθενται. Αντίστοιχα, μπορεί να θεωρηθεί μικρότερος αριθμός περιόδων (π.χ. μερικών ωρών ή όσες ώρες είναι γνωστό πως υπάρχει συμφόρηση) ή μικρότερη περίοδος (π.χ. τέταρτο). Παρακάτω επιλέγεται ως μελέτη (και εφαρμογή) του αλγορίθμου, η περίπτωση του ΚΑΗΚ που αναλύθηκε στα προηγούμενα Κεφάλαια.

5.3.1 Σχεδιασμός αντικειμενικής συνάρτησης αξιολόγησης κατανομής

χρονοπαραθύρων

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται ο σχεδιασμός της αντικειμενικής συνάρτησης που θα αξιολογεί την αντίστοιχη κατανομή χρονοπαραθύρων ώστε να προκαλεί τα μικρότερα προβλήματα στο αεροδρόμιο (μικρότερες καθυστερήσεις).

Η αντικειμενική συνάρτηση δέχεται σαν είσοδο το διάνυσμα απόφασης (δηλαδή τον αριθμό των χρονοπαραθύρων που προτείνεται να διατεθούν ανά χρονική περίοδο) και δίνει σαν έξοδο μία εκτίμηση (σε λεπτά) της μέσης απόκλισης/καθυστερήσης που αναμένεται. Για την εκτίμηση της απόκλισης χρησιμοποιούνται ιστορικά στοιχεία για την απόκλιση ανά περίοδο στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου (για άλλο αεροδρόμιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αντίστοιχα στοιχεία προφανώς). Όπως αναμένεται, τα στοιχεία καθυστερήσεων είναι διαφορετικά ανά χρονική περίοδο (π.χ. Δεκέμβριος σε σχέση με τον Αύγουστο) και διαφορετικά ανά ημέρα (π.χ. την Κυριακή αναμένονται λόγω μεγαλύτερης κίνησης μεγαλύτερες καθυστερήσεις σε σχέση με την Τρίτη). Για παράδειγμα για το 2011, και την ημέρα Κυριακή τα διαθέσιμα στοιχεία δίνουν τις καθυστερήσεις του Σχήματος 5.6 για πτήσεις που είχαν χρονοπαραθύρο στο αντίστοιχο διάστημα. Οι παρατηρήσεις του συγκεκριμένου σχήματος έρχονται σε συμφωνία με τη συμφόρηση που παρατηρείται τις ώρες αιχμής (και αναλύθηκε σε προηγούμενο Κεφάλαιο).



Σχήμα 5.6: Μέση απόκλιση πτήσεων στον ΚΑΗΚ την ημέρα Κυριακή

Αξιοποιώντας, τα ιστορικά στατιστικά στοιχεία των καθυστερήσεων για κάθε ώρα της ημέρας, υπολογίζεται με τυχαίο τρόπο η πιθανότητα μιας πτήσης να πραγματοποιηθεί στην ώρα της ή να έχει από κλίση από την πραγματική ώρα της πτήσης. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις που αναλύονται:

1. Η πτήση πραγματοποιείται εντός τετάρτου (πριν ή μετά) από την ώρα που είναι προγραμματισμένη: Θεωρείται πως η πτήση είναι στην ώρα της
2. Η πτήση πραγματοποιείται σε διάστημα μεγαλύτερο του τετάρτου (ή μικρότερο) αλλά εντός της περιόδου που εξετάζεται (π.χ. αν η πτήση είναι προγραμματισμένη για τις 14.10 και πραγματοποιείται μέχρι τις 14.59 ή όχι πριν τις 14.00), τότε υπολογίζεται η απόκλιση σε σχέση με την πραγματική ώρα.
3. Η πτήση πραγματοποιείται σε διάστημα μεγαλύτερο της περιόδου (ή μικρότερο αντίστοιχα) που εξετάζεται (π.χ. η προηγούμενη πτήση φτάνει μετά τις 15.00 ή πριν τις 14.00), οπότε για να υπολογιστεί η απόκλιση χρειάζεται να ελεγχθεί η δυνατότητα πραγματοποίησης της πτήσης στη νέα χρονική περίοδο

Ανάλογα με τις περιπτώσεις (1)-(3), υπολογίζεται και η απόκλιση σε σχέση με την καθορισμένη ώρα ως εξής:

1. Πραγματοποίηση εντός τετάρτου: Απόκλιση θεωρείται μηδενική
2. Πραγματοποίηση εντός εξεταζόμενης περιόδου: Ελέγχεται εάν υπάρχει διαθέσιμο χρονοπαράθυρο για την εξυπηρέτηση της πτήσης. Αυτό μπορεί να συμβαίνει είτε γιατί δεν έχουν διατεθεί όλες τα χρονοπαράθυρα σε αυτή την περίοδο είτε γιατί μία

πτήση δε χρησιμοποιεί το καταμεμηθέν χρονοπαράθυρο (π.χ. έχει καθυστέρηση ή ακύρωση). Αντίστοιχα, υπολογίζεται η απόκλιση.

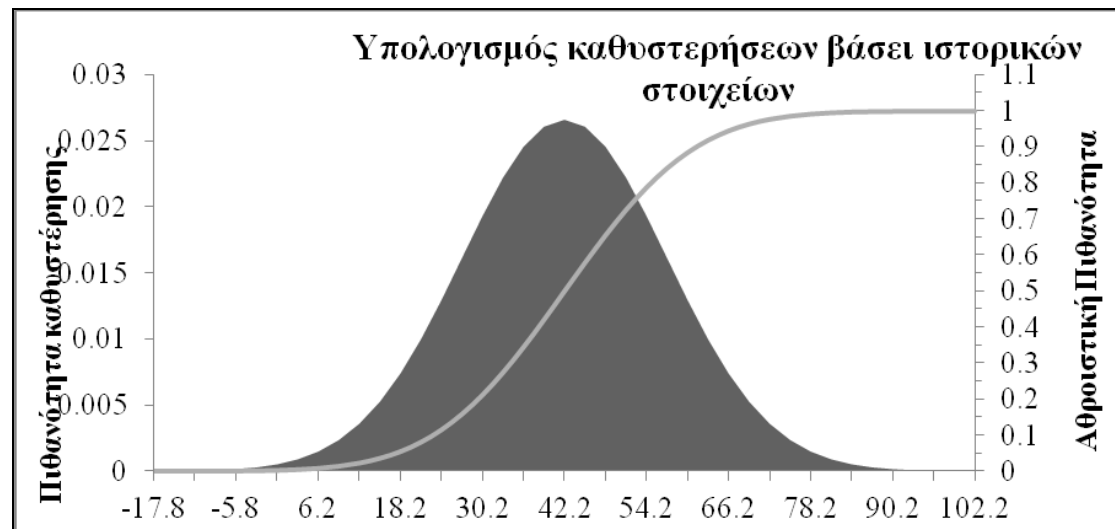
3. Πραγματοποίηση εκτός εξεταζόμενης περιόδου: Βρίσκεται η επόμενη περίοδος που διαθέτει χρονοπαράθυρο για την εξυπηρέτηση της πτήσης που δεν τηρεί το χρονοπαράθυρό της. Αυτή μπορεί να είναι η αμέσως επόμενη (ή προηγούμενη αντίστοιχα) ή αν δεν υπάρχει διαθεσιμότητα η μεθεπόμενη κ.ο.κ. Για τον υπολογισμό της απόκλισης υπολογίζεται συνολικά ο χρόνος (εντός της κανονικής περιόδου άφιξης και μέχρι να εξυπηρετηθεί η πτήση).

Έτσι, η συνάρτηση αυτή έχει τη δυνατότητα βάσει κάποιας κατανομής χρονοπαράθυρων να υπολογίζει αμέσως τις αποκλίσεις που παρουσιάζονται και να αξιολογεί ποια είναι η καλύτερη. Επίσης, για τις περιπτώσεις ακραίων τιμών (π.χ. μεγάλες αποκλίσεις, μεγάλος συνωστισμός) επιστρέφει και τον αριθμό των πτήσεων που απορρίπτονται (δηλαδή αναβάλλονται).

Αναλυτικά οι παράμετροι της συνάρτησης και η πορεία προς τον τελικό υπολογισμό της καθυστέρησης φαίνεται παρακάτω:

Πιθανοτικός υπολογισμός καθυστερήσεων βάσει ιστορικών στοιχείων

Σε κάθε χρονική περίοδο $j = 1...|x|$ είναι γνωστή η μέση απόκλιση/καθυστέρηση ($histsd(j)$). Βάσει αυτής, πιθανοτικά, υπολογίζεται η πραγματική καθυστέρηση κάθε πτήσης i εντός του διαστήματος που εξετάζεται. Επί της ουσίας υποτίθεται ένα πρότυπο κατανομής της πιθανότητας καθυστέρησης γύρω από την κεντρική τιμή, βάσει και της απόκλισης των ιστορικών στοιχείων. Ένα παράδειγμα τέτοιας κατανομής με μέση τιμή 42.2 λεπτά και απόκλιση 15 λεπτά φαίνεται στο επόμενο Σχήμα.



