ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΝΔΡΕΑ ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗ

ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΣΕ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ ΜΕ ΣΥΜΦΟΡΗΣΗ

Επιβλέπων : ΚΩΣΤΑΣ ΑΝΔΡΟΥΤΣΟΠΟΥΛΟΣ – Επίκουρος Καθηγητής

Υποβληθείσα ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση
Μεταπτυχιακού Διπλώματος (MSc) στη Διοικητική Επιστήμη και Τεχνολογία

Αθήνα, Ιανουάριος 2021

Βεβαίωση εκπόνησης Διπλωματικής εργασίας

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία για τη λήψη του μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών του ΠΜΣ στη Διοικητική Επιστήμη και Τεχνολογία του Τμήματος Διοικητικής Επιστήμης και Τεχνολογίας του Οικονομικού Πανεπιστημίου Αθηνών έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών στην Ελλάδα ή το εξωτερικό. Η εργασία αυτή έχοντας εκπονηθεί από εμένα, αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολό τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο».

(Υπογραφή)

.....

ΠΑΠΑΓΙΑΝΝΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

Φοιτητής MSc στη Διοικητική Επιστήμη και Τεχνολογία

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Περίληψη

Η ταχεία αύξηση των αεροπορικών μεταφορών τις τελευταίες δεκαετίες έχει ως αποτέλεσμα σε πολλά αεροδρόμια παγκοσμίως, να δημιουργείται συμφόρηση με αποτέλεσμα καθυστερήσεις πτήσεων και χαμηλό επίπεδο εξυπηρέτησης. Η συμφόρηση είναι ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται σε αεροδρόμια όπου η χωρητικότητα τους δεν ικανοποιεί τη ζήτηση. Η ιδέα ότι αυτή η ανισορροπία μπορεί να αντιμετωπιστεί με φυσική επέκταση των δομών ενός αεροδρομίου δε δείχνει ρεαλιστική, καθώς σχετίζεται με υψηλά κόστη, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, διαθεσιμότητα γης, μακροχρόνιες διαδικασίες έγκρισης, καθώς και πολιτικές σκοπιμότητες. Σε πολλά αεροδρόμια όπου η ζήτηση δεν υπερβαίνει τη δυναμικότητα του αεροδρομίου, οι αεροπορικές εταιρείες πρέπει να ζητήσουν χρονικά διαστήματα (χρονοθυρίδες) για προσγείωση ή απογείωση. Δεδομένης της ανισορροπίας μεταξύ ζήτησης και δυναμικότητας, τα αιτήματα για χρονοθυρίδες δεν μπορούν πάντα να προγραμματιστούν όπως αρχικά ζητήθηκαν. Η διαφορά μεταξύ των ζητούμενων και των τελικά κατανεμημένων χρονοθυρίδων ονομάζεται μετατόπιση.

Ο στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι διπλός: (α) η ελαχιστοποίηση της αθροιστικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος (aggregated schedule displacement) & (β) η ελαχιστοποίηση της μέγιστης υπερβολικής μετατόπισης ανά αίτημα (excess displacement). Επιπλέον, θα εξετάσουμε πώς επηρεάζονται αυτά τα μεγέθη από την ύπαρξη ή μη ιστορικών δικαιωμάτων, για διάφορα επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας αεροδρομίου. Η αθροιστική μετατόπιση είναι η μετατόπιση στην οποία υπόκειται ένα αίτημα, σε σχέση με την αρχικά ζητούμενη από τον αερομεταφορέα ώρα, για όλη τη περίοδο συντονισμού. Αντίστοιχα, υπερβολική μετατόπιση είναι το επιπλέον χρονικό διάστημα της μετατόπισης, πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο ανοχής, που υπόκειται ένα αίτημα καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου συντονισμού. Παράλληλα, εισάγεται ένας νέος περιορισμός που σχετίζεται με το πλήθος των επιβατών, που μπορεί να εξυπηρετήσει ο αερολιμένας και διερευνάται κατά πόσο η ύπαρξη του επιπλέον περιορισμού για διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού, επηρεάζει τα δεδομένα του προγραμματισμού χρονοθυρίδων σε αεροδρόμια με συμφόρηση. Ο συγκεκριμένος περιορισμός είναι σημαντικός, καθώς με αφορμή τα μέτρα προφύλαξης ενάντια στην πανδημία, πιθανόν θα υπάρχει ένα μέγιστο όριο επιβατών που θα μπορεί να υποδεχτεί κάθε τερματικός σταθμός. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα, ειδικά σε πιο μικρά αεροδρόμια ότι, εκτός από τη δηλωμένη χωρητικότητα του αεροδρομίου, θα πρέπει στη διαδικασία του προγραμματισμού ανάθεσης χρονοθυρίδων, να λαμβάνεται υπ' όψη και αυτό το μέγεθος προκειμένου να τηρούνται τα μέτρα προστασίας των επιβατών.

Για την επίλυση των προβλημάτων χρησιμοποιούνται πραγματικά δεδομένα προγραμματισμού και συγκεκριμένα του αεροδρομίου των Χανίων (CHQ) για το χρονικό διάστημα από 29/03 έως 30/06/2008. Τα δεδομένα αποτελούνται από 632 αιτήματα υπό τη μορφή 350 ζευγών αιτημάτων, τα οποία έχουν υποβληθεί από 42 αερομεταφορείς και αφορούν συνολικά 5.776 κινήσεις

Από την επίλυση του προβλήματος ελαχιστοποίησης της αθροιστικής μετατόπισης προκύπτει ότι η εφαρμογή των ιστορικών δικαιωμάτων λειτουργεί εις βάρος της αποδοτικότητας του προγράμματος για κάθε επίπεδο δηλωμένης χωρητικότητας και για κάθε επίπεδο χωρητικότητας του τερματικού σταθμού, με αυτό να είναι λιγότερο έντονο στο επίπεδο της υψηλότερης δηλωμένης χωρητικότητας. Ειδικά για τη περίπτωση της χαμηλότερης δηλωμένης χωρητικότητας, η αθροιστική μετατόπιση είναι μέχρι και 45% υψηλότερη με την εφαρμογή των ιστορικών δικαιωμάτων. Ένα ακόμα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι αυτή η διαφορά βελτιώνεται όσο προχωράμε σε πιο χαλαρά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας. Συγκεκριμένα, για ίδια επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού, η αύξηση της δηλωμένης χωρητικότητας του αεροδρομίου, μπορεί να επιφέρει μέχρι 80% μείωση στην αθροιστική μετατόπιση. Εκτός όμως από το πώς επηρεάζεται η αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος από τη δηλωμένη χωρητικότητα αεροδρομίου, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό και

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

από αυτήν του τερματικού σταθμού ειδικά για χαμηλά επίπεδα, ενώ μεταβάλλεται ελάχιστα στις περιπτώσεις μεγαλύτερης χωρητικότητας. Ειδικά για περιπτώσεις αεροδρομίων με μη επαρκείς υποδομές, μία μικρή αύξηση της χωρητικότητας του τερματικού σταθμού από 450 σε 500 επιβάτες ανά ώρα, μπορεί να επιφέρει μείωση στην αθροιστική μετατόπιση μέχρι και 73% ακόμα και για χαμηλά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας αεροδρομίου.

Σε αντίθεση με την αθροιστική μετατόπιση, το μέγεθος της υπερβολικής μετατόπισης δεν δείχνει να επηρεάζεται ούτε από την εφαρμογή ή όχι ιστορικών δικαιωμάτων αλλά ούτε και από τα διάφορα επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας του αερολιμένα. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι η υπερβολική μετατόπιση είναι ακριβώς ίδια για όλα τα επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας που εξετάζουμε. Το μέγεθος όμως, το οποίο δείχνει να επηρεάζει την υπερβολική μετατόπιση, είναι το πλήθος των επιβατών που μπορεί να εξυπηρετήσει ένας τερματικός σταθμός στη μονάδα του χρόνου και αυτό πάλι για χαμηλά επίπεδα χωρητικότητας του. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι για κάθε επίπεδο χωρητικότητας αεροδρομίου και σε κάθε σενάριο (με ή χωρίς χρήση ιστορικών δικαιωμάτων), η υπερβολική μετατόπιση μηδενίζεται για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας αεροδρομίου. Ένα ακόμα ενδιαφέρον συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι μία μικρή αύξηση στη χωρητικότητα του τερματικού σταθμού από 300 σε 400 επιβάτες βελτιώνει την υπερβολική μετατόπιση μέχρι και 69%.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορούν να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες στο συντονιστή αεροδρομίου να κατανείμει χρονοθυρίδες, που τελικά είναι αποδεκτές από τους αερομεταφορείς και ως εκ τούτου χρησιμοποιούνται πιο εντατικά.

Λέξεις Κλειδιά:

Προγραμματισμός αεροδρομίου

Ανάθεση χρονοθυρίδων

Μετατόπιση χρονοδιαγράμματος

Δηλωμένη χωρητικότητα

Αθροιστική μετατόπιση

Υπερβολική μετατόπιση

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.



Abstract

The globally rapid increase of air transportation during the last years resulted to the fact that many airports worldwide, faced congestion problems and consequently flight delays, and low level of service (LoS). Congestion is a problem in airports where capacity does not meet demand. The opinion that this imbalance can be met by physical capacity expansion, is now seen unrealistic due to high cost of investment, environmental constraints, bureaucracy reasons and lack of land availability. At those airports, airlines must request time slots for the purpose of landing or taking off. Given the imbalance between demand and capacity, slot requests cannot always be scheduled as requested. The difference between the requested and allocated time slots is called displacement.

The objective of this paper is the minimization of aggregated and excess displacement of slot allocation and how these measures are affected by grandfather rights, so as to increase the acceptability (from airlines' perspective) of the proposed slot schedule. In the same time a new constraint, which refers to the maximum number of passengers in terminal station, is taken into consideration.

According to the outcoming results, the impact of the grandfather rights constraints leads to the high increase of aggregated displacement, especially for low levels of declared capacity but this figure decreases for higher declared capacity levels. From another perspective, aggregate displacement is also affected by low capacity levels of the terminal station, but after a certain point of terminal's capacity level, it remains almost stable. In contrast to aggregate displacement, excess displacement is affected by neither grandfather rights constraints nor the different levels of declared capacity. Despite the zero effect of the above mentioned constraints, excess displacement increases dramatically in case of low capacity levels of the terminal station.

The proposed models are applied to real-world scheduling data. The outcoming results could give useful information to airport coordinators, in order to allocate slots that are eventually acceptable and therefore more extensively & effectively used.

Keywords:

Airport scheduling

Slot allocation

Schedule displacement

Declared capacity

Aggregate displacement

Excess displacement

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Η σελίδα αυτή είναι σκόπιμα λευκή.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ **3**

ABSTRACT **6**

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ **8**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ **10**

2. ΝΟΜΙΚΟ – ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ **13**

2.1 Εισαγωγή **13**

2.2 Διαδικασία Προγραμματισμού **13**

2.3 Ιστορικά Δικαιώματα **14**

2.4 Νέο – εισερχόμενοι αερομεταφορείς & υπόλοιπες κατηγορίες πτήσεων **14**

2.5 Μεταβίβαση – Ανταλλαγή χρονοθυρίδων **15**

2.6 Μη χρήση χρονοθυρίδων & επιβολή κυρώσεων **15**

2.7 Λόγοι δικαιολογημένης μη – χρήσης χρονοθυρίδων **16**

2.8 Περιορισμοί χωρητικότητας **17**

2.9 Πτήσεις εσωτερικού **17**

2.10 Προγραμματισμός πτήσεων στα αεροδρόμια των Η.Π.Α. **17**

2.11 Υπόλοιπα αεροδρόμια **18**

2.12 Market Based μοντέλα **18**

3. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ **20**

3.1 Εισαγωγή **20**

3.2 Στρατηγική προσέγγιση **20**

3.2.1 Στρατηγικές προσεγγίσεις βασισμένες στην αγορά (market – based models) & αξιολόγησή τους 20

3.2.2 Κριτική επισκόπηση υφιστάμενων ερευνών & προτεινόμενες κατευθύνσεις 25

3.3 Εφαρμογή διοικητικών μέτρων **29**

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

3.3.1 Ιεραρχικά μοντέλα 29
3.3.2 Μη ιεραρχικά μοντέλα 31
3.3.3 Υβριδικά μοντέλα 32
3.4 Μοντέλα με δείκτες δικαιοσύνης 33
4. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΕΡΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ 36
5. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ 38
5.1 Βασικές έννοιες & σύμβολα 38
5.2 1ο μοντέλο προγραμματισμού ανάθεσης χρονοθυρίδων 40
5.3 2ο μοντέλο προγραμματισμού ανάθεσης χρονοθυρίδων 42
6. ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ & ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 43
6.1 Δεδομένα προβλήματος 43
6.2 Αποτελέσματα 1ου προβλήματος 45
6.3 Αποτελέσματα 2ου προβλήματος 50
7. ΒΑΣΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ 52
7.1 Βασικά συμπεράσματα 52
7.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις 52
***APPENDICES* 54**
APPENDIX 1 54
Βασικοί ορισμοί 54
APPENDIX 2 58
Πίνακες αποτελεσμάτων 1ου προβλήματος 58
APPENDIX 3 62
Πίνακες αποτελεσμάτων 2ου προβλήματος 62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 64

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

1. Εισαγωγή

Ένας από τους κλάδους, ο οποίος παρουσιάζει συνεχώς αυξανόμενους ρυθμούς ανάπτυξης και συνεισφέρει σημαντικά στη παγκόσμια οικονομία, είναι αυτός των αεροπορικών μεταφορών. Συγκεκριμένα τα έσοδα του κλάδου το 2018 έφτασαν τα $161,3 δις (ACI, 2018). Παράλληλα, το 2017 μετακινήθηκαν 8,3 δισεκατομμύρια επιβάτες σημειώνοντας ετήσια αύξηση 7,5%, διακινήθηκαν 118,6 εκατομμύρια τόνοι εμπορευμάτων σημειώνοντας ετήσια αύξηση 7,7% και πραγματοποιήθηκαν συνολικά 95,8 εκατομμύρια πτήσης σημειώνοντας ετήσια αύξηση 3% (ACI, 2018). Οι προβλέψεις του Airport Councils International (ACI), προβλέπουν μέχρι το 2040, έστω και με μειωμένους ρυθμούς, περαιτέρω αύξηση των παραπάνω δεικτών κατά 4,1% των επιβατών, 2,4% του όγκου των μεταφερόμενων εμπορευμάτων & 2% των πτήσεων (ACI, 2018). Ειδικά για την Ευρώπη προβλέπεται ότι μέχρι το 2040 ο αριθμός των πτήσεων θα φτάσει τα 16,2 εκατομμύρια, που αποτελεί αύξηση 53% σε σχέση με το 2017 (Eurocontrol, 2019).[1]

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που σχετίζονται με τη ταχεία ανάπτυξη των αεροπορικών μεταφορών, που σημειώθηκε τις τελευταίες δεκαετίες, είναι ότι στα περισσότερα από τα πιο πολυσύχναστα αεροδρόμια παγκοσμίως η ζήτηση (ειδικά συγκεκριμένες ώρες της ημέρας ή συγκεκριμένες περιόδους) υπερβαίνει τη δυνατότητα του εκάστοτε αεροδρομίου, για προσφορά των απαιτούμενων υπηρεσιών αεροπορικών μεταφορών (π.χ. προγραμματισμός πτήσεων, θέσεις στάθμευσης αεροσκαφών, δυνατότητα εξυπηρέτησης επιβατών). Σύμφωνα με το Eurocontrol (2019), παρ' ότι το 2019 υπήρξε σημαντική βελτίωση στο χρόνο άφιξης, ένα 20% αυτών έφτασαν με καθυστέρηση (περισσότερα από 15' σε σχέση με το προγραμματισμένο χρόνο), με το ποσοστό αυτό να αυξάνεται και μέχρι 40% περιόδους αιχμής (Αθήνα, Λισαβώνα τη θερινή περίοδο). Η μέση καθυστέρηση ανά πτήση για το 2019 ήταν 13,1΄. Οι κυριότεροι λόγοι των καθυστερήσεων ήταν οι καιρικές συνθήκες στη περιοχή του αεροδρομίου (12%) και η χωρητικότητα του αεροδρομίου (8%), με τα αεροδρόμια της Λισαβώνας, των Αθηνών και του Λονδίνου (Gatwick) να είναι αυτά που αντιμετώπισαν τα μεγαλύτερα προβλήματα χωρητικότητας.