Σχήμα 5.7: Παράδειγμα πιθανότητας καθυστέρησης (βάσει ιστορικών στοιχείων)

Υπολογισμός καθυστερήσεων

Για όλες τις περιόδους $j = 1 \dots |x|$ για όλες τις πτήσεις $i = 1 \dots x_j$ υπολόγισε (πιθανοτικά) την καθυστέρηση κάθε πτήσης $d(i, j)$ και προσδιόρισε σε ποια περίοδο πρέπει (ιδανικά) να καταναεμηθεί η πτήση ($req(i, j)$).

Εδώ γίνεται διάκριση βάσει των περιπτώσεων (1) έως (3) που αναφέρθηκαν παραπάνω:

- Στις περιπτώσεις (1) και (2) (όταν δηλαδή η πτήση παραμένει για πραγματοποίηση εντός της εξεταζόμενης περιόδου), τότε: $req(i, j) = j$,
- Στην περίπτωση (3) (όταν δηλαδή απαιτείται επανακατανομή σε άλλη περίοδο), τότε ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να είναι $req(i, j) = j+1$ ή $j+2$ ή $j+3$ κ.ο.κ.

Υπολογισμός απαιτούμενων κινήσεων σε κάθε περίοδο

Βάσει των παραπάνω πραγματικών στοιχείων, υπολόγισε τις απαιτούμενες κινήσεις σε κάθε χρονική περίοδο j^* . Δηλαδή:

$$act(j^*) = \sum_{j=1}^{|x|} \sum_{i=1}^{x_j} (req(i, j) == j^*) \quad (1)$$

Η ουσία της παραπάνω διαδικασίας είναι πως βάσει της καθυστέρησης κάθε πτήσης, εντοπίζονται τα αχρησιμοποίητα χρονοπαράθυρα για κάθε περίοδο (είτε γιατί ήταν εξαρχής κενά, είτε γιατί ελευθερώνονται από καθυστερημένες πτήσεις) και χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση πτήσεων που έχουν καθυστερήσει.

Υπολογισμός πραγματικών κινήσεων σε κάθε περίοδο

Στην περίπτωση που $act(j^*) \leq capacity$ τότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα επανακατανομής και θα πραγματοποιηθούν όλες οι πτήσεις όπως υπολογίστηκαν παραπάνω ($act(j^*)$).

Σε διαφορετική περίπτωση ελέγχονται οι περιπτώσεις των καθυστερημένων πτήσεων, που προσδιορίζονται από:

$$req(i, j) \neq j^* \quad (, req(i, j) = j^* \vee ,) |d(i, j)| \geq \quad (2)$$

και γίνεται επανακατανομή τους σε περίοδο που υπάρχουν διαθέσιμα χρονοπαράθυρα (ώστε πάντα να τηρείται ο κανόνας $act(j) \leq capacity$).

Για τις περιπτώσεις αυτές, υπολογίζεται και η επιπλέον καθυστέρηση που εισάγεται λόγω της ανάγκης επανακατανομής $reallocd(i, j)$. Προφανώς η συνολική καθυστέρηση κάθε πτήσης προκύπτει ως άθροισμα των δύο επιμέρους καθυστερήσεων:

$$td(i, j) = d(i, j) + reallocd(i, j) \quad (3)$$

Η καθυστέρηση $d(i, j)$ μπορεί να υπόκειται και σε εξωγενείς παράγοντας που δε μπορούν να ελεγχθούν αλλά η καθυστέρηση (λόγω της ανάγκης επανακατανομής της πτήσης) $reallocd(i, j)$ μπορεί να περιοριστεί ενεργοποιώντας κατάλληλα εργαλεία διαχείρισης. Η καθυστέρηση αυτή, υπολογίζεται ως η καθυστέρηση που παρατηρείται λόγω της μη διαθεσιμότητας χρονοπαραθύρου στην επιθυμητή για την πτήση περίοδο και η αναλυτική περιγραφή υπολογισμού της φαίνεται με το ακόλουθο Σχήμα.

ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΠΤΗΣΗ (i, j) που χρειάζεται επανακατανομή

ΥΠΟΛΟΓΙΣΕ το (επιθυμητό) χρονικό διάστημα επανακατανομής $scheduled(i, j) + d(i, j)$

ΑΝ υπάρχει διαθέσιμο χρονοπαραθύρο, **ΤΟΤΕ**

$reallocd(i, j) = 0$

ΑΛΛΙΩΣ

ΒΡΕΣ το επόμενο διαθέσιμο χρονοπαραθύρο $nextavail$ (βάσει των πραγματικών κινήσεων που απαιτούνται σε κάθε περίοδο $act(j)$)

$Realloc(i, j) = nextavail - scheduled(i, j) - d(i, j)$

Σχήμα 5.8: Ψευδοκώδικας υπολογισμού της καθυστέρησης λόγω επανακατανομής

Εύρεση συνολικής καθυστέρησης (τελικής τιμής συνάρτησης)

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως:

$$delay = \sum_{j=1}^{|x|} \sum_{i=1}^{x_j} td(i, j) = \sum_{j=1}^{|x|} \sum_{i=1}^{x_j} d(i, j) + \sum_{j=1}^{|x|} \sum_{i=1}^{x_j} reallocd(i, j) \quad (4)$$

Δηλαδή η συνολική καθυστέρηση εκτιμάται ως το άθροισμα της καθυστέρησης που έχει η πτήση (και προκύπτει από τα ιστορικά στοιχεία) συν την τυχόν καθυστέρηση λόγω μη-διαθέσιμου χρονοπαραθύρου την επιθυμητή περίοδο. Κατόπιν διαιρώντας με τον αριθμό των πτήσεων βρίσκεται η μέση καθυστέρηση ανά πτήση που είναι και η τιμή της συνάρτησης:

$$f = \frac{delay}{\# flights} \quad (5)$$

5.3.2 Επιλογή εύρους τιμών αριθμού χρονοπαραθύρων ανά περίοδο

Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του αριθμού χρονοπαραθύρων ανά περίοδο καθορίζεται προφανώς από τη μέγιστη χωρητικότητα του αεροδρομίου αλλά και τις επιχειρησιακές ανάγκες. Για παράδειγμα, δε μπορεί στην ώρα αιχμής της Κυριακής (π.χ. 09.00-10.00) να διατεθεί μικρός αριθμός χρονοπαραθύρων διότι θα δημιουργήσει σημαντικό πρόβλημα λειτουργίας (παρότι θα χαμηλώσει πολύ τις τιμές καθυστέρησης και συνολικής απόκλισης). Στην περίπτωση του αεροδρομίου ΚΑΗΚ επιλέγεται μία μεθοδολογία που βασίζεται σε αποκλίσεις τιμών χρονοπαραθύρων βάσει του πραγματικού αριθμού κινήσεων ανά περίοδο. Ο αριθμός αυτός βρίσκεται επιλέγοντας κατά μέσο όρο πόσες κινήσεις πραγματοποιήθηκαν κάθε περίοδο βάσει προηγούμενων ιστορικών στοιχείων και για το μήνα με τη μεγαλύτερη κίνηση (Αύγουστο).

	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00
Πραγματικές κινήσεις	4	4	2	3	7	11	16	18	17	17	20	18
Κάτω όριο	1	1	0	0	4	8	13	15	14	14	17	15
Άνω όριο	7	7	5	6	10	20	20	20	20	20	20	20
	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00
Πραγματικές κινήσεις	22	17	16	19	16	13	23	21	17	13	8	6
Κάτω όριο	19	14	13	16	13	10	20	18	14	10	5	3
Άνω όριο	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	11	9

Πίνακας 5.4: Ελάχιστες και μέγιστες τιμές αριθμού χρονοπαραθύρων ανά περίοδο

Προφανώς, γίνεται μέριμνα ώστε εάν η τιμή υπερβεί τη μέγιστη χωρητικότητα του αεροδρομίου (20) να τεθεί αυτή ως μέγιστη ή εάν πέσει κάτω από το 0 να κρατηθεί αυτό ως ελάχιστο. Στον Πίνακα 5.4 φαίνονται οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές που χρησιμοποιούνται για την περίπτωση της Κυριακής, ημέρας με τη μεγαλύτερη κίνηση.

Ένας επιπλέον περιορισμός που τίθεται (σε σχέση με το βασικό αλγόριθμο) είναι ως προς το συνολικό αριθμό χρονοπαραθύρων που πρέπει να κατανεμηθούν (που καθορίζεται από τα αιτήματα των αεροπορικών εταιρειών).

Σαφέστατα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κάποιος άλλος τρόπος προσδιορισμού ελάχιστων και μέγιστων τιμών χρονοπαραθύρων ανά περίοδο ή ακόμα και να τεθεί ο απλοϊκός (ελάχιστο 0, μέγιστο ίσο με τη χωρητικότητα). Στα πειραματικά αποτελέσματα φαίνεται και αυτή η εφαρμογή.

Για ρεαλιστικούς λόγους επιλέχτηκαν οι τιμές του Πίνακα 5.4. Επί της ουσίας, αυτό που γίνεται είναι μία καλύτερη κατανομή των ήδη κατανεμημένων χρονοπαραθύρων, ώστε να

υπάρχει καλύτερη ανταπόκριση στις περιπτώσεις καθυστερήσεων, κάτι που φαίνεται καλύτερα και από τα πειραματικά αποτελέσματα που ακολουθούν στις επόμενες Παραγράφους.

5.3.3 *Παράμετροι αλγορίθμου HS για την περίπτωση του προβλήματος των χρονοπαραθύρων*

Αφού καθορίστηκαν οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές ανά περίοδο, το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των υπολοίπων παραμέτρων του αλγορίθμου που φαίνονται στον Πίνακα 5.5.

Το μέγεθος μνήμης θεωρείται πως είναι ικανοποιητικό να τεθεί στην τιμή 10, δίνοντας έτσι κάθε φορά τις 10 προσφορότερες κατανομές χρονοπαραθύρων.

Όσον αφορά στο βαθμό θεώρησης μνήμης (HMCR) θεωρείται ικανοποιητική η τιμή 0.80 (ως πιθανότητα να επιλεγεί τιμή παρόμοια από τη μνήμη του αλγορίθμου).

Όσον αφορά στο βαθμό προσαρμογής τόνου (PAR) τροποποιείται ώστε να έχει ακόμα καλύτερο φυσικό νόημα για την περίπτωση του προβλήματος που επιλύεται. Έτσι, θεωρείται πως προσαρμογή τόνου θα υπάρξει εφόσον η προηγούμενη περίοδος της εξεταζόμενης έχει σχετικά μεγάλο αριθμό χρονοπαραθύρων (π.χ. πάνω από 10) και χρησιμοποιείται η πιθανότητα 0.40 για αυτή την επιλογή. Στην περίπτωση που επαληθεύονται τα δύο αυτά κριτήρια (δηλαδή το πιθανοτικό και εφόσον η προηγούμενη (“γειτονική”) περίοδος έχει αριθμό χρονοπαραθύρων > 10), τότε ενεργοποιείται προσαρμογή τόνου μειώνοντας κατά ένα το βαθμό χρονοπαραθύρων της τρέχουσας περιόδου. Η διαδικασία αυτή εξυπηρετεί τις περιπτώσεις που επειδή η προηγούμενη περίοδος έχει σχετικά μεγάλο αριθμό χρονοπαραθύρων αναμένεται να υπάρχουν πτήσεις που θα εξυπηρετηθούν από την τρέχουσα περίοδο (και γι’ αυτό χρειάζονται διαθέσιμες χρονοπαράθυρα). Συνοπτικά, οι παράμετροι φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα.

Παράμετρος αλγορίθμου	Τιμή
Ελάχιστες/μέγιστες τιμές	Βλ. Πίνακα 5.4
Μέγεθος μνήμης (HMS)	10
Βαθμός θεώρησης μνήμης (HMCR)	0.80
Βαθμός προσαρμογής τόνου (PAR)	0.30 + προηγούμενη περίοδος > 10 χρονοπαράθυρα

Πίνακας 5.5: Παράμετροι αλγορίθμου HS για το πρόβλημα κατανομής χρονοπαραθύρων

5.4 Πειραματικά αποτελέσματα

Έχοντας πλέον την πλήρη εικόνα του αλγορίθμου και τον τρόπο προσαρμογής του στο πρόβλημα της κατανομής χρονοπαραθύρων πραγματοποιείται μία σειρά από πειράματα για να ελεγχθεί κατά πόσον η κατανομή που προτείνεται από τον αλγόριθμο είναι καλύτερη από την υπάρχουσα κατάσταση. Σε όλες τις περιπτώσεις η ημέρα Κυριακή έχει χρησιμοποιηθεί ως παράδειγμα (καθώς αποτελεί διαχρονικά τη μέρα με τη μεγαλύτερη κίνηση και συμφόρηση).

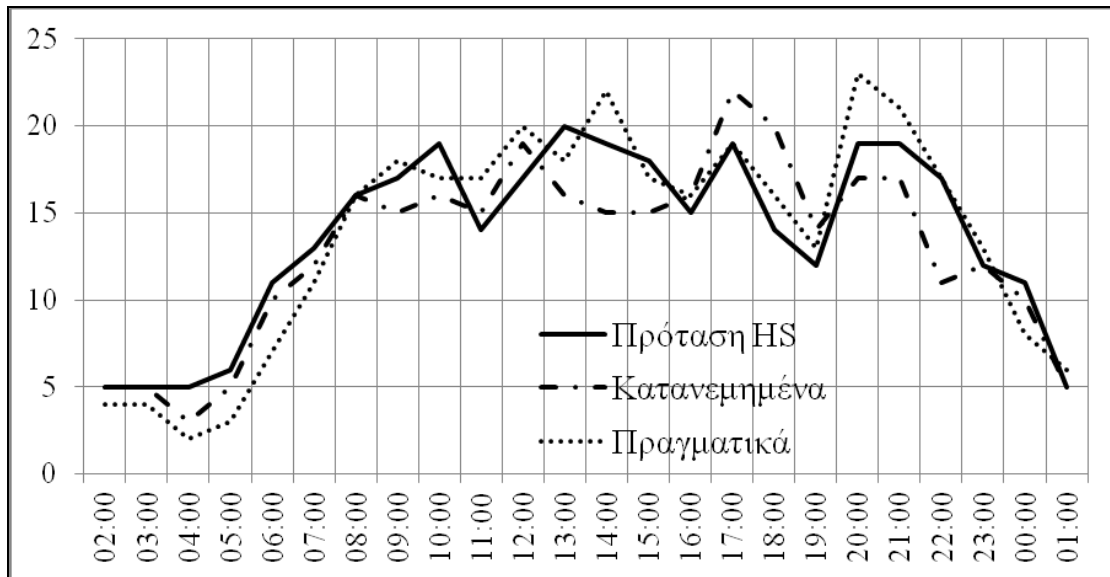
5.4.1 Προσομοίωση 1 (24ωρη περίοδος με ρεαλιστικά όρια χρονοπαραθύρων)

Το πρώτο πείραμα που πραγματοποιείται θεωρεί 24ωρη περίοδο, άρα στον αλγόριθμο υπάρχουν 24 μεταβλητές. Η είσοδος του αλγορίθμου φαίνεται στον Πίνακα 5.4 (ελάχιστες – μέγιστες τιμές), ενώ η αρχικοποίηση του αλγορίθμου θα γίνει σε τυχαίες τιμές στο εύρος ανάμεσα στις ελάχιστες και τις μέγιστες. Μετά την προσομοίωση του αλγορίθμου, η εικόνα της μνήμης είναι η ακόλουθη, όπου τα αποτελέσματα έχουν ταξινομηθεί βάσει της τιμής της μέσης καθυστέρησης που αναμένεται:

2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	1:00	Μέση Καθυστέρηση
6	7	5	6	10	12	16	17	19	14	17	20	19	18	15	19	14	12	19	19	17	12	11	4	38.5947561
7	6	4	6	10	13	16	17	18	20	17	17	19	18	15	16	16	12	20	18	17	13	9	4	40.65243902
6	6	3	6	10	12	17	17	16	15	18	18	19	18	16	18	13	12	20	20	19	16	11	2	42.31707317
7	6	4	6	8	13	18	18	17	16	18	15	19	18	15	16	19	12	20	18	19	11	11	4	43.09146341
7	6	5	5	10	13	18	17	18	14	17	18	20	20	15	18	14	12	20	19	19	10	11	2	44.2804878
6	6	4	6	10	13	13	17	18	14	18	16	19	20	17	16	14	16	20	18	19	14	11	3	44.41158537
7	5	2	6	7	12	18	18	14	20	17	16	19	18	15	18	16	12	20	18	20	16	11	3	45.34146341
7	6	5	6	10	13	18	16	14	14	17	20	19	18	13	18	14	13	20	20	19	13	11	4	46.78353659
7	6	5	6	9	13	17	17	15	20	17	19	19	14	13	16	19	12	20	18	19	12	11	4	47.63109756
7	6	5	6	9	13	18	17	16	16	18	18	19	15	13	18	14	16	20	18	17	14	11	4	47.75304878