Σύμφωνα με το Eurocontrol (2019) εκτιμάται ότι μέχρι το 2040 1,5 εκατομμύρια πτήσεις δε θα μπορούν να ικανοποιηθούν και κατά συνέπεια περίπου 160 εκατομμύρια επιβάτες δε θα μπορούν να μετακινηθούν. Παρά όμως το μεγάλο αριθμό πτήσεων που αναμένεται ότι δε θα μπορούν να εξυπηρετηθούν, εκτιμάται ότι θα υπάρξει και επιδείνωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, καθώς τα αεροδρόμια που θα λειτουργούν στα όρια της χωρητικότητας τους, θα αυξηθούν από 6 που ήταν το καλοκαίρι του 2016 σε 16 ή ίσως και 28 το 2040. Αυτό θα δημιουργήσει περαιτέρω προβλήματα στο τομέα των αερομεταφορών, καθώς η μέση καθυστέρηση ανά πτήση εκτιμάται ότι θα φτάσει από 13' το 2018 σε 20' το 2040. Επιπλέον περίπου 470.000 επιβάτες ετησίως θα υπόκεινται σε καθυστέρηση 1 – 2 ωρών σε σχέση με τους 50.000 επιβάτες, που βιώνουν σήμερα αυτή την αρνητική εμπειρία (Eurocontrol, 2019)[2].

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της αυξημένης ζήτησης στα αεροδρόμια με συμφόρηση υπάρχουν 2 βασικές προσεγγίσεις:

a. αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος μέσω επέκτασης υποδομών
b. Χρήση διοικητικών μηχανισμών διαχείρισης της ζήτησης.

Η λύση κατασκευής νέων διαδρόμων σε υπάρχοντα αεροδρόμια ή εντελώς νέων αεροδρομίων κοντά σε μεγάλους κόμβους αεροπορικών μεταφορών, καθίσταται εξαιρετικά απίθανη για έντονα αλληλένδετους λόγους που σχετίζονται με το κόστος, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, τη διαθεσιμότητα γης, τις μακροχρόνιες διαδικασίες έγκρισης, καθώς και πολιτικές σκοπιμότητες.

[1] Τα παραπάνω στοιχεία αφορούν εκτιμήσεις πριν την εμφάνιση της πανδημίας (Covid - 19)
[2] Οι συγκεκριμένες εκτιμήσεις έχουν γίνει πριν την εμφάνιση της πανδημίας

Η χρήση διοικητικών μηχανισμών, περιλαμβάνει παρεμβάσεις, που εμπίπτουν εννοιολογικά σε δύο κατηγορίες:

(i) οικονομικές προσεγγίσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν μηχανισμούς που βασίζονται στην αγορά (market-based μοντέλα), όπως τιμολόγηση συμφόρησης και δημοπρασίες των σπάνιων πόρων των αεροδρομίων (χρονοθυρίδες), και
(ii) διοικητικές προσεγγίσεις, οι οποίες περιλαμβάνουν μη νομισματικές προσαρμογές στα προγράμματα πτήσεων αεροδρομίου, που επιβάλλονται από ένα καθορισμένο φορέα προγραμματισμού πτήσεων.

Αναφορικά με τις οικονομικές προσεγγίσεις υπάρχουν κάποιες προτάσεις ή προτεινόμενες στρατηγικές, οι οποίες όμως είναι ακόμα σε θεωρητικό επίπεδο και δεν έχουν εφαρμοστεί σε πραγματικές συνθήκες προγραμματισμού πτήσεων.

Στη κατηγορία των διοικητικών μέτρων, ο κυρίαρχος μηχανισμός από πλευράς ζήτησης poy εφαρμόζεται επί του παρόντος σε περίπου 196 από τα πιο πολυσύχναστα αεροδρόμια παγκοσμίως (εκτός των Ηνωμένων Πολιτειών), τα οποία ονομάζονται συντονισμένα αεροδρόμια ή Επιπέδου 3, καθοδηγείται από ένα σύνολο κανόνων, προτεραιοτήτων και εθελοντικών κατευθυντήριων γραμμών που καθορίζονται από την IATA (2019). Οι κανόνες αυτοί προσαρμόστηκαν και συμπληρώθηκε περαιτέρω με σχετικό κανονισμό της ΕΕ (Κανονισμός (ΕΚ) 1993, 2004, 2009). Ο μηχανισμός που βασίζεται στην IATA ορίζει μια στρατηγική προγραμματισμού πτήσεων (συντονισμός) δύο φορές το χρόνο (περίοδοι προγραμματισμού), με στόχο τη δημιουργία ενός βιώσιμου προγράμματος πτήσεων ελέγχοντας τον μέγιστο αριθμό προγραμματισμένων πτήσεων κατά τη διάρκεια μιας μονάδας ώρας σε κάθε αεροδρόμιο. Απαραίτητη προϋπόθεση της διαδικασίας συντονισμού χρονοδιαγράμματος είναι ο βέλτιστος καθορισμός της δηλωμένης χωρητικότητας (declared capacity) του εκάστοτε αεροδρομίου, δηλαδή η χωρητικότητα που μπορεί να διατεθεί για κατανομή και χρήση σε χρήστες του αεροδρομίου. Η δηλωμένη χωρητικότητα ενός συντονισμένου αερολιμένα ανατίθεται από έναν συντονιστή στους χρήστες του αεροδρομίου μέσω της κατανομής χρονοθυρίδων (slots), δηλαδή χρονικά διαστήματα κατά τα οποία μια πτήση μπορεί να χρησιμοποιήσει την υποδομή του αεροδρομίου για προσγείωση ή απογείωση. Η δηλωμένη χωρητικότητα κατανέμεται σύμφωνα με ένα σύνολο κριτηρίων και κανόνων που ορίζουν διαφορετικές προτεραιότητες:

a. Αιτήματα με ιστορικά δικαιώματα χρήσης (Grandfather rights),
b. Αιτήματα νέο-εισερχόμενων (new-entrants) και
c. όλα τα υπόλοιπα αιτήματα.

Οι χρονοθυρίδες κατανέμονται κυρίως σε σειρές (τουλάχιστον πέντε χρονοθυρίδες για την ίδια ώρα και ημέρα της εβδομάδας τακτικά) για ολόκληρη την περίοδο προγραμματισμού (δηλαδή, χειμώνας / καλοκαίρι).

Ένα ζήτημα που προκύπτει συχνά στα συντονισμένα αεροδρόμια είναι ότι η αρχική ζήτηση των αερομεταφορέων, δε συμπίπτει με τη δηλωμένη χωρητικότητα του αεροδρομίου. Έτσι, ενώ η συνολική ημερήσια χωρητικότητα μπορεί να καλύψει την ημερήσια ζήτηση, οι αεροπορικές εταιρείες ενδέχεται να μην μπορούν να αποκτήσουν τις προτιμώμενες (για αυτές) χρονοθυρίδες, καθώς η ζήτηση για ορισμένα διαστήματα της ημέρας μπορεί να υπερβαίνει τη δηλωμένη χωρητικότητα του αεροδρομίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μία πτήση να υποστεί μετατόπιση (δηλαδή να προγραμματιστεί πριν ή μετά από τον αρχικά ζητούμενο χρόνο).

Το πρόβλημα προγραμματισμού χρονοθυρίδων μπορεί να παρέχει μια «λύση» για τη βέλτιστη αξιοποίηση της διαθέσιμης χωρητικότητας μετατοπίζοντας τις πτήσεις από χρονικά διαστήματα όπου η ζήτηση υπερβαίνει τη χωρητικότητα σε χρονικά διαστήματα όπου η χωρητικότητα υπερβαίνει τη ζήτηση. Ωστόσο, αυτές οι λύσεις δεν είναι πάντα αποδεκτές από τις αεροπορικές εταιρείες. Αυτό συμβαίνει επειδή η μετατόπιση μιας πτήσης μπορεί να έχει επιπτώσεις σε ολόκληρο

ή μέρος του προγράμματος πτήσεων μιας αεροπορικής εταιρείας ή ακόμα στην εμπορική βιωσιμότητα της ίδιας της πτήσης. Σαν αποτέλεσμα, ορισμένες χρονοθυρίδες μπορεί να μην είναι αρκετά ελκυστικές για τις αεροπορικές εταιρείες, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σπατάλη ενός πραγματικά σπάνιου πόρου. Οι μελέτες αναφέρουν ότι ακόμη και στα αεροδρόμια με συμφόρηση, περίπου το 10% των διαθέσιμων χρονοθυρίδων δεν χρησιμοποιούνται (Odoni, 2020). Υπό αυτές τις συνθήκες, το πρόβλημα έλλειψης χωρητικότητας επιδεινώνεται περαιτέρω από τα χαμηλά επίπεδα χρήσης ή κατάχρησης (π.χ., καθυστερημένη επιστροφή ανεπιθύμητων χρονοθυρίδων, μη εμφανίσεις) (Madas and Zografos, 2010).

Με τη παρούσα εργασία διερευνώνται εναλλακτικοί τρόποι ανάθεσης χρονοθυρίδων με στόχο τη καλύτερη προσαρμογή στις προτιμήσεις και τα επίπεδα ανοχής των αεροπορικών εταιρειών. Τα προτεινόμενα μοντέλα εξετάζουν τους ακόλουθους στόχους:

a. Πως η εφαρμογή των ιστορικών δικαιωμάτων (Grandfather rights) επηρεάζει την αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος (aggregated schedule displacement)
b. Την ελαχιστοποίηση της μέγιστης υπερβολικής μετατόπισης ανά αίτημα (excess displacement) και πώς αυτό το μέγεθος επηρεάζεται ή όχι από την εφαρμογή των ιστορικών δικαιωμάτων.

Παράλληλα σε κάθε ένα από τα παραπάνω μοντέλα, εισάγουμε και την έννοια των περιορισμών που σχετίζονται με τις υποδομές του τερματικού σταθμού και συγκεκριμένα το πλήθος των επιβατών που μπορεί να εξυπηρετήσει το αεροδρόμιο στη μονάδα του χρόνου.

Το υπόλοιπο αυτής της εργασίας διαρθρώνεται σε 7 ενότητες. Στην ενότητα 2 περιγράφεται το ρυθμιστικό και νομικό πλαίσιο που καθορίζει τους κανόνες ανάθεσης χρονοθυρίδων. Η ενότητα 3 περιέχει τη βιβλιογραφική επισκόπηση σχετικά με τις προτάσεις αντιμετώπισης του προβλήματος ανάθεσης χρονοθυρίδων σε αεροδρόμια με συμφόρηση. Η ενότητα 4 παρουσιάζει ένα σύνολο μετρικών που επηρεάζουν τη δηλωμένη χωρητικότητα ενός αεροδρομίου (π.χ. θέσεις στάθμευσης αεροσκαφών, πλήθος επιβατών που μπορεί να εξυπηρετήσει ο αερολιμένας ανά μονάδα χρόνου), τα οποία προς το παρόν δεν έχει μελετηθεί στην υπάρχουσα βιβλιογραφία πως επηρεάζουν τη χωρητικότητα ενός αεροδρομίου με συμφόρηση κατά τη περίοδο προγραμματισμού ανάθεσης χρονοθυρίδων. Η ενότητα 5 παρουσιάζει τα προτεινόμενα μοντέλα προγραμματισμού χρονοθυρίδων. Η ενότητα 6 παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μοντέλων για τα υπό εξέταση διάφορα σενάρια. Τέλος η ενότητα 7 περιέχει τα τελικά συμπεράσματα και προτείνει μερικές μελλοντικές ερευνητικές κατευθύνσεις. Επιπλέον παρατίθενται και 3 παραρτήματα:

- Appendix 1: Όπου περιέχονται οι κύριοι ορισμοί που αφορούν τη διαδικασία ανάθεσης Χρονοθυρίδων.
- Appendix 2: Όπου περιέχονται οι πίνακες των αποτελεσμάτων του 1ου προβλήματος
- Appendix 3: Όπου περιέχονται οι πίνακες των αποτελεσμάτων του 2ου προβλήματος

2. Νομικό – Ρυθμιστικό πλαίσιο

2.1 Εισαγωγή

Ο προγραμματισμός της κατανομής του διαθέσιμου χρόνου χρήσης (slot allocation) στους αερολιμένες προέκυψε ως ανάγκη εξ' αιτίας της ανισορροπίας ανάμεσα στην επέκταση του συστήματος μεταφορών και την έλλειψη επαρκούς υποδομής στα αεροδρόμια για τη κάλυψη αυτής της ζήτησης (Κανονισμός ΕΟΚ αριθ. 95/93). Εξ' αιτίας της παραπάνω ανάγκης θεσπίστηκε ένα πλαίσιο το οποίο καθορίζει τη διαδικασία κατανομής του διαθέσιμου χρόνου χρήσης στους αερολιμένες. Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από ένα σύνολο κανόνων, προτεραιοτήτων και εθελοντικών κατευθυντήριων γραμμών που καθορίζονται από την Διεθνή Ένωση Αεροπορικών Μεταφορών IATA (2019), το οποίο προσαρμόστηκε και συμπληρώθηκε περαιτέρω με σχετικό κανονισμό της ΕΕ (Κανονισμός (ΕΚ) 1993, 2004, 2009).

Η IATA εκπροσωπεί 290 αεροπορικές εταιρείες εταιρίες & 347 αεροδρόμια σε 120 χώρες και τα μέλη της διακινούν το 82% της εναέριας κυκλοφορίας παγκοσμίως. Από τα 347 αεροδρόμια για το 2020, 151 από αυτά είναι **Αερολιμένες με ευκολίες προγραμματισμού** (Επίπεδο 2) & 196 **Συντονισμένοι Αερολιμένες** (Επίπεδο 3) (IATA)

2.2 Διαδικασία Προγραμματισμού

Βάσει των οδηγιών της IATA οι κανόνες/ οδηγίες που διέπουν τον προγραμματισμό κατανομής του διαθέσιμου χρόνου χρήσης αερολιμένων εφαρμόζονται στα συντονισμένα αεροδρόμια (Level 3). Σύμφωνα με το κανονισμό το έτος χωρίζεται σε δύο περιόδους συντονισμού:

a. Θερινή περίοδος συντονισμού: 1η Φεβρουαρίου – 31 Αυγούστου
b. Χειμερινή περίοδος συντονισμού 1η Σεπτεμβρίου – 31 Ιανουαρίου

Για κάθε μία από τις παραπάνω περιόδους συντονισμού πραγματοποιούνται δύο φορές το χρόνο συνέδρια οργανωμένα από την IATA (Ιούνιο & Νοέμβριο). Κατά τη διάρκεια αυτών των συνεδρίων τα προγράμματα των αεροπορικών εταιρειών προσαρμόζονται κυρίως μέσω διμερών συναντήσεων μεταξύ αεροπορικής εταιρείας και συντονιστή σχετικά με τις εναλλακτικές λύσεις που προσφέρονται ή μεταξύ των αεροπορικών εταιρειών για την ανταλλαγή αποδεκτών διαθέσιμων χρόνων (Ε.Α.Σ.Π.)

Στόχος της διαδικασίας προγραμματισμού είναι η βέλτιστη κατανομή των προγραμματισμένων κινήσεων (προσγειώσεων - απογειώσεων) κατά τη διάρκεια μιας ώρας μέσα σε ένα αεροδρόμιο. Απαραίτητη προϋπόθεση της διαδικασίας συντονισμού χρονοδιαγράμματος είναι ο βέλτιστος καθορισμός της δηλωμένης χωρητικότητάς του αεροδρομίου (declared capacity), δηλαδή η χωρητικότητα που μπορεί να διατεθεί για κατανομή και χρήση σε χρήστες του αεροδρομίου. Η δηλωμένη χωρητικότητα ενός συντονισμένου αερολιμένα ανατίθεται από έναν συντονιστή στους χρήστες του αεροδρομίου μέσω της κατανομής χρονοθυρίδων, δηλαδή το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μια πτήση μπορεί να χρησιμοποιήσει την υποδομή του αεροδρομίου για προσγείωση ή απογείωση (Zografos et al., 2017).

Η δηλωμένη χωρητικότητα ενός αεροδρομίου κατανέμεται στις αεροπορικές εταιρείες σύμφωνα με την ακόλουθη σειρά προτεραιότητας (IATA, 2019):

a. Σε όσες έχουν ιστορικά δικαιώματα χρήσης (grandfather rights)
b. Στους νεοεισερχόμενους αερομεταφορείς (new entrants)
c. Υπόλοιπες κατηγορίες πτήσεων (π.χ. non – new entrants, VIP, κ.α.)

Για κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες πτήσεων το νομοθετικό και ρυθμιστικό πλαίσιο ορίζει κάποιες συγκεκριμένες υποχρεώσεις τόσο από τη μεριά του αερομεταφορέα, όσο και από τη μεριά του αερολιμένα.

2.3 Ιστορικά Δικαιώματα

Ο πυρήνας της διαδικασίας κατανομής χρονοθυρίδων είναι η χρήση του Ιστορικού Δικαιώματος (Grandfather Rights). Αυτή η προτεραιότητα ισχύει μόνο για ισοδύναμες, και όχι διαδοχικές περιόδους προγραμματισμού (π.χ. Καλοκαιρινή περίοδος) και περιορίζεται στην αντίστοιχη περίοδο και ημέρες λειτουργίας.

Τα ιστορικά δικαιώματα αναφέρονται σε σειρές διαθέσιμων χρόνων χρήσης και όχι σε λιγότερες από 5 χρονοθυρίδες για την ίδια ώρα της ίδιας ημέρας της εβδομάδας στην ίδια περίοδο προγραμματισμού.

Οι αερομεταφορείς που έχουν κατοχυρώσει ιστορικά δικαιώματα, για μία συγκεκριμένη περίοδο συντονισμού, έχουν το δικαίωμα να ζητήσουν τις ίδιες ακριβώς χρονοθυρίδες (slots) και την επόμενη αντίστοιχη περίοδο συντονισμού. Αν ένας αερομεταφορέας με ιστορικά δικαιώματα ζητήσει αλλαγή ώρας σε κάποιο slot, τότε θα πρέπει να καθορίσει και τη χρονική απόκλιση εντός του οποίου, είναι διατεθειμένος (αν είναι) να αποδεχτεί.

Ένας αερομεταφορές για να μπορέσει να διατηρήσει τα ιστορικά δικαιώματα, θα πρέπει να έχει χρησιμοποιήσει κατ' ελάχιστο το 80% των χρονοθυρίδων που του έχουν ανατεθεί. Ο παρών περιορισμός δεν εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που η μη επαρκής χρησιμοποίηση των χρονοθυρίδων, έγινε για λόγους που δεν οφείλονται σε ευθύνη του αερομεταφορέα (π.χ. απαγόρευση κυκλοφορίας, κλείσιμο αερολιμένα, απεργίες).

Αν ένας αερομεταφορέας έχει χρησιμοποιήσει λιγότερο από το 80% των χρόνων χρήσης που του έχουν ανατεθεί και δεν μπορεί να αποδείξει επαρκώς ότι η μη – χρησιμοποίησή τους δεν οφείλεται σε δική του ευθύνη, τότε όλοι οι διαθέσιμοι χρόνοι χρήσης που συνθέτουν τη σειρά τοποθετούνται στο κοινό σύστημα εκμετάλλευσης (κανόνας use it or lose it).

Αν υπάρχουν αιτήματα για αλλαγή των χρονοθυρίδων από αερομεταφορείς με ιστορικά δικαιώματα, τότε προτεραιότητα έχουν τα αιτήματα εκείνα που αφορούν αλλαγές δρομολογίων που εκτελούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

2.4 Νέο – εισερχόμενοι αερομεταφορείς & υπόλοιπες κατηγορίες πτήσεων

Για τους υπόλοιπους χρόνους χρήσης που δεν κατανεμήθηκαν σε αερομεταφορείς με ιστορικά δικαιώματα δημιουργείται ένα «Κοινό σύστημα εκμετάλλευσης διαθέσιμων χρόνων χρήσης», οι οποίοι πρέπει να κατανεμηθούν στις άλλες δύο κατηγορίες πτήσεων (νεοεισερχόμενοι, υπόλοιπες κατηγορίες). Οι διαθέσιμοι χρόνοι χρήσης πρέπει να κατανεμηθούν εξίσου στους νεοεισερχόμενους 50% και στους μη – νεοεισερχόμενους 50%, εκτός εάν τα αιτήματα των νεοεισερχομένων δεν καλύπτουν το 50% του διαθέσιμου χρόνου χρήσης.

Ειδικά στη κατηγορία των νεοεισερχόμενων αερομεταφορέων ισχύουν κάποιοι κανόνες προτεραιότητας:

a. Μεταξύ των νεοεισερχόμενων προτεραιότητα έχουν όσοι πληρούν το 1ο & το 2ο ή το 1ο & το 3ο κριτήριο (Appendix 1) ορισμού νεοεισερχόμενου.

b. Στη περίπτωση που δεν είναι εφικτό να ικανοποιηθούν όλες οι αιτήσεις, προτεραιότητα δίνεται στα εμπορικά δρομολόγια και ιδίως στα τακτικά και τα προγραμματισμένα έκτακτα δρομολόγια. Στη περίπτωση ανταγωνιζόμενων αιτήσεων εντός της ίδιας κατηγορίας δρομολογίων, προτεραιότητα έχουν όσα εκτελούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
Ο παραπάνω κανόνας προτεραιότητας ισχύει και για τις υπόλοιπες κατηγορίες πτήσεων (π.χ. μη - νεοεισερχόμενοι).

Ένας νεοεισερχόμενος αερομεταφορέας που του έχουν ανατεθεί χρονοθυρίδες με απόκλιση ±1 ώρα από τις ώρες που έχει αρχικά αιτηθεί και τελικά δεν τις κάνει αποδεκτές, δε διατηρεί την ιδιότητα του νεοεισερχόμενου για τη συγκεκριμένη περίοδο προγραμματισμού.

Αν ένας νεοεισερχόμενος χρησιμοποιήσει τουλάχιστον το 80% μιας σειράς διαθέσιμων χρόνων χρήσης κατά τη διάρκεια μίας περιόδου συντονισμού (π.χ. χειμερινή), τότε έχει τη δυνατότητα να ζητήσει την ίδια σειρά διαθέσιμων χρόνων χρήσης και την επόμενη αντίστοιχη περίοδο προγραμματισμού (χειμερινή). Δηλαδή κατοχυρώνει ιστορικά δικαιώματα για τη συγκεκριμένη σειρά χρονοθυρίδων.

2.5 Μεταβίβαση – Ανταλλαγή χρονοθυρίδων

Παράλληλα με τα παραπάνω, το νομικό & ρυθμιστικό πλαίσιο προβλέπουν ότι υπάρχει η δυνατότητα μεταβίβασης χρονοθυρίδων (transfer of slots) από έναν αερομεταφορέα σε άλλο. Η μεταβίβαση χρονοθυρίδων είναι εφικτή μόνο με τη γνώση και τη σύμφωνη γνώμη του συντονιστή αερολιμένα και εφ' όσον δεν απαγορεύεται από τη νομοθεσία της χώρας που βρίσκεται ο αερολιμένας.

Σύμφωνα με την νομοθεσία της ΕΕ οι διαθέσιμοι χρόνοι χρήσης μπορούν να μεταβιβάζονται:

- από μία πτήση ή τύπο δρομολογίου, σε άλλη πτήση ή τύπο δρομολογίου που εκτελούνται από τον ίδιο αερομεταφορέα
- μεταξύ μητρικής και θυγατρικών εταιρειών της και αντίστροφα
- Με την απόκτηση ελέγχου του κεφαλαίου ή μερικής ή ολικής εξαγοράς μίας εταιρείας.

Επιπλέον προβλέπεται και η δυνατότητα ανταλλαγής χρονοθυρίδων (swap slots) μίας προς μία μεταξύ των αερομεταφορέων. Η ανταλλαγή χρονοθυρίδων είναι εφικτή μόνο με τη γνώση και τη σύμφωνη γνώμη του συντονιστή αερολιμένα.

Η μεταβίβαση κι η ανταλλαγή χρονοθυρίδων πρέπει να γίνεται δωρεάν και δεν μπορεί να αποτελούν αντικείμενο οικονομικής συναλλαγής.

2.6 Μη χρήση χρονοθυρίδων & επιβολή κυρώσεων

Οι αεροπορικές εταιρείες δεν πρέπει να κρατούν χρονοθυρίδες τις οποίες δεν σκοπεύουν να εκμεταλλευτούν, να μεταφέρουν ή να ανταλλάξουν, καθώς αυτό θα μπορούσε να εμποδίσει άλλες αεροπορικές εταιρείες από το να τις αποκτήσουν. Εάν μια αεροπορική εταιρεία κρίνει ότι για οποιονδήποτε λόγο ενδέχεται να μην είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει μια χρονοθυρίδα ή σειρά αυτών, πρέπει να ενημερώσει τον συντονιστή και να επιστρέψει τυχόν διαθέσιμους χρόνους χρήσης που γνωρίζει ότι δεν θα χρησιμοποιήσει. Οι ανεπιθύμητες χρονοθυρίδες πρέπει να επιστραφούν το αργότερο 15 ημέρες πριν την Ιστορική ημερομηνία αναφοράς, που ορίζεται στις 15 Ιανουαρίου για την επόμενη καλοκαιρινή περίοδο και το αργότερο στις 15 Αυγούστου για την επόμενη χειμερινή περίοδο.

Για τις ακυρώσεις χρονοθυρίδων που θα γίνουν πριν την Ιστορική ημερομηνία αναφοράς, ο κανονισμός της ΙΑΤΑ προβλέπει τα ακόλουθα:

a. Ειδικά για τη περίπτωση που γίνει επιστροφή/ ακύρωση χρονοθυρίδων για 5 ή περισσότερες συνεχόμενες εβδομάδες αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της περιόδου, για την οποία έχει δικαίωμα μία εταιρεία να κατοχυρώσει ιστορικά δικαιώματα, ή θα οδηγήσει σε ξεχωριστές περιόδους που θα έχουν δυνατότητα, να κατοχυρώσουν ιστορικά δικαιώματα. Στις περιπτώσεις εκείνες που οι ξεχωριστές περίοδοι, αναγνωριστούν ως μέρος της ίδιας υπηρεσίας (π.χ. ίδιος αριθμός πτήσης, ίδιο δρομολόγιο κ.α.), τότε το 80% της χρήσης των χρονοθυρίδων θα υπολογιστεί για το συνολικό αριθμό πτήσεων σε όλες τις περιόδους.
b. Η επιστροφή/ ακύρωση χρονοθυρίδων για λιγότερες από 5 συνεχόμενες εβδομάδες δεν μειώνει τη περίοδο για την οποία ένας αερομεταφορέας μπορεί να κατοχυρώσει ιστορικά δικαιώματα, με τη προϋπόθεση ότι ο συνολικός αριθμός ακυρώσεων είναι 20% ή μικρότερος της περιόδου μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας ημερομηνίας σειράς διαθέσιμων χρόνων χρήσης.

Οι ακυρώσεις που θα γίνουν μετά την Ιστορική ημερομηνία αναφοράς, θεωρούνται ως μη χρησιμοποιημένες σειρές διαθέσιμων χρόνων χρήσης στον υπολογισμό του 80% της χρήσης, εκτός αν ο αερομεταφορέας μπορεί να αποδείξει ότι η μη χρησιμοποίησή τους οφείλεται στους λόγους που αναφέρονται στη παράγραφο 2.7.

Στις περιπτώσεις που έχουμε κακή χρήση χρονοθυρίδων, δηλαδή:

- Πτήσεις που εκτελούνται σε χρόνο που διαφέρει από την εκχωρηθείσα χρονοθυρίδα (off - slot)
- Χρήση χρονοθυρίδας με διαφορετικό τρόπο (dif) από αυτόν που έχει αρχικά εκχωρηθεί (π.χ. πτήση με αεροσκάφος μεγαλύτερης χωρητικότητας)
- Πτήσεις που εκτελούνται χωρίς χρονοθυρίδα (GOSHOWS)
- Μη εκμετάλλευση χρονοθυρίδων

τα μέλη της ΙΑΤΑ μπορούν να επιβάλλουν αποτρεπτικές και αναλογικές κυρώσεις στους αερομεταφορείς και να μεταφέρουν τη σειρά των διαθέσιμων χρόνων χρήσης (όπου αυτό εφαρμόζεται), για τις οποίες έχει γίνει κακή χρήση, στο κοινό σύστημα εκμετάλλευσης για το υπόλοιπο της περιόδου προγραμματισμού (Κανονισμός ΕΚ 2004).

Οι κυρώσεις αυτές μπορεί να προβλέπουν από ήπια αντιμετώπιση του φαινομένου (Ε.Α.Σ.Π.) όπως:

- έκδοση ειδοποίησης ή προειδοποίησης προς τον αερομεταφορέα,
- αίτηση για διορθωτικές ενέργειες

ή και επιβολή αυστηρότερων κυρώσεων όπως:

- απώλεια ιστορικών δικαιωμάτων για την επόμενη ισοδύναμη περίοδο
- Χαμηλότερη προτεραιότητα στην κατανομή των διαθέσιμων χρόνων χρήσης στον συγκεκριμένο αερολιμένα για την επόμενη ισοδύναμη περίοδο.
- Άλλες κυρώσεις που μπορεί να επιβάλει ο τοπικός αερολιμένας.

2.7 Λόγοι δικαιολογημένης μη – χρήσης χρονοθυρίδων

Κατά τον υπολογισμό της χρησιμοποίησης του 80% των σειρών διαθέσιμων χρόνων χρήσης από έναν αερομεταφορέα, πτήσεις που έχουν ακυρωθεί για τους παρακάτω λόγους θεωρούνται ότι έχουν εκτελεστεί (ΙΑΤΑ, 2019):

a. Διακοπή των αεροπορικών υπηρεσιών της αεροπορικής εταιρείας λόγω απρόβλεπτων και αναπόφευκτων αιτιών εκτός του ελέγχου της αεροπορικής εταιρείας, για παράδειγμα κλείσιμο αεροδρομίου ή εναέριου χώρου ή σοβαρών καιρικών συνθηκών
b. Ενέργειες που αποσκοπούν να επηρεάσουν αυτές τις υπηρεσίες που εμποδίζουν την αεροπορική εταιρεία να εκτελεί εργασίες όπως έχει προγραμματιστεί - για παράδειγμα, βιομηχανική δράση ή απεργίες.

Στη περίπτωση που συμβαίνει κάποιο από τα παραπάνω, ο αερομεταφορέας είναι υπεύθυνος να επικοινωνήσει με τον συντονιστή του αεροδρομίου, το συντομότερο δυνατό μετά την ακύρωση της πτήσης, για να αναφέρει το λόγο και να επιβεβαιώσει μαζί του ότι η πτήση θα λογιστεί ως εκτελεσμένη.

2.8 Περιορισμοί χωρητικότητας

Εκτός όμως από τους παραπάνω κανόνες προτεραιότητας στη κατανομή των διαθέσιμων χρόνων χρήσης, υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη κατά τη διαδικασία ανάθεσης χρονοθυρίδων. Τέτοιοι περιορισμοί μπορεί να σχετίζονται:

a. Με τους αεροδιαδρόμους, όπως η χρήση του, οι οδοί προσέγγισης και αναχώρησης, η τοπογραφία της περιοχής, δυνατότητες ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας.
b. Με τους χώρους στάθμευσης, δηλαδή αριθμός διαθέσιμων θέσεων στάθμευσης στην πίστα, περιορισμοί στο μέγεθος των αεροσκαφών, στάθμευση μεγάλης διάρκειας
c. Με τη ροή των επιβατών, όπως ρυθμός εξυπηρέτησης επιβατών, check-in, άφιξη, μεταφορά και ταξινόμηση αποσκευών / υποδομή περιοχής, ασφάλεια / τελωνειακές και μεταναστευτικές εγκαταστάσεις, περιοχές εντός και εκτός Σένγκεν.
d. Με το περιβάλλον όπως απαγόρευση νυχτερινών πτήσεων, περιορισμοί θορύβου, όρια θορύβου
e. Υπόλοιπες διατάξεις ασφαλείας που τυχόν υπάρχουν.

2.9 Πτήσεις εσωτερικού

Τέλος, γίνεται ειδική αναφορά στις πτήσεις εσωτερικού, όπου καθορίζονται ως δρομολόγια που έχουν επιβληθεί υποχρεώσεις δημόσιας υπηρεσίας. Σε ένα συντονισμένο αερολιμένα το κράτος μπορεί να κρατήσει τους χρόνους χρήσης που απαιτούνται για αυτά τα δρομολόγια. Αν οι χρόνοι που έχουν κρατηθεί για αυτά τα δρομολόγια, τελικά δεν χρησιμοποιηθούν από κανένα αερομεταφορέα, τότε είτε διατίθενται σε άλλο δρομολόγιο με υποχρέωση δημόσιας υπηρεσίας, είτε επιστρέφονται στο «Κοινό σύστημα εκμετάλλευσης διαθέσιμων χρόνων χρήσης».

2.10 Προγραμματισμός πτήσεων στα αεροδρόμια των Η.Π.Α.