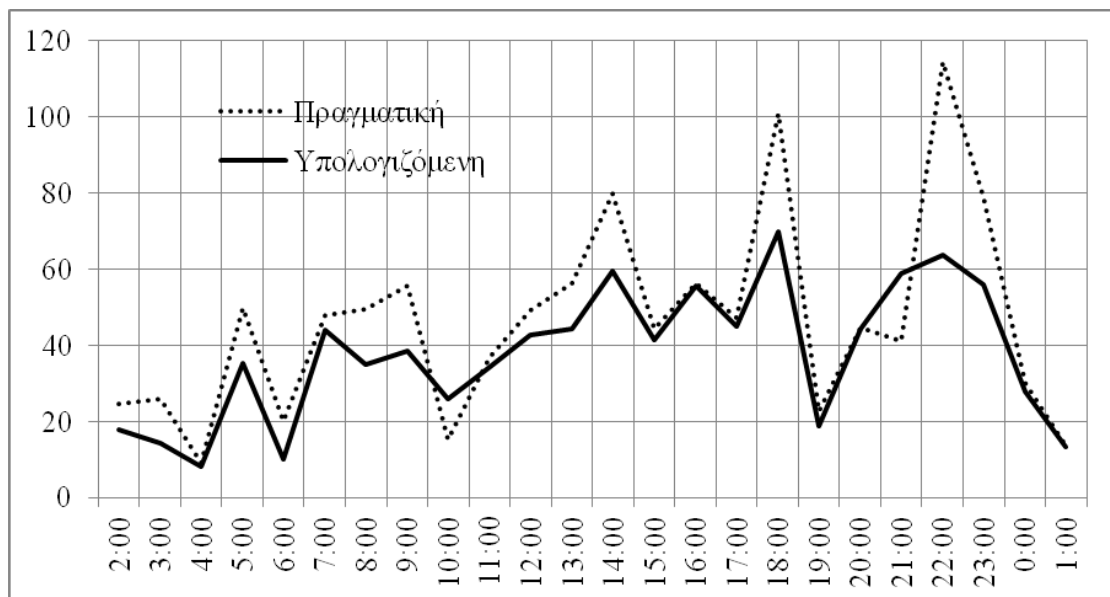
Σχήμα 5.9: Εικόνα της μνήμης HM μετά το τέλος της προσομοίωσης

Η τελική λύση που προκρίνεται συγκρίνεται στο ακόλουθο γράφημα με την πραγματική (δηλαδή τις κινήσεις που χρησιμοποιήθηκαν κατά μέσο όρο σε κάθε περίοδο) αλλά και με τα χρονοπαράθυρα που είχαν κατανεμηθεί για τη συγκεκριμένη ημέρα.



Σχήμα 5.10: Κατανομή χρονοπαράθρων βάσει αλγορίθμου HS σε σχέση με τα πραγματικά χρονοπαράθρα και με τα αρχικώς κατανομημένα

Επίσης, στο ακόλουθο Σχήμα φαίνονται οι μέσες καθυστερήσεις πτήσεων που παρατηρούνται σε κάθε περίοδο σε σχέση με τις πραγματικές (που προκύπτουν από ιστορικά στατιστικά στοιχεία).



Σχήμα 5.11: Αναμενόμενη καθυστέρηση με την κατανομή χρονοπαράθρων βάσει HS σε σχέση με την πραγματική καθυστέρηση

Από τα γραφήματα αυτά εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Επιλέγεται από τον αλγόριθμο HS σε κάποιες περιόδους μέσα στις δύο αιχμές που εντοπίστηκαν από την προηγούμενη ανάλυση (08:00-12:00 και 17:00-21:00) να δοθούν σημαντικά μειωμένα χρονοπαράθρα (π.χ. στην περίοδο 10:00-11:00

δίνονται 14 ενώ στην περίοδο 19:00-20:00 δίνονται 12). Αυτό γίνεται ώστε να λειτουργήσουν απορροφητικά για καθυστερήσεις που υπάρχουν στις προηγούμενες περιόδους και υπάρχει ανάγκη εξυπηρέτησης αυτών των πτήσεων. Αντίθετα, σε άλλες περιόδους ο αλγόριθμος αναθέτει ακόμα και το μέγιστο της χωρητικότητας

- Η παραπάνω παρατήρηση επιβεβαιώνεται και από τις τιμές των καθυστερήσεων που αναμένονται σε κάθε περίοδο. Όποτε υπάρχει περίοδος με μεγάλη αναμενόμενη καθυστέρηση (π.χ. 0900-1000, 1400-1500, 1800-1900, 2200-2300) ακολουθεί περίοδος με μειωμένο (σχετικά) αριθμό χρονοπαραθύρων ώστε να απορροφήσει τις όποιες καθυστερήσεις.
- Από το Γράφημα των καθυστερήσεων (αναμενόμενες και πραγματικές) φαίνεται και η βελτίωση που επιτυγχάνεται στη μέση καθυστέρηση ανά χρονική περίοδο.

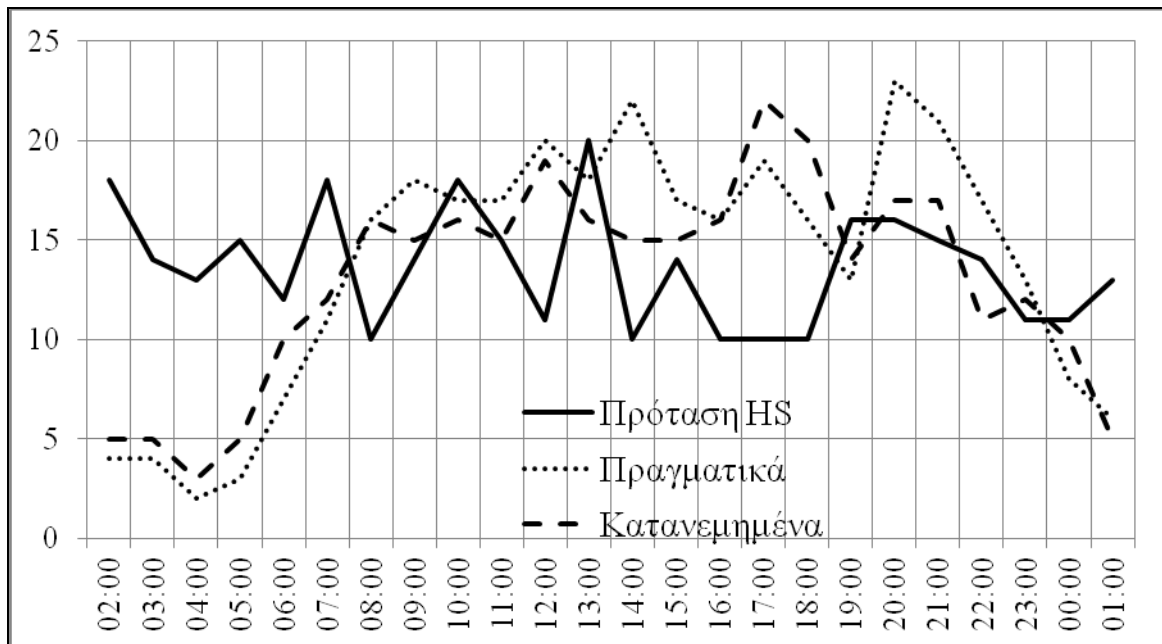
Τέλος, αξιολογείται η μέση απόκλιση/καθυστέρηση που παρατηρείται σε σχέση με την πραγματική και σε σχέση με την αναμενόμενη (βάσει της αρχικής κατανομής), χρησιμοποιώντας την αντικειμενική συνάρτηση που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες του αλγορίθμου. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα.

Κατανομή χρονοπαραθύρων	Μέση απόκλιση/καθυστέρηση (min)
Αρχική κατανομή (από αρχή συντονισμού)	44.64
Πραγματική καθυστέρηση (ιστορικά στοιχεία)	46.47
Προτεινόμενη μέθοδος	38.59

Πίνακας 5.6: Μέση καθυστέρηση πτήσεων που επιτυγχάνεται με τον αλγόριθμο HS σε σχέση με την πραγματική και την αναμενόμενη κατανομή χρονοπαραθύρων

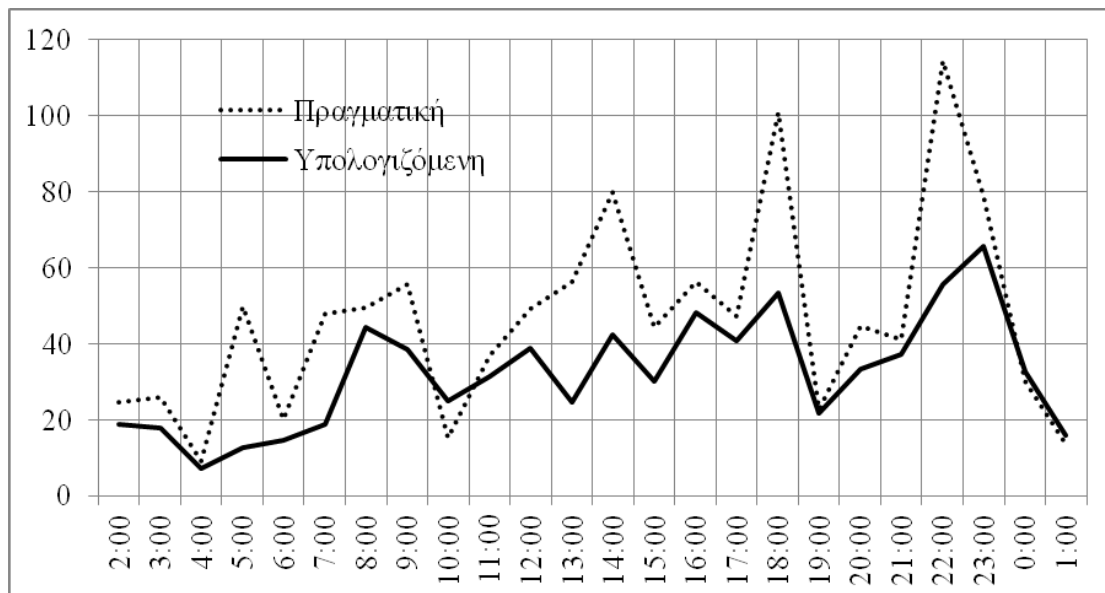
5.4.2 Προσομοίωση 2: 24ωρη περίοδος με ευέλικτα όρια χρονοπαραθύρων

Σε μια δεύτερη σειρά πειραμάτων προσομοίωσης, επιλέχτηκαν δύο περιπτώσεις όσον αφορά στις ελάχιστες και μέγιστες τιμές χρονοπαραθύρων που μπορούν να κατανεμηθούν. Στην πρώτη προσομοίωση επιλέχτηκε συνολικά ελάχιστη τιμή χρονοπαραθύρων 10 και μέγιστη τιμή χρονοπαραθύρων 20 ενώ στη δεύτερη προσομοίωση επιλέχτηκε ελάχιστη τιμή χρονοπαραθύρων 0 και μέγιστη τιμή χρονοπαραθύρων 20. Ακολουθούν τα αποτελέσματα.



Σχήμα 5.12: Κατανομή χρονοπαράθρων με ελάχιστη τιμή ανά περίοδο 10

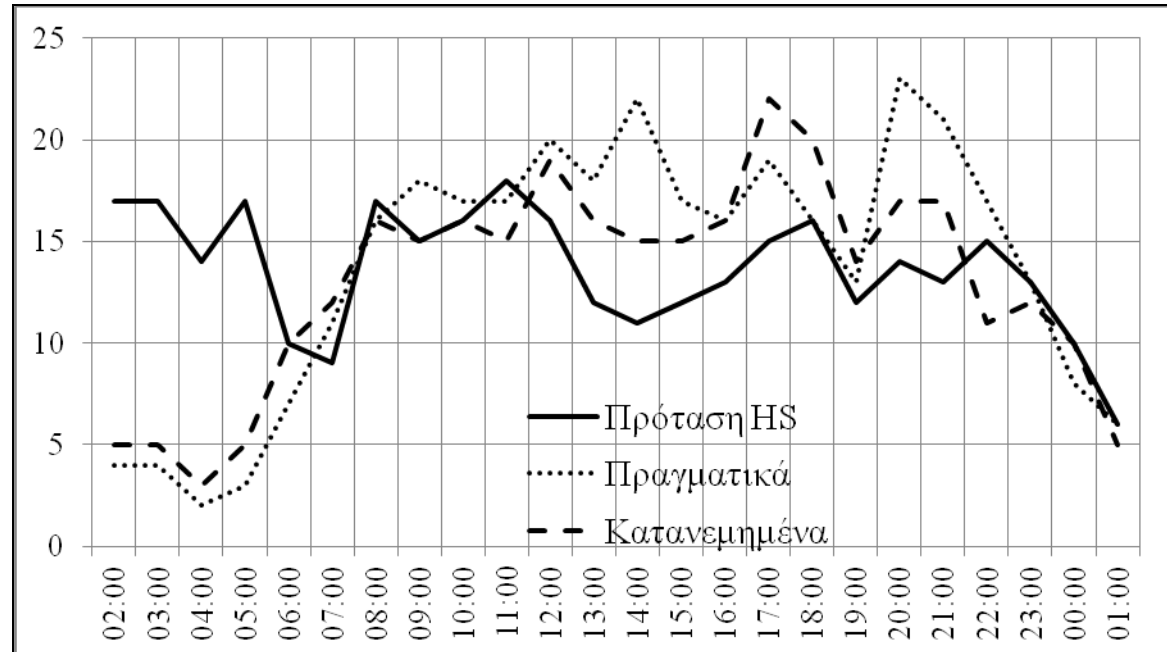
Όπως αναμένεται, στην περίπτωση που τίθεται ως ελάχιστη τιμή για χρονοπαράθρα ανά περίοδο το 10 (Σχήμα 5.12), η κατανομή μέσα στις ώρες της ημέρας γίνεται πιο ομαλά και ακολουθεί πλήρως τις αναμενόμενες καθυστερήσεις του Σχήματος 5.6. Και πάλι, παρατηρείται πως δημιουργούνται περίοδοι απορροφήσεως των καθυστερήσεων πτήσεων.



Σχήμα 5.13: Μέση καθυστέρηση πτήσεων με ελάχιστη τιμή χρονοπαράθρων ανά περίοδο 10

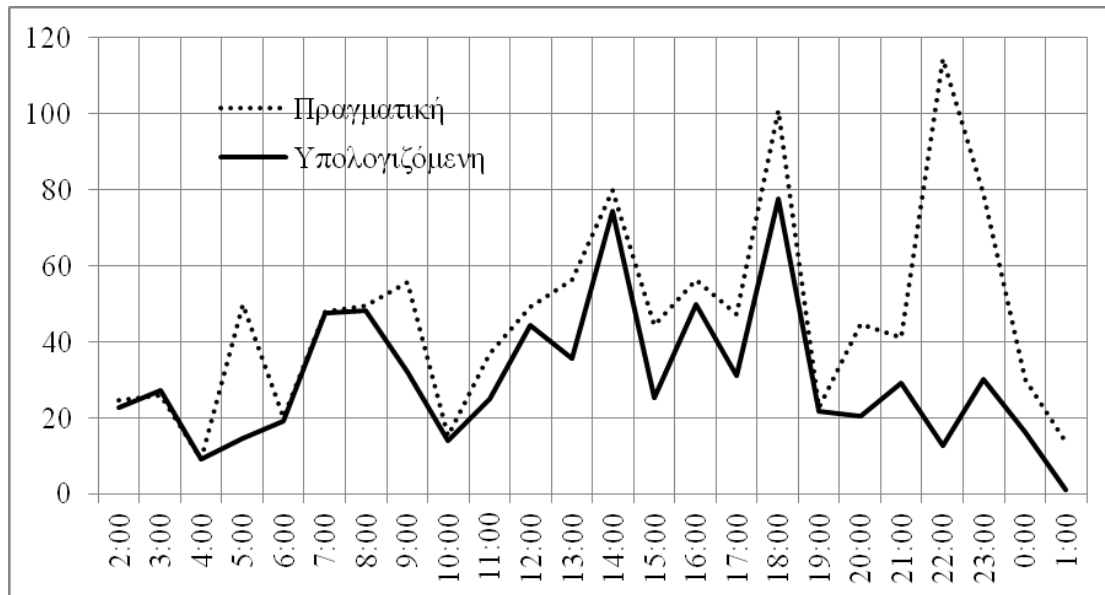
Όσον αφορά στις επιδόσεις της καθυστέρησης, όπως είναι λογικό αυτή μειώνεται σημαντικά (Σχήμα 5.13), καθώς πλέον η συμφόρηση είναι ελάχιστη και άρα δεν υπάρχει πρόβλημα εξυπηρέτησης καθυστερημένων πτήσεων είτε εντός της περιόδου είτε σε επόμενη.

Η μέση τιμή της καθυστέρησης είναι 32.15 λεπτά.



Σχήμα 5.14: Κατανομή χρονοπαραθύρων με ελάχιστη τιμή ανά περίοδο 0

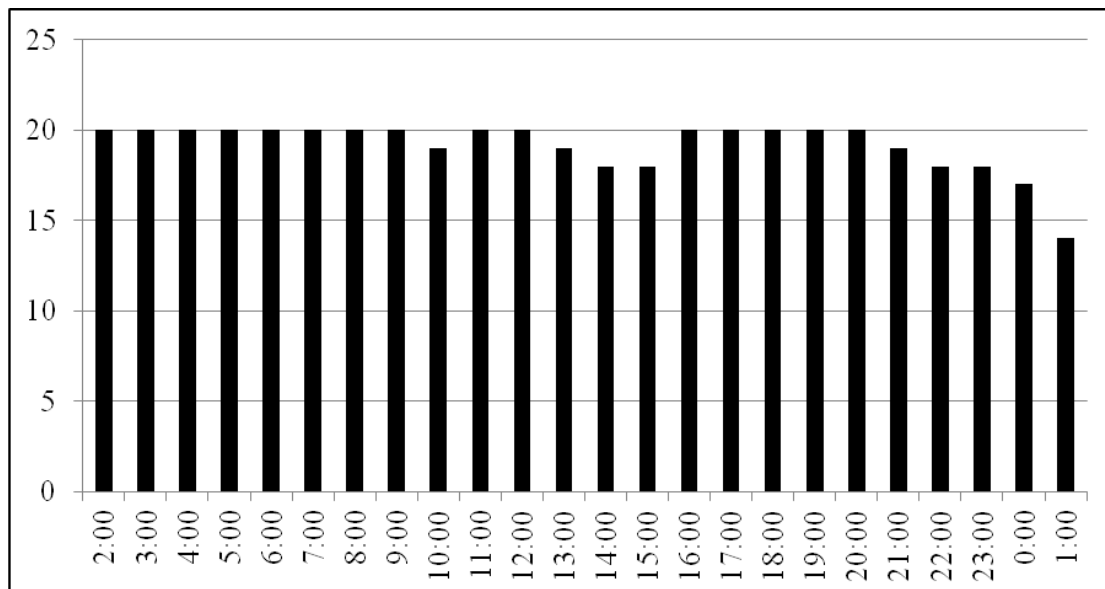
Στην περίπτωση που η ελάχιστη τιμή χρονοπαραθύρων ανά περίοδο τίθεται μηδενική (Σχήμα 5.14), τότε ο αλγόριθμος εξομαλύνει ακόμη περισσότερο την κατανομή χρονοπαραθύρων, δημιουργώντας όμως και πάλι ζώνες απορρόφησης τυχόν καθυστερήσεων. Και πάλι όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.15, η συνολική καθυστέρηση ανά περίοδο μειώνεται ενώ η μέση καθυστέρηση ανά πτήση έχει τιμή 31.14 λεπτά.