Η εικόνα είναι πολύ διαφορετική στις Ηνωμένες Πολιτείες. Συγκεκριμένα μετά την κατάργηση, σύμφωνα με την εντολή του Κογκρέσου, του κανόνα υψηλής πυκνότητας (High Density Rule), μεταξύ του 2000 και του τέλους του 2006, μόνο τα το διεθνές αεροδρόμιο John F. Kennedy (JFK), το αεροδρόμιο LaGuardia (LGA) και ο εθνικός αερολιμένας Ronald Reagan Washington (DCA), λειτουργούν ακολουθώντας τους κανόνες της IATA (Pyrgiotis and Odoni, 2015, FAA).

Η FFA (Federal Aviation Administration) εξέταζε στο παρελθόν εναλλακτικές μεθόδους ανάθεσης χρονοθυρίδων, που βασίζονται στην αγορά ή/ και υβριδικές προτάσεις, με σκοπό την

πιθανή εφαρμογή σε άλλα κορεσμένα αεροδρόμια των ΗΠΑ. Σε αυτό το πλαίσιο η FAA και το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ, σε συνεργασία με την NEXTOR (NEXTOR, 2004, Pyrgiotis and Odoni, 2015), σχεδίασαν και διεξήγαγαν μια σειρά στρατηγικών προσομοιώσεων («στρατηγικά παιχνίδια») με στόχο να αξιολογήσουν διάφορες επιλογές πολιτικής για την κατανομή της χωρητικότητας του αεροδρομίου με εναλλακτικά μέσα όπως: (i) διοικητικές ενέργειες, (ii) τιμολόγηση συμφόρησης (iii) δημοπρασία "άδειων άφιξης και αναχώρησης" στο αεροδρόμιο LaGuardia.

Το 2008 η FAA και το Υπουργείο Μεταφορών των ΗΠΑ ανακοίνωσαν - εν μέσω αντιθέσεων και αντιρρήσεων από την αρχή λειτουργίας, τις αεροπορικές εταιρείες και άλλες ομάδες συμφερόντων – έναν κανόνα διαχείρισης συμφόρησης (FAA, 2008) που αφορά τη δημοπρασία μέρους των χρονοθυρίδων προσγείωσης στα αεροδρόμια της Νέας Υόρκης (δηλαδή, LaGuardia, Kennedy, Newark). Η πραγματική εφαρμογή αυτής της πρότασης τελικά καταργήθηκε (FAA, 2009).

Τελικά αυτό που ισχύει είναι ότι στα υπόλοιπα αεροδρόμια των Ηνωμένων Πολιτειών η ζήτηση δεν καλύπτεται μέσω ανάθεσης χρονοθυρίδων, αλλά οι αερομεταφορείς πρέπει να συνεργάζονται χωριστά με τις τοπικές αρχές αεροδρομίου για να αποκτήσουν πρόσβαση σε τερματικούς σταθμούς και πύλες επιβατών (FAA), προγραμματίζοντας τις πτήσεις τους λαμβάνοντας υπ' όψη μόνο τις αναμενόμενες καθυστερήσεις σε συγκεκριμένα αεροδρόμια (Zografos et al, 2016).

Επιπλέον, μερικά μικρότερα αεροδρόμια, ιδίως το Long Beach (LGB) και τον John Wayne (SNA), έχουν καθιερώσει ωριαίους περιορισμούς λειτουργίας με βάση το θόρυβο και όχι τη συμφόρηση (Lexology: Air transport in USA).

2.11 Υπόλοιπα αεροδρόμια

Εκτός από το ρυθμιστικό πλαίσιο που ισχύει σε αεροδρόμια που εφαρμόζονται οι κανονισμοί ΙΑΤΑ και των αεροδρομίων των Η.Π.Α. υπάρχουν αεροδρόμια που έχουν αρνηθεί τη πρόσβαση σε νέο-εισερχόμενους, όπως της Οζάκα, το Narita του Τόκιο, το Heathrow του Λονδίνου. Επίσης κάποια άλλα αεροδρόμια όπως του Σίδνεϋ, το Haneda (Τόκιο) κ.α. έχουν εφαρμόσει διαφορετικά συστήματα δήλωσης χωρητικότητας, ακολουθώντας τμηματοποίηση της χωρητικότητας, για τη προστασία περιφερειακών υπηρεσιών (Madas and Zografos, 2006).

2.12 Market Based μοντέλα

Εκτός όμως από τα παραπάνω περιγραφόμενα μοντέλα κατανομής/ διάθεσης χρονοθυρίδων, έχουν αναπτυχθεί σε θεωρητικό επίπεδο στρατηγικές και μέθοδοι ανάθεσης χρονοθυρίδων που βασίζονται σε όρους αγοράς (Madas and Zografos, 2006).

Υπάρχουν 5 βασικές στρατηγικές:

i. Διατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης με δυνατότητα ανταλλαγής και κεντρική διαχείριση/ εμπορία των υπόλοιπων χρονοθυρίδων (Enhanced Status Quo Strategy)
ii. Διατήρηση των ιστορικών δικαιωμάτων με δυνατότητα ανταλλαγής. Πλειστηριασμοί για τις υπόλοιπες χρονοθυρίδες και δυνατότητα δευτερογενούς εκχώρησης (Gradual Strategy)
iii. Διατήρηση των ιστορικών δικαιωμάτων με πλήρη συναλλαγή όλων των χρονοθυρίδων με την επίβλεψη του συντονιστή (Controlled trading Strategy)
iv. Στρατηγική τιμολόγησης βάσει συμφόρησης (Congestion pricing)

v. Κατάργηση των ιστορικών δικαιωμάτων σε συνδυασμό με αποκεντρωμένους πλειστηριασμούς και δευτερογενή εκχώρηση (Big – Bang Strategy)

Αυτές οι στρατηγικές εισάγουν ένα διαφορετικό τρόπο κατανομής σε όρους αγοράς βασισμένο σε τρεις οπτικές:

a. Βάσει πλαισίου (αποκεντρωμένες δημοπρασίες, κεντρικές συναλλαγές, πλήρεις συναλλαγές, δευτερογενείς συναλλαγές, τιμολόγηση)
b. Βάσει σκοπού (πρωτογενής έναντι δευτερογενούς εκχώρησης)
c. Βάσει έκτασης (κεντρικές συναλλαγές, ελεγχόμενες συναλλαγές, πλήρεις συναλλαγές)

Με βάση το μείγμα αυτών των τριών πτυχών, οι προτεινόμενες στρατηγικές αντιπροσωπεύουν περισσότερο ή λιγότερο συντηρητικές προσεγγίσεις, που καλύπτουν ένα φάσμα από τη στρατηγική «Enhanced Status Quo» έως τη στρατηγική «Big Bang» όσον αφορά: (i) διαφορετικούς βαθμούς συντήρησης ή απόκλισης από το υφιστάμενο σύστημα, και (ii) υιοθέτηση μηχανισμών κατανομής με όρους αγοράς έναντι των καθαρά διοικητικών διαδικασιών κατανομής χρονοθυρίδων (Madas and Zografos, 2010)

Ένα κοινό χαρακτηριστικό αυτών των στρατηγικών είναι ότι τα έσοδα που προκύπτουν από αυτές τις συναλλαγές τα διαχειρίζονται αεροδρόμια (έσοδα από πρωτογενή εκχώρηση) ή οι αεροπορικές εταιρείες (έσοδα που προκύπτουν από δευτερογενή εκχώρηση).

3. Βιβλιογραφική επισκόπηση

3.1 Εισαγωγή

Οι Zografos and Jiang (2019) κατατάσσουν τη βιβλιογραφία, που αφορά το πρόβλημα ανάθεσης χρονοθυρίδων σε αεροδρόμια με συμφόρηση (Επιπέδου 3) σε τρία κύρια ερευνητικά ρεύματα:

a. Στα διοικητικά. Είναι αυτά που ακολουθούν τους κανόνες της ΕΕ και τις οδηγίες της IATA.
b. Σε αυτά που προτείνουν λύσεις στο πρόβλημα ανάθεσης χρονοθυρίδων και βασίζονται σε όρους αγοράς (market - based)
c. Στα υβριδικά δηλαδή αυτά που συνδυάζουν τις δύο παραπάνω προσεγγίσεις

Στο πλαίσιο όμως της παρούσας εργασίας, ακολουθούμε ένα διαφορετικό τρόπο ταξινόμησης για τις μελέτες που εξετάστηκαν:

a. Σε αυτές που προσεγγίζουν στρατηγικά το πρόβλημα ανάθεσης χρονοθυρίδων. Σε αυτές τις περιπτώσεις εντάσσονται μελέτες που προτείνουν ερευνητικές κατευθύνσεις προς τις οποίες πρέπει να στραφεί η έρευνα.
b. Σε αυτές που εξετάζουν το πρόβλημα εφαρμόζοντας διοικητικά μέτρα δηλαδή προσπαθούν να δώσουν λύσεις στο πρόβλημα ανάθεσης χρονοθυρίδων (εφαρμόζοντας ή όχι τους κανονισμούς), χρησιμοποιώντας υπολογιστικά μέσα και μετρικές που σχετίζονται με τους διαθέσιμους πόρους ενός αεροδρομίου και κυρίως με τη δηλωμένη χωρητικότητα του αερολιμένα.
c. Σε αυτές τις μελέτες χρησιμοποιούνται διοικητικά μέτρα, αλλά εισάγεται και ένας νέος όρος, αυτός της δικαιοσύνης, στην ανάθεση χρονοθυρίδων.

3.2 Στρατηγική προσέγγιση

3.2.1 Στρατηγικές προσεγγίσεις βασισμένες στην αγορά (market – based models) & αξιολόγησή τους

Οι Madas and Zografos (2006) εξετάζουν διάφορες εναλλακτικές στρατηγικές ανάθεσης χρονοθυρίδων με όρους αγοράς. Συγκεκριμένα προτείνουν 5 διαφορετικές στρατηγικές ανάθεσης χρονοθυρίδων:

A. Στρατηγική “enhanced status quo”
B. Στρατηγική “gradual”
C. Στρατηγική “controlled trading”
D. Στρατηγική “congestion pricing”
E. Στρατηγική “Big - bang”

Οι συγκεκριμένες στρατηγικές δεν εξετάζονται μόνο υπό το πρίσμα της επιτυχούς ανάθεσης χρονοθυρίδων, αλλά και με όρους αγοράς με την έννοια της εμπορικής εκμετάλλευσης χρονοθυρίδων με στόχο τη δημιουργία εσόδων τόσο για τα αεροδρόμια, όσο (σε κάποιες στρατηγικές) και για τους αερομεταφορείς που επιχειρούν στο εκάστοτε αεροδρόμιο.

A. Στρατηγική “enhanced status quo”

Η στρατηγική “enhanced status quo”περιλαμβάνει ελάχιστες αποκλίσεις από το υπάρχον σύστημα. Διατηρεί την αρχή των ιστορικών δικαιωμάτων και τη λογική του διοικητικού συντονισμού της κατανομής χρονοθυρίδων, σε συνδυασμό με την πρωταρχική συναλλαγή χρονοθυρίδων (slot trading). Τα βασικά σημεία αυτής της στρατηγικής είναι τα ακόλουθα:

- Οι αερομεταφορείς που έχουν ιστορικά δικαιώματα, τα διατηρούν χωρίς καθόλου ή με μικρές αλλαγές. Οι υπόλοιπες χρονοθυρίδες που δεν καλύπτουν ιστορικά δικαιώματα συσσωρεύονται σε ένα pool χρονοθυρίδων.
- Ένα μέρος αυτών των ομαδοποιημένων χρονοθυρίδων διατηρείται για νέο-εισερχόμενους αερομεταφορείς, εθνικές πτήσεις, πτήσεις γενικής αεροπλοΐας (policy – designated slots). Τα αιτήματα για αυτή τη κατηγορία χρονοθυρίδων εξετάζεται αν είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν, βάσει των περιορισμών χώρου & χρόνου του αερολιμένα, και στη συνέχεια αποδίδονται στους αερομεταφορείς που πληρούν τις προϋποθέσεις βάσει χρονικής προτεραιότητας (first – requested first - awarded). Αυτές οι χρονοθυρίδες θα έχουν ισχύ 3 χρόνια, αλλά δεν θα είναι εμπορεύσιμοι και αν δε χρησιμοποιούνται θα επιστρέφουν στο αρχικό pool.
- Η ανταλλαγή των χρονοθυρίδων με ιστορικά δικαιώματα, θα γίνεται από ένα κεντρικά διαχειριζόμενο πλαίσιο. Η διαπραγμάτευση θα περιλαμβάνει δημοπρασίες οι οποίες θα γίνονται απ’ ευθείας μεταξύ των αεροπορικών εταιρειών και του κεντρικού φορέα κατανομής χρονοθυρίδων. Μετά τις δημοπρασίες δε θα επιτρέπεται η δευτερογενής διαπραγμάτευση τους. Τα έσοδα από αυτές τις συναλλαγές θα τα διαχειρίζεται η διοίκηση του εκάστοτε αεροδρομίου.
- Με εξαίρεση τις χρονοθυρίδες που αφορούν σε ιστορικά δικαιώματα και αυτές που εξυπηρετούν τη πολιτική του αεροδρομίου (policy – designated slots), οι υπόλοιπες θα χωριστούν σε κατηγορίες χρονοθυρίδων (slot classes) βάσει ζήτησης (π.χ. υψηλής, μεσαίας, χαμηλής) για τις οποίες θα εφαρμόζεται αυστηρά ένας σαφώς και πλήρως ορισμένος κανόνας χρήσης. Δηλαδή θα υπάρχει υποχρέωση από μέρους του αερομεταφορέα να χρησιμοποιήσει το Χ% των χρονοθυρίδων της εκάστοτε κλάσης, που έχει ζητήσει. Αν δε γίνεται αυτό, οι χρονοθυρίδες επιστρέφουν στο αρχικό pool.

B. Στρατηγική “gradual”

Αυτή η στρατηγική περιλαμβάνει επίσης μια συντηρητική προσέγγιση αν και με σαφέστερο προσανατολισμό προς τους μηχανισμούς της αγοράς και μια ελαφρώς πιο δραστική αναθεώρηση του “status quo strategy”. Αναλυτικότερα:

- Τα ιστορικά δικαιώματα εξακολουθούν να ισχύουν,
- Οι χρονοθυρίδες που εξυπηρετούν πολιτικές του αεροδρομίου (policy – designated slots) διατίθενται και σε αυτή τη περίπτωση στους αερομεταφορείς βάσει χρονική προτεραιότητας (first – requested first - awarded), αλλά έχουν ισχύ για 2 χρόνια. Δεν μπορούν να πωληθούν, αλλά είναι εμπορεύσιμοι αν και μόνο αν είναι καθορισμένοι για τον ίδιο λόγο.
- Οι χρονοθυρίδες που δεν καλύπτουν ιστορικά δικαιώματα ή δεν εξυπηρετούν πολιτικές του αεροδρομίου διατίθενται κεντρικά από τη διοίκηση του αεροδρομίου μέσω δημοπρασιών (όπως και στη στρατηγική status quo), αλλά εδώ επιτρέπεται και η δευτερεύουσα συναλλαγή. Η χρήση των συγκεκριμένων χρονοθυρίδων συνοδεύεται από έναν αυστηρότερο κανόνα «χρήσης ή απώλειας» (use-it or loose-it rule).

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

- Τα έσοδα από τους πλειστηριασμούς και τα τέλη ιστορικών δικαιωμάτων, κεφαλαιοποιούνται από τα αεροδρόμια, ενώ τα έσοδα από τις δευτερογενείς εκχωρήσεις παραμένουν στα χέρια των εταιρειών.

C. Στρατηγική "controlled trading"

Η στρατηγική "controlled trading" συνδυάζει συντηρητικά και καινοτόμα στοιχεία σε μία στρατηγική. Συγκεκριμένα, διατηρεί με μικρές τροποποιήσεις / προσαρμογές την αρχή των ιστορικών δικαιωμάτων, αλλά ταυτόχρονα επιτρέπει την πλήρη (πρωτογενή και δευτερεύουσα) οικονομική συναλλαγή βάσει διμερών διαπραγματεύσεων μεταξύ του αεροδρομίου και των αεροπορικών εταιρειών (πρωτογενές εμπόριο) ή μεταξύ αεροπορικών εταιρειών (δευτερεύον εμπόριο) για ολόκληρο το χαρτοφυλάκιο χρονοθυρίδων του αεροδρομίου. Ο χαρακτηρισμός «ελεγχόμενης» διαπραγμάτευσης (controlled trading) πηγάζει από το γεγονός ότι παρόλο που επιτρέπεται η πλήρης διαπραγμάτευση, η κύρια κατανομή περιλαμβάνει επίσης χρονοθυρίδες με ιστορικά δικαιώματα που μπορούν να αγοραστούν και να πωληθούν. Αναλυτικότερα:

- Τα ιστορικά δικαιώματα ανακαλούνται προσωρινά και δημιουργείται ένα pool με:
    a. Χρονοθυρίδες που θα παραμείνουν στους αρχικούς κατόχους (x%)
    b. Χρονοθυρίδες που θα διανεμηθούν βάσει κριτηρίων απόδοσης μεταξύ των αερομεταφορέων που επιχειρούν στο αεροδρόμιο(y%)
    c. Χρονοθυρίδες που θα επιστραφούν στο αρχικό pool και θα αναδιανεμηθούν (z%).
- Σε ένα αρχικό γύρο κατανομής μπορούν να συμμετέχουν μόνο οι αερομεταφορείς που είχαν ιστορικά δικαιώματα κατά τη διάρκεια του προηγούμενου έτους.
- Στο δεύτερο γύρο κατανομής οι υπόλοιπες χρονοθυρίδες θα κατανεμηθούν μεταξύ όλων των αερομεταφορέων που θα χρησιμοποιήσουν το αεροδρόμιο και η διάθεσή τους θα γίνει βάσει συμφωνημένων κριτηρίων απόδοσης. Μετά και το 2ο γύρο όλες οι χρονοθυρίδες (x%+y%) μπορούν να ανταλλαγούν μεταξύ των αεροπορικών εταιρειών υπό την επίβλεψη του συντονιστή ή του φορέα που είναι υπεύθυνος για το συντονισμό του αεροδρομίου. Τα τέλη προσγείωσης για αυτές τις χρονοθυρίδες εξακολουθούν να ισχύουν.
- Από τις χρονοθυρίδες που έχουν επιστραφεί στο αρχικό pool (z%) ένα μέρος τους δίνεται πάλι προς διάθεση βάσει χρονικής προτεραιότητας του αιτήματος (first – requested first - awarded) και διέπονται από ελάχιστους κανόνες χρήσης. Τα δικαιώματα χρήσης τους διαρκούν για ένα προκαθορισμένο αριθμό περιόδων. Αυτές οι χρονοθυρίδες δεν μπορούν να πωληθούν, αλλά μπορούν να ανταλλαχθούν με άλλες χρονοθυρίδες που υπόκεινται στη πολιτική του αεροδρομίου (policy – designated slots). Οι υπόλοιπες χρονοθυρίδες υπόκεινται σε πρωτογενή και δευτερογενή διαπραγμάτευση. Στη πρωτογενή διαπραγμάτευση οι χρονοθυρίδες πωλούνται από το αεροδρόμιο στους ενδιαφερόμενους αερομεταφορείς με απ' ευθείας διαπραγμάτευση μέσω πλειοδοτικού διαγωνισμού. Αυτές οι χρονοθυρίδες έχουν διάρκεια ισχύος 3 – 5 έτη. Στη συνέχεια οι αερομεταφορείς που τις έχουν αγοράσει μπορούν να τις μεταπωλήσουν ή ανταλλάξουν. Οι χρονοθυρίδες που έχουν εκχωρηθεί δευτερογενώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για καθορισμένες περιόδους.
- Τα έσοδα από τη πρωτογενή διαπραγμάτευση πηγαίνουν στα αεροδρόμια, ενώ τα έσοδα από τις δευτερογενείς εκχωρήσεις τα εκμεταλλεύονται οι αερομεταφορείς ως χρονικοί ιδιοκτήτες αυτών των χρονοθυρίδων.

D. Στρατηγική "congestion pricing"

Αυτή η στρατηγική αντιπροσωπεύει μια πιο άμεση χρήση φορολογικών μέσων για την αντιμετώπιση της αναντιστοιχίας προσφοράς και ζήτησης σε αερολιμένες. Περιλαμβάνει την

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

εγκατάλειψη των ιστορικών δικαιωμάτων και την εισαγωγή τελών βάσει συμφόρησης, τα οποία ποικίλλουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Συγκεκριμένα:

- Κάθε αερομεταφορέας μπορεί να επιχειρεί εντός οποιασδήποτε χρονοθυρίδας πληρώνοντας το αντίστοιχο κόστος, δηλαδή ένα τέλος που καλύπτει το πλήρες οικονομικό κόστος συμπεριλαμβανομένης της συμφόρησης. Ένας διοικητικός φορέας διατηρεί τον έλεγχο του μέγιστου αριθμού πτήσεων για λόγους ασφάλειας και περιβάλλοντος.
- Η στρατηγική τιμολόγησης μπορεί να δομηθεί περικλείοντας διαφορετικά στοιχεία όπως παραδοσιακές χρεώσεις, επιβαρύνσεις επιβατών, κόστος κράτησης και χρέωση βάσει συμφόρησης. Ειδικά η χρέωση βάσει συμφόρησης, μπορεί να είναι μία επιπλέον χρέωση που επιβάλλεται σε περιόδους υψηλής κίνησης.
- Η έννοια της ανακύκλωσης, ο κανόνας «χρήσης ή απώλειας» ή η έννοια της χρονικής διάρκειας χρήσης δεν έχουν νόημα σε αυτή τη στρατηγική.
- Ένα μέρος από τις διαθέσιμες χρονοθυρίδες θα εξαιρείται από αυτή τη πολιτική των τελών συμφόρησης και θα χρησιμοποιείται για λόγους πολιτικής αεροδρομίου. Η διανομή αυτών των χρονοθυρίδων θα πραγματοποιείται με κλήρωση και δε θα υπάρχει κάποιο κόστος απόκτησης αυτών των πόρων, αλλά θα διέπονται από κανόνες χρήσης. Η χρήση αυτών των χρονοθυρίδων θα διαρκεί 2 χρόνια και μετά το πέρας αυτής της χρονικής περιόδου, θα διεξάγεται εκ νέου κλήρωση για την ανακατανομή τους.
- Τα έσοδα που προέρχονται από τα τέλη συμφόρησης θα κεφαλαιοποιούνται από τα αεροδρόμια.

Ε. Στρατηγική “Big - bang”

Η στρατηγική του “big - bang” προβλέπει τη πλήρη κατάργηση των ιστορικών δικαιωμάτων. Αναλυτικότερα:

- Ο μέγιστος αριθμός διαθέσιμων χρονοθυρίδων καθορίζεται από τις αρχές, βασισμένος στην ασφαλή χωρητικότητα ενός αεροδρομίου.
- Ένα μέρος των χρονοθυρίδων διατίθεται για τη πολιτική του αεροδρομίου. Αυτοί οι πόροι δεν μπορούν να πωληθούν, αλλά μπορούν να ανταλλαχθούν με χρονοθυρίδες της ίδιας κατηγορίας. Τα τέλη προσγείωσης εξακολουθούν να ισχύουν και η χρήση τους καθορίζεται από ελάχιστους κανόνες χρήσης.
- Οι υπόλοιπες χρονοθυρίδες, αποτελούν αντικείμενο τακτικών, αποκεντρωμένων δημοπρασιών που οργανώνονται σε επίπεδο αεροδρομίου και εξαιρούνται από τα τέλη προσγείωσης. Αυτές οι χρονοθυρίδες μπορούν σε δευτερογενές επίπεδο να αποτελέσουν αντικείμενο αγοραπωλησίας μεταξύ των εταιρειών.
- Ο κανόνας «χρήσης ή απώλειας» εξακολουθεί να ισχύει και οι χρονοθυρίδες που δημιουργούνται από την εφαρμογή αυτού του κανόνα, διατίθενται μέσω συναλλαγών από το αεροδρόμιο σε ενδιαφερόμενους αερομεταφορείς.
- Τα αεροδρόμια λαμβάνουν τα έσοδα που προέρχονται από την κύρια διαδικασία δημοπρασίας με τις αεροπορικές εταιρείες να διατηρούν έσοδα από την πώληση των χρονοθυρίδων τους.

Οι Madas and Zografos (2010) στην εργασία τους στοχεύουν να περιγράψουν και να εφαρμόσουν ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση και την επιλογή της πιο συμβατής στρατηγικής για κάθε τυπολογία αεροδρομίου (ανάλυση συμβατότητας πολιτικής). Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο παρέχει καθοδήγηση για την επιλογή της πιο συμβατής στρατηγικής βάσει πολλαπλών κριτηρίων πολιτικής και προτεραιοτήτων που έχουν ανατεθεί από διάφορες ομάδες ενδιαφερομένων (φορείς χάραξης πολιτικής, αεροπορικές εταιρείες, φορείς εκμετάλλευσης αεροδρομίων, ακαδημαϊκοί / ερευνητικοί εμπειρογνώμονες) για τους διάφορους τύπους / προφίλ αεροδρομίων

Για το λόγο αυτό ακολουθούν τρία βασικά μεθοδολογικά βήματα:

i. Προσδιορισμός των εναλλακτικών στρατηγικών ανάθεσης χρονοθυρίδων
ii. Κατηγοριοποίηση των αεροδρομίων
iii. Πώς αυτές οι στρατηγικές αξιολογούνται για κάθε τύπο αεροδρομίου σε σχέση με τη συμμόρφωσή/ συμβατότητάς τους με τη πολιτική του αεροδρομίου

Υπάρχουν 5 ξεχωριστές στρατηγικές κατανομής χρονοθυρίδων όπως αναφέρονται και παραπάνω (Madas and Zografos, 2006):

A. "enhanced status quo"
B. "gradual"
C. "controlled trading"
D. "congestion pricing"
E. "Big - bang"

Τα αεροδρόμια ομαδοποιήθηκαν στις ακόλουθες 4 κατηγορίες:

Small National Spokes: Τα αεροδρόμια που περιλαμβάνονται σε αυτό το σύμπλεγμα είναι κυρίως μικρά, δορυφορικά ή περιφερειακά αεροδρόμια που λειτουργούν ως προεκτάσεις (spokes) του εθνικού τους αεροδρομίου.

Large National Spokes & Small National Hubs: Αυτό το σύμπλεγμα περιέχει μικρά και μεσαία αεροδρόμια που ενεργούν ως επί το πλείστων ως μεγαλύτερες προεκτάσεις του εθνικού δικτύου αεροδρομίων ή μικρών εθνικών κόμβων που διοχετεύουν κίνηση σε διεθνείς κόμβους και το αντίστροφο

Large International Hubs: Το σύμπλεγμα 2 περιέχει μεγάλα, μητροπολιτικά αεροδρόμια του ευρωπαϊκού δικτύου αεροδρομίων που λειτουργούν ως μεγάλοι διεθνείς κόμβοι (τουλάχιστον για ορισμένους εθνικούς αερομεταφορείς) με έμφαση στα ενδοευρωπαϊκά δρομολόγια και δυναμικό ανάπτυξης για τη δημιουργία ενός από τους σημαντικότερους ευρωπαϊκούς κόμβους

Super Hubs: Τα αεροδρόμια αυτά αντιπροσωπεύουν τους μεγαλύτερους και πολυσύχναστους ευρωπαϊκούς αερολιμένες με παγκόσμια παρουσία και στρατηγικό ρόλο στο ευρωπαϊκό δίκτυο αεροδρομίων

Για την αξιολόγηση του συγκεκριμένου προβλήματος δημιουργήθηκαν 4 ομάδες εμπειρογνωμόνων:

i. Group 1: Αποτελούμενο από 19 ακαδημαϊκούς/ ερευνητικούς εμπειρογνώμονες με εμπλοκή στη διαδικασία ανάθεσης χρονοθυρίδων.
ii. Group 2: αποτελούμενο από 10 ειδικούς από ευρωπαϊκά αεροδρόμια ή από φορείς που εκπροσωπούν τις απόψεις των αερολιμένων
iii. Group 3: από 7 εμπειρογνώμονες από Ευρωπαϊκές αερογραμμές με σημαντική παρουσία σε ευρωπαϊκά ή/ και εθνικά δίκτυα αερομεταφορών
iv. Group 4: Αποτελούμενο από 5 Ευρωπαίους ανώτερους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής στο τομέα της ανάθεσης χρονοθυρίδων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η στρατηγική Congestion pricing είναι σαφώς ανώτερη από τις άλλες για όλες τις ομάδες αεροδρομίων. Παράλληλα διαφάνηκε ότι πιο συντηρητικές λύσεις (π.χ. Enhanced status quo, Gradual) κερδίζουν έδαφος στις κατηγορίες των μικρότερων αεροδρομίων.

Πέρα από το γενικό συμπέρασμα για την επιλογή της στρατηγικής Congestion pricing ως προτιμότερη, προέκυψαν & οι ακόλουθες επιμέρους παρατηρήσεις:

Οι αεροπορικές εταιρείες (Group 3) και οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής (Group 4) συμφωνούν ότι δεν προτιμώνται πιο προοδευτικές στρατηγικές (congestion pricing, Big - bang). Ωστόσο, οι

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

αεροπορικές εταιρείες παρέχουν την υψηλότερη κατάταξη στις πιο συντηρητικές στρατηγικές (enhanced status quo & gradual), ενώ οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής δίνουν την υψηλότερη βαθμολογία συμβατότητας σε μια πιο προοδευτική εναλλακτική λύση (Controlled Trading). Όσον αφορά τις συμμετέχουσες αεροπορικές εταιρείες, έδειξαν προτίμηση σε πιο συντηρητικές στρατηγικές που θα διατηρούσαν ή θα βελτιώσουν σταδιακά το υφιστάμενο καθεστώς κατανομής χρονοθυρίδων. Οι στρατηγικές που εισάγουν ουσιαστικές μεταρρυθμίσεις και επιθετικούς μηχανισμούς (εκ νέου) κατανομής ενδέχεται να επηρεάσουν τις ισορροπίες του ανταγωνισμού και τη δυναμική της αγοράς της αεροπορικής βιομηχανίας και, ως εκ τούτου, καταδικάστηκαν. Από αυτή την άποψη, οι αεροπορικές εταιρείες εγκρίνουν μόνο μικρές, κυρίως λειτουργικές, βελτιώσεις ή ακόμη και μικρή και ομαλή μετάβαση σε ένα νέο σύστημα κατανομής χρονοθυρίδων, αλλά αντιστέκονται σθεναρά σε μεταρρυθμίσεις που δεν σέβονται πλήρως (ή ακόμη και καταργούν) τα ιστορικά τους δικαιώματα (Controlled Trading, congestion pricing & Big - bang). Τέλος, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι διαχειριστές (Group 4) επέλεξαν την πιο μελλοντική και δραστική λύση. Συγκεκριμένα, αντιπροσωπεύουν τη μοναδική ομάδα εμπειρογνωμόνων που έδωσε την πρώτη-προτίμηση βαθμολογία σε μια στρατηγική που περιλαμβάνει συναλλαγές χρονοθυρίδων τόσο σε επίπεδο πρωτοβάθμιας όσο και δευτεροβάθμιας κατανομής.

Τέλος οι Madas and Zografos (2010), εκτιμούν ότι η προτίμηση προς τη congestion pricing στρατηγική είναι μία θετική ένδειξη, καθώς έχει σαφή πλεονεκτήματα σε σχέση με τις ανταγωνιζόμενες στρατηγικές, καθώς:

i. είναι απλή και μπορεί να εφαρμοστεί χωρίς κόστος,
ii. δεν περιλαμβάνει δραστικές κανονιστικές τροποποιήσεις,
iii. μπορεί να τεθεί σχεδόν άμεσα σε ισχύ, δεδομένου ότι δεν απαιτεί ουσιαστικές οργανωτικές και θεσμικές ρυθμίσεις,
iv. αφαιρεί την ανάγκη διαχείρισης χρονοθυρίδων
v. βελτιώνει ουσιαστικά την ευελιξία προγραμματισμού των αερομεταφορέων και
vi. αντιμετωπίζει άμεσα τη συμφόρηση στα αεροδρόμια μέσω του αντίστοιχου τέλους.

3.2.2 Κριτική επισκόπηση υφιστάμενων ερευνών & προτεινόμενες κατευθύνσεις

Σύμφωνα με τους Zografos et al. (2016) η κατανομή χρονοθυρίδων με βάση την IATA, χωρίζεται σε τρία βήματα:

i. **Προ εκχώρηση** (pre - allocation): περιλαμβάνει κυρίως ερευνητικά θέματα, που ασχολούνται με το σωστό ορισμό και τον εξ' ορθολογισμό της δηλωμένης χωρητικότητας
ii. **Εκχώρηση:** Όπου λαμβάνονται τα αιτήματα των εταιρειών και γίνεται η ανάθεση των χρονοθυρίδων
iii. **Δραστηριότητα μετά την εκχώρηση** (post – allocation activity): όπου γίνεται έλεγχος της αξιοποίησης των χρονοθυρίδων, καθώς και πιθανές αναπροσαρμογές της ζήτησης ή επανεκτίμηση της δηλωθείσας χωρητικότητας βάσει των επιχειρησιακών αναγκών.