Σχήμα 5.15: Μέση καθυστέρηση πτήσεων με ελάχιστη τιμή χρονοπαραθύρων ανά περίοδο θ

5.4.3 Προσομοίωση 3: 24ωρη περίοδος με αυξημένες απαιτήσεις κίνησης

Η προσομοίωση αυτή δοκιμάζει τον τρόπο λειτουργίας του αλγορίθμου σε ακραίες περιπτώσεις, δηλαδή στην περίπτωση που η κίνηση του αεροδρομίου αυξάνεται σε 460 αιτήματα (480 αποτελούν τη συνολική χωρητικότητα του αεροδρομίου).



Σχήμα 5.16: Κατανομή χρονοπαραθύρων στην περίπτωση αυξημένης ζήτησης

Στην περίπτωση αυτή (όπου κατά μέσο όρο απαιτούνται 19 κινήσεις ανά χρονική περίοδο), ο αλγόριθμος αναζητεί τη βέλτιστη λύση έχοντας κατά βάση ως παράμετρο το γεγονός πως οι

πτήσεις δεν πρέπει να απορρίπτονται και γιαυτό το λόγο οι δύο τελευταίες χρονικές περίοδοι διαθέτουν λίγα χρονοπαράθυρα σε σχέση με το μέσο όρο των 19. Εννοείται πως η συγκεκριμένη μειωμένη τιμή εξυπηρετεί και τις καθυστερημένες πτήσεις από τη δεύτερη ώρα αιχμής (1700-2100) που βάσει των ιστορικών στατιστικών στοιχείων είναι σχετικά μεγάλες. Αντίστοιχα, παρατηρείται πως και πάλι υπάρχει μία (μικρή) χρονική περίοδος στη μέση της μέρας (μετά την πρώτη ώρα αιχμής) και πιο συγκεκριμένα μεταξύ 1300-1500 που έχει κενά χρονοπαράθυρα προκειμένου να εξυπηρετήσουν καθυστερημένες πρωινές πτήσεις.

Η μέση καθυστέρηση ανά πτήση στην περίπτωση αυτή είναι 80.16 λεπτά ενώ στην περίπτωση που γινόταν ομοιόμορφη κατανομή (19 χρονοπαράθυρα ανά περίοδο και στις τέσσερις πρώτες περιόδους 20), η μέση καθυστέρηση (βάσει της συνάρτησης που έχει καστασκευαστεί) ανά πτήση θα ήταν 81.29 λεπτά (ελαφρώς μεγαλύτερη της προηγούμενης δηλαδή) ενώ ως σημειωθεί πως 8 πτήσεις θα απορρίπτονταν (επί της ουσίας θα μετατίθεντο εκτός της 24ωρης περιόδου που εξετάζεται).

Η συγκεκριμένη προσομοίωση έχει σαν σκοπό να καταδείξει το γεγονός πως ακόμα και σε κορεσμένα αεροδρόμια, γίνεται φανερό πως μία μικρή μείωση της χωρητικότητας θα λειτουργήσει ανακουφιστικά ως προς τις καθυστερήσεις ανά πτήση.

6

Συμπεράσματα - Προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με το πρόβλημα της διαφοράς που παρατηρείται μεταξύ της ζήτησης και της χωρητικότητας των αεροδρομίων. Πρόκειται για ένα πρόβλημα το οποίο παρατηρείται διαχρονικά και αναμένεται να μεγαλώνει σύμφωνα με τις προβλέψεις για αύξηση της κίνησης (σύμφωνα με στοιχεία του Eurocontrol). Η λύση της κατασκευής συνεχώς νέων υποδομών που θα καλύπτουν την αυξημένη ζήτηση δεν είναι επαρκής, καθώς υπεισέρχονται παράγοντες κόστους (σημαντική οικονομική επιβάρυνση ειδικά σε μια περίοδο κρίσης), παράγοντες περιβαλλοντικοί (αποψίλωση εκτάσεων κλπ), παράγοντες φυσικοί (π.χ. ένα αεροδρόμιο δε μπορεί να επεκταθεί), παράγοντες χρονικοί (η ανάγκη για ζήτηση είναι εκτίμηση τωρινή που μπορεί να ανατραπεί) επομένως αναζητείται λύση στα πλαίσια της καλύτερης και αποδοτικότερης κατανομής των υπαρχόντων πόρων και κυρίως της αποτελεσματικής λειτουργίας των χρονοπαραθύρων των αεροδρομίων.

Αφού αναλύεται ο ισχύων κανονισμός κατανομής χρονοπαραθύρων, παρουσιάζονται οι αδυναμίες του που εμποδίζουν την αποδοτικότερη διαχείριση των χρονοπαραθύρων, οι κριτικές που έχουν γίνει και οι όποιες προτάσεις βελτίωσης υπάρχουν. Κατόπιν εκτίθεται η άποψη πως δεν ευθύνεται τόσο η έλλειψη υποδομών για τη συμφόρηση που παρατηρείται (με ότι αυτή συνεπάγεται) αλλά κυρίως το έλλειμμα ορθής διαχείρισης που υπάρχει. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται οι σχετικές εργασίες που υπάρχουν και ασχολούνται με το ζήτημα της

αποδοτικότερης κατανομής χρονοπαραθύρων. Χαρακτηριστικές είναι εργασίες οποίες υποστηρίζουν πως μείωση της δηλωμένης χωρητικότητας μπορεί να οδηγήσει (υπό συγκεκριμένες συνθήκες) σε βελτίωση των όρων λειτουργίας του αεροδρομίου (συμφόρηση, καθυστερήσεις κτλ) αλλά και των αεροπορικών εταιρειών (κέρδη κτλ).

Από τη μελέτη της κατάστασης διαχείρισης των χρονοπαραθύρων στα ελληνικά αεροδρόμια (τα περισσότερα από τα οποία χαρακτηρίζονται ως πλήρως συντονισμένα μόνο κατά τη θερινή περίοδο) παρατηρείται πως η συμφόρηση εντοπίζεται σε συγκεκριμένες ημέρες (ακόμα και ώρες). Λόγω αυτής της συγκέντρωσης της συμφόρησης, γίνεται ακόμα πιο εμφανής η παρατήρηση της προηγούμενης παραγράφου σχετικά με το έλλειμμα διαχείρισης που υπάρχει και το οποίο (στην περίπτωση των ελληνικών αεροδρομίων) οδηγεί σε υποχρησιμοποίηση των υποδομών κατά ένα πολύ μεγάλο μέρος του χρόνου (ακόμα και κατά τη θερινή περίοδο) και μεγάλη συμφόρηση σε συγκεκριμένες ώρες και ημέρες.

Για περαιτέρω μελέτη της κατάστασης επιλέχθηκε το αεροδρόμιο του Ηρακλείου (ως το δεύτερο ελληνικό αεροδρόμιο σε επιβατική κίνηση (μετά την Αθήνα) και ως το πρώτο αεροδρόμιο με εποχική κίνηση). Η ανάλυση των κατανομών των αρχικά κατανεμηθέντων χρονοπαραθύρων, των ζητηθέντων και των τελικά πραγματοποιηθέντων παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις και για την ακρίβεια φαίνεται πως η κατανομή των πραγματοποιηθέντων πτήσεων τείνει να “ακολουθήσει” την κατανομή που προκύπτει από τα αιτήματα των αεροπορικών εταιρειών για χρονοπαράθυρα, δηλαδή οι εταιρείες τείνουν συστηματικά να παραβιάζουν τα χρονοπαράθυρα που τους ανατίθενται.

Το πρόβλημα αυτό είναι διαχρονικό, αφού από την ανάλυση των χρονοπαραθύρων που ανατίθεντο πριν το 2000 και των χρονοπαραθύρων που ανατίθενται τα τελευταία χρόνια, φαίνεται πως ανέκαθεν παρατηρούνταν αιχμές (πρωινή και απογευματινή) με πολύ λίγες πτήσεις στις υπόλοιπες ώρες της μέρας ενώ τα τελευταία χρόνια οι αιχμές παραμένουν, αναλογικά όμως με την αύξηση της κίνησης γίνεται προσπάθεια εξομάλυνσης.