Η διαδικασία προγραμματισμού χρονοθυρίδων δεν αντιμετωπίζει με ρεαλιστικό τρόπο την πολυπλοκότητα του προβλήματος στο πραγματικό κόσμο. Επιπλέον οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος για το καθορισμό της βέλτιστης χωρητικότητας, είναι κυρίως εμπειρικές αντί για υπολογιστικές. Αυτό οδηγεί σε μη επιτυχή κατανομή των χρονοθυρίδων (χρονική απόσταση των απαιτούμενων χρονοθυρίδων από αυτές που τελικά εκχωρήθηκαν), με αποτέλεσμα τη κακή χρήση των χρονοθυρίδων και κατά συνέπεια τη διόγκωση του προβλήματος της χωρητικότητας στα αεροδρόμια. Εξ' αιτίας των παραπάνω προβλημάτων, προκύπτουν οι ακόλουθες απαιτήσεις:

- Λύσεις που στοχεύουν στη διαχείριση της συμφόρησης μέσω βέλτιστου προγραμματισμού χρονοθυρίδων.
- Καθορισμός της μέγιστης δηλωμένης χωρητικότητας με υπολογιστικές και όχι εμπειρικές μεθόδους. Το επίπεδο της δηλωθείσας χωρητικότητας καθορίζει βασικά όχι μόνο τον αριθμό των διαθέσιμων χρόνων για εκχώρηση σε αεροπορικές εταιρείες, αλλά και την ποιότητα των διαθέσιμων χρόνων από την άποψη της «απόστασης» από τα αιτήματά τους. Η υψηλότερη δηλωμένη χωρητικότητα οδηγεί σε αυξημένη συχνότητα, ανταγωνισμό, πρόσβαση και τελικά χρήση σπάνιων υποδομών, το οποίο όμως μπορεί να είναι εις βάρος της αξιοπιστίας του χρονοδιαγράμματος. Επιπλέον για το καθορισμό της δηλωμένης χωρητικότητας, πρέπει να ληφθεί η μεταβλητότητά του (π.χ. αντίξοες καιρικές συνθήκες, απρόβλεπτα συμβάντα), καθιστώντας έτσι απαραίτητη μια δυναμική προσέγγιση για τη διαχείριση της.
- Είναι απαραίτητο να αποκτήσουμε περισσότερη γνώση των πραγματικών απαιτήσεων των αεροπορικών εταιρειών, καθώς και στοιχείων όπως τα επίπεδα ανοχής τους έναντι των αποκλίσεων από το αρχικό τους αίτημα ή ακόμα και τη πραγματική οικονομική αποτίμηση αυτών των πόρων.
- Διασφάλιση βιώσιμων και εφικτών προγραμμάτων πτήσης για αεροπορικές εταιρείες, μεμονωμένα αεροδρόμια και το συνολικό σύστημα διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας (Air Traffic management) σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής προγραμματισμού.

Επιπλέον γίνεται ειδική αναφορά για δίκτυο αεροδρομίων, όπου το πρόβλημα ανάθεσης χρονοθυρίδων, είναι πιο σύνθετο και μπορεί να λυθεί μόνο υπό περιορισμούς όπως: (i) για μία μόνο ημέρα ή (ii) για μικρό αριθμό αεροδρομίων και αεροπορικών εταιρειών και για περιορισμένο χρονικό ορίζοντα.

Τέλος γίνεται μία ταξινόμηση των προβλημάτων κατανομής χρονοθυρίδων βάσει των ακόλουθων κριτηρίων:

- Γεωγραφικής κάλυψης: τα οποία ταξινομούνται σύμφωνα με τη γεωγραφική κάλυψη σε μονά αεροδρόμια ή σε δίκτυο αεροδρομίων.
- Αριθμού κριτηρίων βελτιστοποίησης: ταξινομεί τα προβλήματα σε εκείνα που έχουν ένα μόνο στόχο έναντι εκείνων που επιδιώκουν τη βελτιστοποίηση πολλαπλών στόχων
- Αντικειμενικής συνάρτησης: Τα υπάρχοντα μοντέλα επικεντρώνονται κυρίως στην ελαχιστοποίηση μίας συνάρτηση κόστους, αλλά μπορούν να διερευνηθούν και άλλοι στόχοι (π.χ. αξιοποίηση πόρων, δικαιοσύνη)
- Φύσης της χωρητικότητας: Μοντελοποίηση της χωρητικότητας ως ντετερμινιστική ή στοχαστική μεταβλητή.
- Περιορισμών πόρων: Ο κυριότερος περιορισμός αφορά το καθορισμό της δηλωμένης χωρητικότητας, αλλά και την εφαρμογή ή μη των περιορισμών κύλισης της χωρητικότητας (rolling capacity constraints)
- Σχέσεων προτεραιότητας: όπου αφορούν περιορισμούς αλληλουχίας που εξασφαλίζουν τη συνδεσιμότητα των πτήσεων ή σχετίζονται με περιορισμούς μεταξύ διασυνδεδεμένων αεροδρομίων.
- Κατηγοριών προτεραιότητας: που αφορούν την ενσωμάτωση ή όχι κανόνων προτεραιότητας (π.χ. εφαρμογή ή όχι ιστορικών δικαιωμάτων)
- Άλλων ρυθμιστικών ιδιοτήτων: που περιέχουν μοντέλα που διαφέρουν στο βαθμό απλοποίησης ή συμμόρφωσης σε συγκεκριμένες ρυθμιστικές/ κανονιστικές ιδιότητες.

Οι Barnhart et al. (2012) χωρίζουν τις ερευνητικές προκλήσεις σε δύο μεγάλες ενότητες:

a. Στις στρατηγικές προκλήσεις
b. Τακτικές προσαρμογές

Στο επίπεδο των στρατηγικών προκλήσεων περιλαμβάνονται οι ακόλουθες ερευνητικές κατηγορίες που αντιμετωπίζουν τα αεροδρόμια, οι αεροπορικές αρχές, και οι αεροπορικές εταιρείες

A. Καθορισμός της χωρητικότητας

Ο καθορισμός της βέλτιστης χωρητικότητας ενός αεροδρομίου προσεγγίζεται πολύ διαφορετικά στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη. Συγκεκριμένα:

Οι ρυθμιστικές αρχές των ΗΠΑ τείνουν να ευνοούν μια σε μεγάλο βαθμό παθητική προσέγγιση που υποστηρίζει αυξημένη συχνότητα, ανταγωνισμό και πρόσβαση, συχνά εις βάρος της αξιοπιστίας. Στην πραγματικότητα, εκτός από λίγα αεροδρόμια των ΗΠΑ, δεν υπάρχει επίσημος μηχανισμός για τον καθορισμό ή την κατανομή της χωρητικότητας του αεροδρομίου.

Στον αντίποδα ο πιο ενεργός ρόλος των ευρωπαίων ρυθμιστικών αρχών στον συντονισμό των πτήσεων για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας έχει προκύψει σε βάρος της συχνότητας πτήσεων, του ανταγωνισμού και της πρόσβασης.

Η πρόταση των Barnhart et al. (2012) είναι να πραγματοποιηθεί ανάλυση και μοντελοποίηση των αντισταθμίσεων και των επιπτώσεων του υπέρ-προγραμματισμού και του υπό-προγραμματισμού στα πιο πολυσύχναστα αεροδρόμια του κόσμου.

Μια δεύτερη κατηγορία σημαντικών προκλήσεων για την ερευνητική κοινότητα είναι η ανάπτυξη μοντέλων για την ανάλυση του πως επηρεάζουν οι αλλαγές στα προγράμματα πτήσεων:

i. τις τιμές των ναύλων μέσω του ανταγωνισμού και των μηχανισμών διαχείρισης εσόδων,
ii. άλλα τμήματα του δικτύου των αεροπορικών εταιρειών
iii. μοντέλα ζήτησης επιβατών μέσω της ελαστικότητας της ζήτησης σε σχέση με τις καθυστερήσεις, τη συχνότητα, τους ναύλους και την αξιοπιστία.

B. Η ανάθεση χωρητικότητας

Στη ανάθεση της χωρητικότητας υπάρχουν δύο βασικές τάσεις:

a. Μέσω διοικητικών ελέγχων, που είναι το μοντέλο που εφαρμόζεται στην Ευρώπη και στα ελεγχόμενα από την IATA αεροδρόμια. Η ευρωπαϊκή προσέγγιση έχει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η απλότητα, η προβλεψιμότητα και ότι στηρίζεται στην εμπειρία, αλλά το ρυθμιστικό πλαίσιο εμποδίζει τον ανταγωνισμό και την είσοδο των νέο-εισερχόμενων
b. Μέσω μηχανισμών που στηρίζονται σε όρους αγοράς, όπως είναι η τιμολόγηση χρονοθυρίδων, οι δημοπρασίες ή στρατηγική τιμολόγησης συμφόρησης (congestion pricing). Αυτοί η μηχανισμοί παρ' ότι βασίζονται σε όρους της αγοράς απέτυχαν να προσελκύσουν το ενδιαφέρον των εμπλεκόμενων φορέων.

Δύο σημαντικές προκλήσεις σε αυτό το τομέα είναι:

a. Ανάπτυξη δημιουργικών μηχανισμών για την ανάθεση χωρητικότητας στις αεροπορικές εταιρείες που την εκτιμούν περισσότερο και θα την χρησιμοποιήσουν καλύτερα για τη μεταφορά επιβατών.
b. Ολοκληρωμένη μοντελοποίηση των δραστηριοτήτων σχεδιασμού αεροπορικών εταιρειών, συμπεριλαμβανομένων προβλέψεων ζήτησης, τιμολόγησης και βελτιστοποίησης προγράμματος πτήσεων.

C. Προγραμματισμός των αεροπορικών εταιρειών

Στο πλαίσιο ενός μελλοντικού συστήματος αεροπορικών μεταφορών με μειωμένα επιτρεπόμενα χρονικά διαστήματα σε υπέρ-προγραμματισμένα αεροδρόμια των ΗΠΑ και αυξημένη δηλωμένη χωρητικότητα σε υπό-προγραμματισμένα ευρωπαϊκά αεροδρόμια, οι

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

αεροπορικές εταιρείες θα αντιμετωπίσουν την πρόκληση του επανασχεδιασμού των πτήσεων τους, του στόλου αεροσκαφών και των προγραμμάτων των πληρωμάτων για μεγιστοποίηση των κερδών τους.

Η τιμολόγηση είναι μια άλλη περίπλοκη δυναμική που θα αντιμετωπίσουν στο μέλλον οι αεροπορικές εταιρείες. Οι αλλαγές στο ανταγωνιστικό τοπίο είναι ανάλογες με τις αλλαγές κατανομής δυναμικότητας. Οι αλλαγές χρονοδιαγράμματος που έχουν σχεδιαστεί για να αξιοποιήσουν την ανεκμετάλλευτη χωρητικότητα και να ικανοποιήσουν τις αναθέσεις χρονοθυρίδων, έχουν ως αποτέλεσμα ορισμένες αεροπορικές εταιρείες να μειώσουν τις υπηρεσίες ή ακόμη και να αποσυρθούν από ορισμένες αγορές και άλλες αεροπορικές εταιρείες να αυξάνουν τις υπηρεσίες ή εισέρχονται σε νέες αγορές. Οι αλλαγές στα προγράμματα πτήσεων και στον ανταγωνισμό της αγοράς προκαλούν αλλαγές στις τιμές που, με τη σειρά τους, αλλάζουν τα πρότυπα και τα επίπεδα της ζήτησης των επιβατών.

Στο επίπεδο των τακτικών προσαρμογών σε καθημερινή βάση περιλαμβάνονται οι ακόλουθες ερευνητικές κατηγορίες:

A. <u>Καθορισμός χωρητικότητας</u>

Η βασική αιτία των περισσοτέρων ζητημάτων που προκύπτουν σε αυτή την ενότητα είναι η αβεβαιότητα σχετικά με τις μελλοντικές καιρικές συνθήκες ακόμα και σε χρονικό ορίζοντα λίγων ωρών

Σε επίπεδο τακτικών προσαρμογών σε ημερήσια βάση η δυνατότητα πρόβλεψης διευκολύνει την αξιόπιστη ανάκαμψη των αεροπορικών εταιρειών από διακοπές λειτουργίας. Οι πρώιμες, συντηρητικές εκτιμήσεις της διαθέσιμης χωρητικότητας μπορούν να βελτιώσουν την προβλεψιμότητα όσον αφορά τις καθυστερήσεις πτήσεων, αλλά να οδηγήσουν σε σπατάλη χωρητικότητας (και συνεπώς περιττές ακυρώσεις και καθυστερήσεις) εάν οι καιρικές συνθήκες αποδειχθούν πιο ευνοϊκές από τις υποτιθέμενες. Η καθυστερημένη εκτίμηση της διαθέσιμης χωρητικότητας για τη βελτίωση της αξιοπιστίας, από την άλλη πλευρά, αφήνει στις αεροπορικές εταιρείες λιγότερες ευκαιρίες να εκτελέσουν ένα πλήρες πρόγραμμα λειτουργιών μέσω προληπτικής αναδιάρθρωσης.

Ο προσδιορισμός οποιασδήποτε ημέρας ποιοι πόροι και ποιοι παράγοντες θα ελέγχονται και πως θα αντισταθμίζονται μεταξύ τους, αποτελεί άλλη μία κατηγορία για την ερευνητική κοινότητα.

B. <u>Κατανομή χωρητικότητας & διασφάλιση δικαιοσύνης</u>

Όταν η προγραμματισμένη ζήτηση ξεπερνά τις δυνατότητες του αεροδρομίου κατά την ημέρα που πραγματοποιείται μία πτήση, τότε εξίσου σημαντικό με την αποτελεσματικότητα στη κατανομή των πόρων είναι και η δίκαιη κατανομή τους. Οι δύο παραπάνω στόχοι προτείνεται να αντιμετωπίζονται μέσω ανταλλαγής μεταξύ των εταιρειών σε πραγματικό χρόνο.

Τα ανοιχτά ερευνητικά ερωτήματα σχετικά με το σχεδιασμό και την υλοποίηση των ανταλλαγών χρονοθυρίδων ξεκινούν με το θεμελιώδες ερώτημα σχετικά με τον τρόπο εκτίμησης της αξίας τους σε μια δεδομένη αεροπορική εταιρεία και επεκτείνονται σε πολύπλοκες κοινωνικές ανησυχίες, όπως ο βαθμός στον οποίο θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη θέματα μετοχών. Υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες για το σχεδιασμό νέων μηχανισμών σε πραγματικό χρόνο που εκχωρούν δυναμικά τη σπάνια χωρητικότητα στις αεροπορικές εταιρείες και τους φορείς εκμετάλλευσης αεροσκαφών που την εκτιμούν περισσότερο κάθε συγκεκριμένη στιγμή.

C. <u>Ανάκτηση λειτουργιών</u>

Το κόστος ανάκτησης επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως ο σχεδιασμός του προγράμματος πτήσεων, η χωρητικότητα του συστήματος αεροπορικών μεταφορών που διατίθεται

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

κατά τη διάρκεια της ημέρας λειτουργίας και η ικανότητα των αεροπορικών εταιρειών να δημιουργούν καλά σχέδια ανάκτησης.

Ο στόχος είναι να αναπτυχθούν μοντέλα και αλγόριθμοι που ικανοποιούν προσαρμοσμένες κατανομές χωρητικότητας στο ελάχιστο κόστος, με τον επαναπρογραμματισμό και την ακύρωση πτήσεων, την εκ νέου τοποθέτηση αεροσκαφών και πληρώματος και τη στέγαση επιβατών, που έχουν επηρεαστεί από ακυρώσεις/ καθυστερήσεις πτήσεων.

Γενικότερα, η αυξημένη πρόσβαση σε πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και η υπολογιστική ισχύς παρέχει στους ερευνητές τα απαραίτητα στοιχεία για τη δημιουργία νέων και βελτιωμένων δυνατοτήτων ανάκτησης λειτουργιών σε πραγματικό χρόνο με τη δυνατότητα να μειώσουν σημαντικά το μη προγραμματισμένο κόστος και τις λειτουργικές ανεπάρκειες. Επιπλέον, οι προσεγγίσεις που επιτρέπουν στις αεροπορικές εταιρείες να προσαρμόσουν την ανάθεση χωρητικότητας μέσω συνεργατικών, καθοδηγούμενων από την αγορά μηχανισμών σε πραγματικό χρόνο θα μπορούσαν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο, επιτρέποντας στις αεροπορικές εταιρείες να βελτιστοποιούν δυναμικά το δίκτυο στο απάντηση των αλλαγών της χωρητικότητας σε πραγματικό χρόνο.

3.3 Εφαρμογή διοικητικών μέτρων

Σε αυτή την ερευνητική ομάδα, εντάσσονται εργασίες, που προσπαθούν να δώσουν λύσεις στο πρόβλημα ανάθεσης χρονοθυρίδων εφαρμόζοντας υπολογιστικά μέσα και μετρικές που σχετίζονται με τους διαθέσιμους πόρους ενός αεροδρομίου και κυρίως με τη δηλωμένη χωρητικότητα του αερολιμένα. Αυτά τα προβλήματα τα διαχωρίζουμε σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:

a. Ιεραρχικά, δηλαδή σε όσα εφαρμόζουν τους κανονισμούς της ΕΕ και τις οδηγίες της ΙΑΤΑ, αναφορικά με τις προτεραιότητες που έχουν οι αεροπορικές εταιρείες
b. Μη ιεραρχικά, δηλαδή σε όσα δεν λαμβάνουν υπ' όψη τους τους κανόνες προτεραιότητας
c. Στα υβριδικά, που εξετάζουν το εκάστοτε πρόβλημα με ή/και χωρίς τη χρήση κανόνων προτεραιότητας

3.3.1 Ιεραρχικά μοντέλα

Οι (Zografos et al, 2011) αναπτύσσουν ένα στρατηγικό μοντέλο βελτιστοποίησης ενός αερολιμένα που εφαρμόζει τους υφιστάμενους κανόνες προγραμματισμού ΕΕ / ΙΑΤΑ, με απώτερο στόχο την κατανομή της σπάνιας χωρητικότητας αεροδρομίου (σειρά χρονοθυρίδων) πιο αποτελεσματικά και πιο κοντά στις προτιμήσεις των αεροπορικών εταιρειών σε συντονισμένα αεροδρόμια. Αυτός ο στόχος επιτυγχάνεται μέσω της ελαχιστοποίησης της διαφοράς μεταξύ του ζητούμενου χρόνου χρήσης και το χρόνου χρήσης που τελικά διατίθεται στις αεροπορικές εταιρείες. Το πρόβλημα επιλύεται για ολόκληρη περίοδο συντονισμού και τα αποτελέσματα που παράγονται, συγκρίνονται με τα αποτελέσματα κατανομής χρονοθυρίδων που παρήχθησαν από τους συντονιστές τριών Ελληνικών αεροδρομίων (Ηράκλειο, Χανιά, Ρόδος).

Το μοντέλο, ακολουθώντας τις οδηγίες (Ευρωπαϊκή νομοθεσία, ΙΑΤΑ) επιλύθηκε ιεραρχικά: ανάθεση χρονοθυρίδων με ιστορικά δικαιώματα, αιτήματα νέο-εισερχομένων, υπόλοιπα αιτήματα. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν ότι υπάρχει μεγάλο περιθώριο βελτίωσης της αποτελεσματικότητας του αρχικού αποτελέσματος κατανομής που παράγεται επί του παρόντος από την υπάρχουσα διαδικασία συντονισμού χρονοθυρίδων σε εύρος μεταξύ 14% και 95%. Ουσιαστικά, ταιριάζει καλύτερα τις προτιμήσεις των αεροπορικών εταιρειών ελαχιστοποιώντας τη διαφορά μεταξύ του εκχωρημένου και του ζητούμενου χρόνου χρήσης.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Επιπλέον, από την ανάλυση προέκυψε ότι μία μικρή αύξηση της δηλωμένης χωρητικότητας κατά 20% οδηγεί σε ουσιαστική βελτίωση στην κατανομή χρονοθυρίδων της τάξης του 65% για κάθε αεροδρόμιο που εξετάστηκε, τονίζοντας έτσι τη σημαντική επίδραση που έχει το τεχνητό μέτρο της δηλωμένης χωρητικότητας στην βελτίωση της αποτελεσματικότητας του συντονισμού.

Τέλος, το προτεινόμενο μοντέλο εισάγει βελτιώσεις στην αποτελεσματικότητα εσωτερικής κατανομής του μηχανισμού που βασίζεται στην IATA χωρίς να επιδιώκεται απομάκρυνση από το υφιστάμενο καθεστώς κατανομής χρονοθυρίδων.

Οι Ribeiro et al. (2018) προτείνουν ένα νέο μοντέλο κατανομής χρονοθυρίδων που ακολουθεί τους κανόνες της IATA, για ένα μόνο αεροδρόμιο και όχι για δίκτυο αεροδρομίων. Οι κύριοι στόχοι του μοντέλου είναι, ακολουθώντας τους κανονισμούς IATA, είναι η μείωση της μεγαλύτερης μετατόπισης πτήσεων, η μείωση της συνολικής μετατόπισης και επιπλέον προσθέτει δύο νέους στόχους:

i. Την ελαχιστοποίηση του αριθμού αιτημάτων που απορρίφθηκαν και
ii. την ελαχιστοποίηση του αριθμού των αιτημάτων που εκτοπίστηκαν

Σε αντίθεση με το μοντέλο των Zografos et al. (2012), παρ' ότι και εδώ ακολουθείται το ιεραρχικό μοντέλο (ιστορικά δικαιώματα, νέο-εισερχόμενοι, άλλα αιτήματα), εδώ προβλέπεται και εξετάζεται μία ακόμα κατηγορία αιτημάτων, τα αιτήματα με ιστορικά δικαιώματα για τα οποία όμως ζητείται μία αλλαγή (π.χ. σε χρονική στιγμή ή σε τύπο αεροσκάφους).

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι από δύο Πορτογαλικά αεροδρόμια της Μαδέρα και του Πόρτο για τη θερινή περίοδο του 2014. Το προτεινόμενο μοντέλο εξετάζει ξεχωριστά το κάθε αεροδρόμιο και συγκρίνει τα αποτελέσματα το μοντέλο με την ανάθεση που έγινε στη πράξη από τους συντονιστές αυτών των αεροδρομίων.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν δείχνουν ότι η λύση του μοντέλου βελτιώνει τα αποτελέσματα της ανάθεσης χρονοθυρίδων και στα δύο αεροδρόμια, σε σύγκριση με τον συντονιστή. Στη Μαδέρα, παρατηρούμε μείωση 4,3% στη συνολική μετατόπιση, 12,5% στη μέγιστη μετατόπιση και 1,1% στον αριθμό των εκτοπισμένων αιτημάτων. Στο Πόρτο, οι βελτιώσεις είναι ακόμη πιο σημαντικές, με μείωση 27% στη συνολική μετατόπιση, 44% στη μέγιστη μετατόπιση και 7% στον αριθμό των εκτοπισμένων αιτημάτων.

Επιπλέον το μοντέλο που προτείνουν οι Ribeiro et al. (2018) μειώνει τον αριθμό των αιτημάτων που υπόκεινται σε μετατόπιση σε σχέση με τη λύση που έδωσαν οι συντονιστές. Τέλος η μέγιστη μετατόπιση χρονοδιαγράμματος μειώνεται από 80 έως 70 λεπτά στη Μαδέρα & από 80 έως 55 λεπτά στο Πόρτο, σε σχέση με τις λύσεις των συντονιστών.

Οι Androutsopoulos et al. (2018) στην εργασία τους, προτείνουν μία νέα πρακτική προγραμματισμού χρονοθυρίδων, ακολουθώντας τους κανονισμούς της ΕΕ & τους κανόνες της IATA, που προσεγγίζει περισσότερο (σε σχέση με άλλα μέχρι τώρα μοντέλα), τη πρακτική προγραμματισμού σε πραγματικό περιβάλλον. Συγκεκριμένα προτείνουν ένα αμφίδρομο μοντέλο προγραμματισμού χρονοθυρίδων ενός αεροδρομίου με ταυτόχρονη αποτελεσματικότητα προγραμματισμού και θέματων αποδοχής. Για να προσεγγίσουν καλύτερα τα προβλήματα του πραγματικού κόσμου, χρησιμοποιούν ένα νέο κριτήριο προγραμματισμού την «αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος» (aggregated schedule displacement), το οποίο παρουσιάστηκε πρώτη φορά από τους Ribeiro et al. (2018). Αυτό το μέγεθος είναι πιο ρεαλιστικό, με το σκεπτικό ότι εφαρμόζεται σε ολόκληρη τη σειρά χρονοθυρίδων ή κινήσεων που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο αίτημα για όλη τη περίοδο προγραμματισμού. Ως αποτέλεσμα, ένα πολλαπλασιαστικό αποτέλεσμα θα εφαρμοστεί στη μετατόπιση αιτημάτων που περιλαμβάνουν πολλαπλές καθημερινές ή εβδομαδιαίες καταστάσεις, γεγονός που προσομοιάζει καλύτερα την πρακτική προγραμματισμού πραγματικού κόσμου.

Το δεύτερο κριτήριο προγραμματισμού που χρησιμοποιούν, περιλαμβάνει ένα νέο μέτρο αποδοχής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακόμη και αν δεν υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τα ανώτατα όρια ανοχής των αεροπορικών εταιρειών. Συγκεκριμένα, ενσωματώνουν τη μέτρηση τετραγώνου της αθροιστικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος, εκφράζοντας το τετράγωνο του προηγούμενου κριτηρίου προγραμματισμού. Το βασικό κίνητρο είναι ότι η αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος ενεργεί ως μέτρο της κεντρικής τάσης που δεν μπορεί στην πραγματικότητα να εξαλείψει την πιθανότητα να υπάρχουν λίγα αλλά εξαιρετικά υψηλά εκτοπισμένα αιτήματα χρονοθυρίδων. Από αυτή την άποψη, η μέτρηση τετραγώνου της αθροιστικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος θα συμπληρώσει την αντικειμενική συνάρτηση με ένα μέτρο διασποράς / μεταβλητότητας που θα επιτρέψει την εκχώρηση χρονοθυρίδων με πολύ μεγάλες μετατοπίσεις. Αυτό έχει σημαντικές διοικητικές επιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι χρονοθυρίδες που έχουν υποστεί υπερβολική μετατόπιση δεν μπορούν να ενσωματωθούν αποτελεσματικά στα κύρια προγράμματα πτήσεων της αεροπορικής εταιρείας, επομένως δεν θα χρησιμοποιηθούν καθόλου ή δε θα χρησιμοποιηθούν επαρκώς. Ως αποτέλεσμα, οι εξαιρετικά λιγοστοί πόροι (ειδικά στα αεροδρόμια με συμφόρηση) παραμένουν αχρησιμοποίητοι ή δεν αξιοποιούνται λόγω προβλημάτων εσφαλμένης κατανομής. Το κριτήριο τετραγωνικής μετατόπισης που εισήχθη στο μοντέλο «ανακουφίζει» την υπερβολική μετατόπιση των χρονοθυρίδων, προωθώντας έτσι την αποδοχή της αεροπορικής εταιρείας, τη λειτουργική βιωσιμότητα και ταυτόχρονα αυξάνει την πραγματική χρήση των σπάνιων πόρων του αεροδρομίου.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δείχνουν ότι η χρήση του προτεινόμενου αλγορίθμου, επιτυγχάνει μια αρκετά ακριβή προσέγγιση των βέλτιστων λύσεων του προβλήματος κατά Pareto. Συγκεκριμένα η ευρετική βέλτιστη λύση αποκλίνει από τη βέλτιστη τιμή κατά Pareto κατά 2,6% (κατά μέσο όρο) σε οποιονδήποτε από τους δύο στόχους του προβλήματος

Επιπλέον, εκτός από την αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος και το τετράγωνό της, υπολογίστηκε και η συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος και το αποτέλεσμα έδειξε ότι το προτεινόμενο μοντέλο, παρέχει εναλλακτικές λύσεις χωρίς εξαιρετικά χειρότερες υψηλές τιμές μετατόπισης, σε σχέση με το μοντέλο επίλυσης Pareto.

Τέλος αναφορικά με την υπολογιστική απόδοση του προτεινόμενου μοντέλου, φαίνεται ότι παρά τους μεγάλους υπολογιστικούς χρόνους που απαιτούνται (48,2 ώρες ο χειρότερος χρόνος), ο αλγόριθμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πραγματικές περιπτώσεις.

3.3.2 Μη ιεραρχικά μοντέλα

Οι Coroli et al. (2014) εξετάζουν τη διαδικασία ανάθεσης χρονοθυρίδων σε δίκτυο αεροδρομίων και έχουν συμπεριλάβει την αβεβαιότητα όσον αφορά τη δηλωμένη χωρητικότητα του αεροδρομίου, όπως αυτή μεταβάλλεται εξ' αιτίας έκτακτων γεγονότων (π.χ. καιρικές συνθήκες). Η εργασία τους εξετάζει την αντιστάθμιση μεταξύ της διαφοράς προγραμματισμού/ αιτήματος (δηλαδή τη διαφορά ανάμεσα στο αίτημα και τη χρονοθυρίδα που τελικά εκχωρήθηκε) και των λειτουργικών καθυστερήσεων. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε για προγραμματισμό 4 ημερών σε διαφορετικά ευρωπαϊκά δίκτυα αεροδρομίων.

Τα προτεινόμενα μοντέλα δεν εφαρμόζουν κανέναν από τους υπάρχοντες κανόνες IATA για την κατανομή χρονοθυρίδων (π.χ., δεν λαμβάνουμε υπόψη διαφορετικούς κανόνες προτεραιότητας για πτήσεις) και βασίζονται μόνο σε κριτήρια βελτιστοποίησης. Ωστόσο, είναι δυνατόν να ευθυγραμμιστούν εύκολα αυτά τα μοντέλα με τις υπάρχουσες διαδικασίες κατανομής χρονοθυρίδων IATA εφαρμόζοντας τα μοντέλα διαδοχικά σε κάθε κατηγορία προτεραιότητας

Ο στόχος της εργασίας είναι να ελαχιστοποιηθούν οι διαφορές προγράμματος / αιτήματος, καθώς και η εκτίμηση των μελλοντικών καθυστερήσεων που θα προκύψουν επιλέγοντας ένα τέτοιο πρόγραμμα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν δείχνουν ότι μικρές θυσίες στην απόκλιση ανάθεσης χρονοθυρίδων σε σχέση με τα αρχικά αιτήματα, μπορούν να επιφέρουν σημαντική μείωση καθυστερήσεων, που αναμένεται να συμβούν την ημέρα πραγματοποίησης των πτήσεων μέχρι και 58% σε κάποιες περιπτώσεις.

3.3.3 Υβριδικά μοντέλα

Οι Zografos et al. (2018) παρουσίασαν δύο μοντέλα τα οποία εξετάζουν σε έναν αερολιμένα Επιπέδου 3:

a. Την αντιστάθμιση μεταξύ της μέγιστης μετατόπισης χρονοδιαγράμματος (maximum schedule displacement) και της συνολικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος
b. Την αντιστάθμιση μεταξύ του συνολικού αριθμού των βιαίως εκτοπισμένων χρονοθυρίδων (violated slot assignments) και της συνολικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος.

Στόχος της ανάλυσης είναι να βρεθεί ένα πιθανό όφελος συμβιβασμού μεταξύ της αποτελεσματικής λειτουργίας του αεροδρομίου και της αποδοχής από μέρους των αεροπορικών εταιρειών των χρονοθυρίδων που τελικά τους εκχωρούνται.

Σε αυτό το πλαίσιο, τα δύο παραπάνω σενάρια, εξετάστηκαν τόσο λαμβάνοντας υπόψη των περιορισμό των ιστορικών δικαιωμάτων (όπως προβλέπει και η IATA), αλλά και αγνοώντας τα, ώστε να φανεί ποια είναι επίδρασή τους στο συνολικό προγραμματισμό ενός αερολιμένα.

Ένα κοινό συμπέρασμα που εξάγεται και για τα δύο μοντέλα, είναι ότι η επιβολή των ιστορικών δικαιωμάτων οδηγεί τόσο σε αύξηση της μέγιστης μετατόπισης χρονοδιαγράμματος, όσο και σε αύξηση της συνολικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος. Η ύπαρξη αυτού του περιορισμού έχει μεγάλη επίδραση στη πιθανή αποδοχή του χρονοδιαγράμματος από τις εταιρείες. Συγκεκριμένα η ύπαρξη αυτού του περιορισμού εκτοπίζει σημαντικά τα αιτήματα των νεοεισερχόμενων, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί πιθανόν σε μη – αποδοχή ή μη χρήση των χρονοθυρίδων που τελικά τους αποδίδονται.