Κατόπιν, αναλύθηκαν οι περιπτώσεις των παραβιάσεων ανά χώρα και ανά εταιρεία ώστε να εντοπιστεί πως αυτές συνδέονται με το δίκτυο των εταιρειών αλλά και τη σύνθεση προορισμών που εξυπηρετούνται από το Ηράκλειο. Από τη μελέτη αυτή καταδεικνύεται η ιδιαίτερη θέση που έχει το Ηράκλειο (και γενικότερα η Ελλάδα) ως προς τους σημαντικότερους Ευρωπαϊκούς προορισμούς καθώς ισαπέχει σχεδόν από τα αεροδρόμια προέλευσης. Η μελέτη των δικτύων εταιρειών των σημαντικότερων χωρών προέλευσης δείχνει πως αφενός τα δίκτυα των περισσότερων εταιρειών παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά (κάτι που εξηγεί τις αιχμές που παρατηρούνται) και αφετέρου τα προγράμματα πτήσεων δείχνουν την προσπάθεια των εταιρειών να αξιοποιήσουν πλήρως τα αεροσκάφη τους (πολλές φορές με πτήσεις και κατά τη διάρκεια της νύχτας) κάτι το οποίο

εξηγεί γιατί οι εταιρείες παραβιάζουν τα χρονοπαράθυρα που τους δίνονται και επιλέγουν αυτά που τις εξυπηρετούν.

Έχοντας εντοπίσει τα προβλήματα που υπάρχουν από τις αναθέσεις χρονοπαραθύρων, η διπλωματική εργασία χρησιμοποιεί έναν ευφυή ευριστικό αλγόριθμο (αναζήτηση αρμονίας, harmony search, HS) ο οποίος έχει σκοπό να βρει τη βέλτιστη κατανομή χρονοπαραθύρων ώστε να προκαλούνται οι λιγότερες αποκλίσεις/καθυστερήσεις. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ιστορικά στατιστικά στοιχεία από τις αποκλίσεις/καθυστερήσεις προηγούμενων ετών για την αντίστοιχη χρονική περίοδο. Από την εφαρμογή του αλγορίθμου και τις προσομοιώσεις που έγιναν συνάγονται τα ακόλουθα:

- Είναι απαραίτητο σε περιόδους που αναμένονται αποκλίσεις/καθυστερήσεις να έπεται μία περίοδος η οποία θα έχει διαθέσιμα χρονοπαράθυρα για να καλύψει αυτές τις πτήσεις και να απορροφήσει τις καθυστερήσεις χωρίς να τις μεταθέσει πολύ αργότερα,
- Βάσει της παραπάνω παρατήρησης, η κατανομή χρονοπαραθύρων που προτείνεται από τον αλγόριθμο HS μειώνει το μέγεθος των καθυστερήσεων σε σχέση με την πραγματική εικόνα (όπως προκύπτει από ιστορικά στοιχεία),
- Ακόμα και σε περιπτώσεις αεροδρομίων που η ζήτηση κινείται σε επίπεδο κορεσμού σχεδόν για όλο το 24ωρο, είναι απαραίτητες περίοδοι οι οποίες θα λειτουργούν απορροφητικά για τις καθυστερήσεις των προηγούμενων περιόδων. Εφόσον αυτές οι περίοδοι παρουσιάζουν ιστορικά χαμηλές αποκλίσεις/καθυστερήσεις τότε τα αποτελέσματα είναι ακόμη πιο θετικά διότι δε μετατίθεται το πρόβλημα.

Αξίζει να σημειωθεί πως ο αλγόριθμος είναι πλήρως παραμετροποιήσιμος για οποιοδήποτε μέγεθος χρονικής περιόδου και για οποιοδήποτε αεροδρόμιο. Μπορούν επίσης να τίθενται όρια ως προς τις άνω και κάτω τιμές των χρονοπαραθύρων ανά περίοδο ενώ τα ιστορικά στοιχεία αποκλίσεων/καθυστερήσεων μπορούν ανά πάσα στιγμή να προσαρμοστούν.

Στόχος της παραπάνω διαδικασίας είναι σαφώς οι εταιρείες να συμμορφώνονται με τα χρονοπαράθυρα που τους ανατίθενται (στις περιπτώσεις που δεν παρουσιάζουν καθυστερήσεις οφειλόμενες σε εξωγενείς παράγοντες), κάτι το οποίο θα μειώνει τις ιστορικές αποκλίσεις και άρα θα μειώνει την ανάγκη για δημιουργία περιόδων απορρόφησης καθυστερήσεων.

6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Από την εφαρμογή του αλγορίθμου HS φαίνεται πως μία κατανομή χρονοπαραθύρων βάσει ιστορικών στατιστικών στοιχείων αποκλίσεων/καθυστερήσεων μπορεί να βελτιώσει την κατάσταση όσον αφορά στη συμφόρηση ενός αεροδρομίου. Η διαδικασία αυτή αποτελεί ένα πρώτο βήμα για τη μελέτη και τον αποδοτικότερο έλεγχο της κατάστασης.

Μία πρώτη βελτίωση του αλγορίθμου μπορεί να είναι να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο ιστορικά στατιστικά στοιχεία των καθυστερήσεων/αποκλίσεων αλλά και των προτιμήσεων των αεροπορικών εταιρειών (ώστε να διαφαίνονται οι περιπτώσεις συμφόρησης). Κάτι τέτοιο θα μπορεί να δώσει σε κάθε περίπτωση τις τάσεις που υπάρχουν από τις αεροπορικές εταιρείες και να βοηθά τον αλγόριθμο να λαμβάνει μέριμνα ώστε να αποφεύγονται οι πολλές καθυστερήσεις.

Ειδικότερα, απαιτείται επίσης μία αξιολόγηση του αντισταθμίσιματος (tradeoff) που δημιουργείται από την επί της ουσίας μειωμένη δηλωμένη χωρητικότητα που διατίθεται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Το ποια είναι η επίδραση αυτής της μείωσης στις αεροπορικές εταιρείες, στον επιβάτη και στο ίδιο το αεροδρόμιο αποτελεί ένα σύνθετο αλλά ενδιαφέρον ζήτημα για περαιτέρω διερεύνηση. Αξίζει να σημειωθεί πως σε αντίθεση με άλλες μεθόδους της βιβλιογραφίας, ο προτεινόμενος αλγόριθμος δε μειώνει τη συνολική κίνηση επιβατών, αφού απλά επανακατανέμει πτήσεις σε περιόδους με μικρότερη συμφόρηση, παρόλα αυτά πρέπει να εξεταστεί ποιο είναι το κόστος για μια εταιρεία να επαναπρογραμματίσει την πτήση της (σε σχέση με το υπόλοιπο δίκτυό της π.χ.) σε άλλο χρονοπαραθύρο.

Σαν συνέχεια της προσπάθειας για καλύτερη κατανομή των χρονοπαραθύρων μπορεί να γίνει μία εναλλακτική αναζήτηση χρονοπαραθύρων για κάθε εταιρεία βάσει του δικτύου της και βάσει του προγράμματος πτήσεών της. Όπως φάνηκε από το Κεφάλαιο 4, τα δίκτυα των περισσότερων εταιρειών που επισκέπτονται το Ηράκλειο (και την Ελλάδα), παρουσιάζουν κοινά χαρακτηριστικά και πολλές φορές ακόμα και τα προγράμματα πτήσεων είναι παρόμοια. Ένας κεντρικός συντονισμός των αιτημάτων των εταιρειών για χρονοπαραθύρα ώστε να τους γίνονται εναλλακτικές προτάσεις (λαμβάνοντας υπ' όψιν το σύνολο του δικτύου και του στόλου τους) μπορεί να δώσει λύση στο πρόβλημα αεροδρομίων που παρουσιάζουν συμφόρηση μόνο σε ώρες αιχμής (και όχι σε όλη τη διάρκεια της μέρας).

Βιβλιογραφία

- [1] “Air slots at Heathrow can be traded, High Court rules”, *Financial Times*, 26 March 1999
- [2] “The sky-high demand for Heathrow slots”, *Sunday Times*, 22 February 2004
- [3] “BA buys extra slots at Heathrow”, *Financial Times*, 1 April 2007
- [4] “Lufthansa wins BMI sale battle with £115m to spare”, *The Independent*, 23 June 2009; and “Germans eye long-haul routes from Heathrow”, *Financial Times*, 30 October 2008
- [5] “US presses on with NY airport slot sales”, *Financial Times*, 10 October 2008
- [6] Airport Coordination Limited, UK SLOT ALLOCATION PROCESS AND CRITERIA, 2002
- [7] Airport Council International (ACI) EUROPE, Study on the Use of Airport Capacity, Bruxelles, ACI, 2004
- [8] Ball Michael O., Ausubel Lawrence M., Berardino Lawrence M., George Donohue, Mark Hansen, and Karla Hoffman. Marketbased alternatives for managing congestion at New Yorks LaGuardia airport. In Proc. of AirNeth Annual Conference. 2007
- [9] Ball Michael O., Donohue George, and Hoffman Karla. Auctions for the safe, efficient and equitable allocation of airspace resources, 2004
- [10] Barbot, C. “Economic Effects of Re-allocating Airport Slots: A Vertical Differentiation Approach”, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 10, no. 5, pp. 333-343, 2004
- [11] Basso, L. J., Zhang, A. “Pricing vs. Slot Policies when Airport Profits Matter”, *Transportation Research Part B*, Vol. 44, pp. 381–391, 2010
- [12] Boyfield C., A market in airport slots, March 2003
- [13] Brueckner, J.K., Internalisation of airport congestion. *Journal of Air Transport Management* 8 (3), 141–147, 2002.
- [14] Brueckner, J. K. (2009) “Price vs. Quantity-Based Approaches to Airport Congestion Management”, *Journal of Public Economics*, Vol. 93, pp. 681–690.
- [15] Carlin, A., Park, R.E., Marginal cost pricing of airport runway capacity. *American Economic Review* 60, 310–318, 1970
- [16] Churchill Andrew Michael, DETERMINING THE NUMBER OF SLOTS TO SUBMIT TO A MARKET MECHANISM AT A SINGLE AIRPORT, Master Thesis, MIT, 2007

- [17] Czerny Achim I.. Congestion Pricing vs. Slot Constraints to Airport Networks, Working Papers 2006-02, Center for Network Industries and Infrastructure (CNI), 2006
- [18] Cramton, P., Ball, M. O., Ausubel, L. M., Berardino, F., Donohue, G., Hansen, M., Hoffman, K. “Market-Based Alternatives for Managing Congestion at New York’s LaGuardia Airport”, Paper presented at the *1st Airneth Annual Conference* on Optimal Use of Scarce Airport Capacity, April 2007, The Hague.
- [19] Daniel, J. I., Pahwa, M. (2000) “Comparison of three Empirical Models of Airport Congestion Pricing”, *Journal of Urban Economics*, Vol. 47, pp. 1-38.
- [20] D’Huart Olivier, Airport Slot Allocations in the European Union: Current Regulation and Perspectives, 2009
- [21] De Jong K., Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems, Ph.D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 1975.
- [22] De Neufville, R., Odoni, A. R. Airport Systems: Planning, Design and Management, McGraw-Hill, New York, 2003
- [23] Dot Econ Ltd. Auctioning Airport Slots (<http://www.dotecon.com/publications/slotautcp.pdf/>), πρόσβαση 20/06/2012
- [24] EUROCONTROL, Medium-Term Forecast, February 2012, Flight Movements 2012 - 2018
- [25] European Commission press notice, “Mergers: Commission approves acquisition of British Midlands (bmi) by IAG subject to conditions”, 30 March 2012
- [26] European Commission, European Council Regulation (EEC) No. 95/93 of January 1993 on Common Rules for the Allocation of Slots at Community Airports. Official Journal of the European Union, Brussels, Belgium, L 014, pp. 0001–0006.
- [27] European Commission, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Council Regulation (EEC) No. 95/93 of January 1993 on Common Rules for the Allocation of Slots at Community Airports. COM (2001) 335 Final, Brussels, Belgium.
- [28] European Commission, Regulation (EC) No. 793/2004 of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 Amending Council Regulation (EEC) No. 95/93 on Common Rules for the Allocation of Slots at Community Airports. Official Journal of the European Union, Brussels, Belgium, L 138, pp. 50–60.
- [29] European Commission, Better Airports Package, December 2011
- [30] Fan, T.P., Odoni, A.R. A Practical Perspective on Airport Demand Management. *Air Traffic Control Quarterly* 10 (3), 285–306, 2002
- [31] Fogel L.J., Owens A.J., Walsh M.J., Artificial Intelligence Through Simulated Evolution, John Wiley, Chichester, UK, 1966.
- [32] Geem Z.W., Kim J.-H., Loganathan G.V., A new heuristic optimization algorithm: harmony search, *Simulation* 76 (2) 60-68, 2001
- [33] Glover F., Heuristic for integer programming using surrogate constraints, *Decision Sci.* 8 (1) (1977) 156–166.
- [34] Goldberg D.E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley, Boston, MA, 1989.

- [35] Grether David M., Isaac R. Mark, and Plott Charles R. Alternative methods of allocating airport slots: Performance and evaluation. Technical report, Polinomics Research Laboratories, 1979
- [36] Harsha, P., Mitigating Airport Congestion: Market Mechanisms and Airline Response Model. PhD thesis. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA, 2008
- [37] Holland J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975.
- [38] Janic M., Stough R. “Congestion Charging at Airports: Dealing with an Inherent Complexity”, Conference Papers of European Regional Science Association, Vol. 03, p. 434, 2003
- [39] Johnson, T., Savage, I. (2006) “Departure Delays, the Pricing of Congestion, and Expansion Proposals at Chicago O’Hare Airport”, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 12, pp. 182–190.
- [40] Katsaros A., Psaraki V., “Slot Misuse Phenomena in capacity-constrained Airports with seasonal Demand: the Greek Experience”, *Transportation Planning and Technology*, vol 35, no 5, 2012
- [41] Kirkpatrick S., Gelatt C., Vecchi M., Optimization by simulated annealing, *Science* 220 (4598) 671–680, 1983
- [42] Koza J.R., Genetic programming: a paradigm for genetically breeding populations of computer programs to solve problems, Rep. No. STAN-CS-90-1314, Stanford University, CA, 1990
- [43] Köster, D. “Study on the usage of declared capacity at major German airports”, Paper presented at the *1st Airneth Annual Conference on Optimal Use of Scarce Airport Capacity*, April 2007, The Hague
- [44] Kumar Vivek, Sherry Lance, AIRPORT THROUGHPUT CAPACITY LIMITS FOR DEMAND MANAGEMENT PLANNING, ICNS 2011
- [45] Levine, M.E., Landing fees and the airport congestion problem. *Journal of Law and Economics* 12, 79–108, 1969
- [46] Le Loan, Donohue George, and Chen Chun-Hung. Using aucitonbased slot allocation for traffic demand management at Hartsfield Atlanta airport: A case study. In National Research Council Transportation Research Board Meeting, January 2004.
- [47] Matthews Bryan and Menaz Batool, *Airport Capacity: The Problem of Slot Allocation*, 2003
- [48] MacDonald Mott, Consulting Study on the impact of the introduction of secondary trading at Community airports, European Commission (DGTRE), 2006
- [49] Morrison, S. A., Winston, C. “Another Look at Airport Congestion Pricing”, *American Economic Review*, Vol. 5, pp. 1970-1977, 2007
- [50] NERA, Economic Consultation, Study to Assess the Effects of Different Slot Allocation Schemes, A Report for the European Commission DG TREN, Marsh and McLennan Companies , 2004
- [51] Odoni, A.R., Congestion pricing for airports and for en route airspace. In: Bianco, Lucio, Dell’ Olmo, P., Odoni, A.R. (Eds.), *New Concepts and Methods*

- in Air Traffic Management. Transportation Analysis Series. Springer-Verlag, Berlin, 2001
- [52] Rassenti Stephen J., Smith Veron L., and Bulfin Robert L.. A combinatorial auction mechanism for airport time slot allocation. *Bell Journal of Economics*, 13(2):402–417, 1982
 - [53] Port Authority of New York and New Jersey. Hearing on congestion management in New York airspace, 2008
 - [54] Schaefer, A.J., Johnson, E.L., Kleywegt A.J. and Nemhauser, G.L. ‘Airline crew scheduling under uncertainty’, *Transportation Science*, Vol. 39, No. 3, pp.340-348, 2005
 - [55] Schank, J. L. “Solving Airside Airport Congestion: Why Peak Runway Pricing is not Working”, *Journal of Air Transport Management*, Vol. 11, no. 6, pp. 417-425, 2005
 - [56] Technology University of Berlin (TUB), Possibilities for the Better Use of Airport Slots in Germany and the EU. Technical report prepared by the Technology University of Berlin, Department of Infrastructure Economics, Workgroup for Infrastructure Policy, Berlin, Germany, 2001
 - [57] Tomer, A. and Puentes, R. Expect delays: an analysis of air travel trends in the United States. Brookings Metropolitan Infrastructure Initiative Series, Washington DC, 2009
 - [58] US DoT press notice, “Transportation Secretary LaHood Proposes to Cancel Slot Auctions for New York-Area Airports, Announces Discussions on Reducing Congestion”, 13 May 2009
 - [59] Vaze Vikrant, Barnhart Cynthia A Multi-stakeholder Evaluation of Strategic Slot Allocation Schemes under Airline Frequency Competition, Ninth USA/Europe Air Traffic Management Research and Development Seminar (ATM2011)
 - [60] Vaze Vikrant, Barnhart Cynthia, An Assessment of the Impact of Demand Management Strategies for Efficient Allocation of Airport Capacity, *International Journal of Revenue Management* 2012 Vol.6 – No.1/2, pp 5-27
 - [61] Verhoef, E. T., “Congestion Pricing, Slot Sales and Slot Trading in Aviation”, *Transportation Research Part B*, Vol. 44, pp. 320–329, 2010
 - [62] Whalen, W. T., Carltonb, D. W., Heyerc, K., & Richard, O. “Proposal For A Market-Based Solution to Airport Delays”, Antitrust Division of U.S. Department of Justice, Economic Analysis Group Discussion Papers, Washington DC, 2007