Ειδικότερα, στο 1ο μοντέλο εξετάστηκε η επίδραση της δηλωμένης χωρητικότητας του αεροδρομίου στην αντιστάθμιση μεταξύ συνολικής και μέγιστης μετατόπισης προγράμματος. Σε αυτή τη περίπτωση προέκυψε ότι όσο αυξάνεται η δηλωμένη χωρητικότητα του αερολιμένα, τόσο μειώνεται και η συνολική, όσο και η μέγιστη μετατόπιση χρονοδιαγράμματος.

Ένα ακόμα σημαντικό εύρημα που προέκυψε στο 1ο μοντέλο, χωρίς την εφαρμογή του περιορισμού των ιστορικών δικαιωμάτων, είναι ότι ακόμα και για το ίδιο επίπεδο δηλωμένης χωρητικότητας μπορούν να επιτευχθούν σημαντικά κέρδη στη μέγιστη μετατόπιση χρονοδιαγράμματος, κάνοντας πολύ μικρές θυσίες στη συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος. Αυτό είναι ένα σημαντικό εύρημα, γιατί αυξάνει τη δυνατότητα του συντονιστή αερολιμένα να κατανείμει τελικά χρονοθυρίδες πλησιέστερα στους απαιτούμενους χρόνους, οπότε αντίστοιχα, να αυξηθεί και το επίπεδο αποδοχής τους από μέρους των αερομεταφορέων.

Το αντίστοιχο μοντέλο, υιοθετώντας το περιορισμό των ιστορικών δικαιωμάτων, επειδή είναι πιο περιορισμένο, επιλύεται για υψηλότερα επίπεδα χωρητικότητας. Και σε αυτό το μοντέλο παρατηρούμε ότι και στο προηγούμενο (μικρή συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος αποφέρει σημαντικά οφέλη στη μέγιστη μετατόπιση χρονοδιαγράμματος), αλλά αυτό οφείλεται στα υψηλά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας παρά στην επιβολή των ιστορικών δικαιωμάτων.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Αντίστοιχα με το 1ο μοντέλο, διαπιστώθηκε ότι διατηρώντας το ίδιο επίπεδο αποδεκτής μετατόπισης και αυξάνοντας τη χωρητικότητα του αερολιμένα η συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος μειώνεται.

Επιπλέον διατηρώντας τα ίδια επίπεδα χωρητικότητας και κάνοντας μικρές «θυσίες» στη συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος, αποφέρουν σημαντικά κέρδη στη μείωση του αριθμού των παραβιασμένων χρονοθυρίδων.

Στο 2ο μοντέλο, χωρίς την εφαρμογή του περιορισμού των ιστορικών δικαιωμάτων, που εξετάστηκε η σχέση μεταξύ των βιαίως εκτοπισμένων χρονοθυρίδων και της συνολικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος για διάφορα επίπεδα ανοχής, διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός των παραβιασμένων αιτημάτων μειώνεται, καθώς αυξάνεται η μέγιστη αποδεκτή μετατόπιση των ζητούμενων αιτημάτων. Άρα η επιλογή σχετικά υψηλών επιπέδων ανοχής (περίπου 1 ώρα), ουσιαστικά εξαλείφει τις βιαίως εκτοπισμένες χρονοθυρίδες με μικρή απόκλιση από τη βέλτιστη συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος. Από την άλλη όμως πλευρά ένα τέτοιο επίπεδο ανοχής, μπορεί να οδηγήσει πάλι σε κακή ή καθόλου χρήση των χρονοθυρίδων.

Ομοίως με το 1ο μοντέλο το σενάριο με επιβολή ιστορικών δικαιωμάτων μπορεί να επιλυθεί για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας. Σε αντίθεση όμως με το σενάριο χωρίς χρήση ιστορικών δικαιωμάτων, η αντιστάθμιση μεταξύ της συνολικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος και του αριθμού των παραβιασμένων εκχωρήσεων υποδοχών έχει σχεδόν εξαλειφθεί σε όλα τα επίπεδα χωρητικότητας και όρια ανοχής. Είναι ενδιαφέρον ότι και οι δύο στόχοι διατηρούνται σε χαμηλά επίπεδα χωρίς μεγάλη μεταβλητότητα στα επίπεδα χωρητικότητας ή στα όρια ανοχής.

3.4 Μοντέλα με δείκτες δικαιοσύνης

Οι Zografos and Jiang (2019) εξετάζουν ταυτόχρονα τους στόχους αποτελεσματικής εκχώρησης χρονοθυρίδων σε συνδυασμό με τη δίκαιη κατανομή τους μεταξύ των αεροπορικών εταιρειών. Παράλληλα παρέχουν πληροφορίες σε σχέση με τους παραπάνω δείκτες, όχι μόνο συνολικά, αλλά και για κάθε εταιρεία σε σχέση με τους ανταγωνιστές της, υποστηρίζοντας έτσι τη διαφάνεια της διαδικασίας κατανομής χρονοθυρίδων. Η μελέτη έγινε για ένα αεροδρόμιο , για μία ολόκληρη περίοδο συντονισμού. Η μέτρηση δικαιοσύνης κατανέμει τη συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος που θα υποστεί μία εταιρεία, ανάλογα με τον αριθμό αιτημάτων που έχει υποβάλει. Δηλαδή η μεγαλύτερη συνολική μετατόπιση θα εφαρμοστεί ανάλογα σε αυτούς που έχουν υποβάλει τα περισσότερα αιτήματα ανάθεσης. Ο λόγος που χρησιμοποιείται αυτή η μετρική, είναι για να αποθαρρύνει τη τεχνητή αύξηση αιτημάτων υποδοχής.

Το πρόβλημα επιλύεται με χρήση δύο διαφορετικών συνθηκών:

a. Με χρήση ιεραρχικών πολιτικών προγραμματισμού. Δηλαδή εφαρμογή των προτεραιοτήτων στην εκχώρηση χρονοθυρίδων σύμφωνα με το νομικό/ ρυθμιστικό πλαίσιο (Ιστορικά δικαιώματα, νέο-εισερχόμενοι, άλλα αιτήματα)
b. Χωρίς χρήση ιεραρχικών πολιτικών προγραμματισμού.

Στη περίπτωση που εφαρμόζονται οι πολιτικές ιεραρχίας, διαπιστώθηκε ότι σε κάθε κατηγορία αιτημάτων η βελτίωση του στόχου μετατόπισης χρονοδιαγράμματος, οδηγεί σε επιδείνωση του στόχου δικαιοσύνης. Ωστόσο υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών κατηγοριών χρονοθυρίδων. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας τα αιτήματα εκχώρησης χρονοθυρίδων με ιστορικά δικαιώματα, σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες (νέο-εισερχόμενοι, άλλα), διαπιστώνουμε ότι η επίτευξη δικαιοσύνης στα αιτήματα με ιστορικά δικαιώματα επιτυγχάνεται με λιγότερες θυσίες στο

συνολικό προγραμματισμό (18% αύξηση στη βέλτιστη μετατόπιση) απ' ότι στις άλλες δύο κατηγορίες αιτημάτων (120% & 70% αντίστοιχα).

Αντίθετα στο σενάριο που δεν ελήφθη υπ' όψη η ιεραρχία, παρατηρήθηκε ότι βελτιώνεται τόσο η συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος, όσο και η δικαιοσύνη στην εκχώρηση των χρονοθυρίδων. Πρέπει όμως να επισημανθεί ότι σε αυτή τη περίπτωση η συνολική βελτίωση της συνολικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος, γίνεται εις βάρος της αύξησης της συνολικής μετατόπισης των χρονοθυρίδων με ιστορικά δικαιώματα.

Οι Fairbrother et al. (2019) προτείνουν ένα μοντέλο που λαμβάνει υπόψη τους στόχους αποτελεσματικότητας και δικαιοσύνης και ενσωματώνει τις προτιμήσεις των αεροπορικών εταιρειών στην κατανομή της συνολικής μετατόπισης προγράμματος ανάλογα με τις πτήσεις κάθε αεροπορικής εταιρείας.

Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελείται από ένα μηχανισμό δύο σταδίων για την κατανομή χρονοθυρίδων, που ενσωματώνει την αποτελεσματικότητα, τη δικαιοσύνη και τις προτιμήσεις των αεροπορικών εταιρειών και που εφαρμόζει τα κύρια χαρακτηριστικά της IATA. Στο πρώτο στάδιο του μηχανισμού, καταρτίζεται ένα χρονοδιάγραμμα αναφοράς το οποίο είναι δίκαιο, διότι διασφαλίζει ότι κάθε αεροπορική εταιρεία υπόκειται σε ένα λογικό μέγεθος μετατόπισης χρονοδιαγράμματος. Στο δεύτερο στάδιο, οι αεροπορικές εταιρείες προτείνουν προσαρμογές σε αυτό το πρόγραμμα, το οποίο στη συνέχεια προσαρμόζεται για να ικανοποιεί όσο το δυνατόν περισσότερο αυτές τις ζητούμενες αλλαγές.

Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιείται ένας νέος δείκτης δικαιοσύνης, βάσει του οποίου αιτήματα που έχουν υποβληθεί για περιόδους χαμηλής κίνησης (off – peak periods) δεν «τιμωρούνται», δηλαδή δεν υποβάλλονται σε επιπλέον μετατόπιση.

Το δεύτερο στάδιο, είναι ουσιαστικά ανταλλαγή χρονοθυρίδων, αλλά είναι ο πρώτος μηχανισμός που πραγματοποιείται για ολόκληρη σεζόν προγραμματισμού και επίσης είναι ο πρώτος για το πώς οι βελτιωτικές αλλαγές του προγράμματος προτείνονται από τις αεροπορικές εταιρείες.

Το μοντέλο εφαρμόστηκε τόσο με τη χρήση ιεραρχικών κανόνων (ιστορικά δικαιώματα, νέο-εισερχόμενοι, άλλα αιτήματα), όσο και χωρίς την εφαρμογή τους. Και στις δύο περιπτώσεις διαπιστώθηκε ότι η δικαιοσύνη ενός προγράμματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με πολύ μικρές αυξήσεις στη συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος.

Όσον αφορά τις βελτιώσεις του προγράμματος και τη μείωση του κόστους των αεροπορικών εταιρειών, ο προϋπολογισμός μετατόπισης φαίνεται να είναι ελαφρώς πιο αποτελεσματικός για τη μη ιεραρχική από την ιεραρχική προσέγγιση. Αυτό όμως είναι αναμενόμενο, καθώς η ανάθεση χρονοθυρίδων σε ομάδες υψηλότερης προτεραιότητας περιορίζει σημαντικά τις χρονοθυρίδες, που μπορούν να εκχωρηθούν σε ομάδες χαμηλότερης προτεραιότητας και επίσης η κατανομή χρονοθυρίδων σε μικρότερες ομάδες αιτημάτων μειώνει τις ευκαιρίες ανταλλαγής χρονοθυρίδων.

Οι Androutsopoulos and Madas (2019) προτείνουν ένα διαφορετικό μοντέλο ανάθεσης χρονοθυρίδων με βάση τη δικαιοσύνη. Σύμφωνα με τους συγγραφείς ένα δίκαιο αποτέλεσμα κατανομής θα πρέπει, μεταξύ άλλων, να διασφαλίσει ότι οι αεροπορικές εταιρείες θα πρέπει να «εντάξουν» το «δίκαιο μερίδιο» τους στη συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος που επιβάλλεται σε άλλες αεροπορικές εταιρείες, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο το πλήθος των κινήσεων που ζητήθηκαν, αλλά και ποια από αυτά αφορούν ώρες αιχμής του αεροδρομίου. Δηλαδή όσο περισσότερα αιτήματα για χρονοθυρίδες έχει υποβάλει μία εταιρεία εντός των περιόδων αιχμής, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μετατόπιση χρονοδιαγράμματος που θα υποστεί. Εισάγουν έτσι μία νέα μέτρηση δικαιοσύνης οι οποία κυρίως «τιμωρεί» τις εταιρείες που προκαλούν τη περισσότερη συμφόρηση στο αεροδρόμιο, δίνοντας υψηλότερα βάρη μετατόπισης (και κατά

συνέπεια μεγαλύτερη μετατόπιση), βάσει της αρχής «ο συνεισφέρον πληρώνει» (the contributor pays).

Ο στόχος του προτεινόμενου μοντέλου είναι ο προσδιορισμός ενός εφικτού χρονοδιαγράμματος, ελαχιστοποιώντας την αθροιστική μετατόπιση ενώ ταυτόχρονα προωθεί μια δίκαιη κατανομή της συνολικής μετατόπισης μεταξύ ανταγωνιστικών αεροπορικών εταιρειών.

Επιπλέον αξιολογούν πως επηρεάζει ο δείκτης δικαιοσύνης διάφορους δείκτες, που σχετίζονται με το επίπεδο εξυπηρέτησης των αεροδρομίων (π.χ. μέγιστη μετατόπιση, δηλωμένη χωρητικότητα).

Το προτεινόμενο μοντέλο λύθηκε για δύο συντονισμένα αεροδρόμια (Επίπεδο 3), ένα μεσαίου μεγέθους, εθνικό αεροδρόμιο στην Πορτογαλία και ένα μικρό, περιφερειακό αεροδρόμιο στην Ελλάδα, με δεδομένα προγραμματισμού πραγματικού κόσμου για την καλοκαιρινή περίοδο προγραμματισμού του 2009, χωρίς να εφαρμοστεί η ιεραρχικότητα των αιτημάτων, καθώς το επίκεντρο της συγκεκριμένης μελέτης είναι η δικαιοσύνη.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν, δείχνουν ότι οι αερομεταφορείς που «προκαλούν» τη περισσότερη συμφόρηση (μεγαλύτερο μέρος αιτημάτων εντός περιόδων αιχμής) υπόκεινται και στη μεγαλύτερη μετατόπιση. Επιπλέον ότι μια σύγκριση μεταξύ της υπόθεσης χωρίς δείκτη δικαιοσύνης και των διαφόρων υποθέσεων δικαιοσύνης που εξετάστηκαν στην ανάλυσή, έδειξε ότι η εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος δικαιοσύνης θα «κόστιζε» περίπου μια αύξηση 11% στην αθροιστική μετατόπιση σε χαμηλά επίπεδα δικαιοσύνης και 21% στο αυστηρότερο επίπεδο δικαιοσύνης για το πορτογαλικό αεροδρόμιο, ενώ τα αντίστοιχα στοιχεία για το ελληνικό αεροδρόμιο θα είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της αθροιστικής μετατόπισης που κυμαίνεται μεταξύ 3% σε χαμηλά επίπεδα δικαιοσύνης και 34% στην πιο αυστηρή περίπτωση δικαιοσύνης.

Επιπλέον για το αυστηρότερο επίπεδο δικαιοσύνης και διάφορα επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η αύξηση της δηλωμένης χωρητικότητας σε επίπεδο 10-20% μπορεί να μειώσει τη συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος κατά 30-50%. Ομοίως, μια τέτοια επέκταση χωρητικότητας θα μείωνε ουσιαστικά το ποσοστό των παραβιασμένων μετακινήσεων και στα δύο αεροδρόμια.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

4. Περιορισμοί τερματικού σταθμού

Εκτός από τη δηλωμένη χωρητικότητα αεροδρομίου (declared capacity) η οποία καθορίζεται από τους συντονιστές των αεροδρομίων και στην ουσία δηλώνει το μέγιστο αριθμό πτήσεων που μπορούν να προσγειωθούν ή απογειωθούν από ένα αεροδρόμιο σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, υπάρχει και ένα άλλο σύνολο στοιχείων που σχετίζονται με τις δομές του τερματικού σταθμού. Τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν τη χωρητικότητα του εκάστοτε αερολιμένα κατά τη φάση του προγραμματισμού ανάθεσης χρονοθυρίδων και στην υπάρχουσα βιβλιογραφία δεν έχει εξεταστεί αν και κατά πόσο επηρεάζουν το προγραμματισμό ανάθεσης χρονοθυρίδων. Στη παρούσα ενότητα εξετάζουμε κάποια από αυτά τα στοιχεία:

A. Διαφορετική προτεραιότητα σε αυτούς που ζητάνε χρονοθυρίδες όλο το χρόνο έναντι αυτών που ζητάνε για το 6-μηνο.
   Για τους νεοεισερχόμενους αερομεταφορείς καθορίζεται από τη νομοθεσία ότι αν δεν είναι εφικτό να ικανοποιηθούν όλες οι αιτήσεις νέο-εισερχόμενων δίνεται προτεραιότητα στα εμπορικά δρομολόγια και στη περίπτωση ανταγωνιζόμενων αιτήσεων, προτεραιότητα έχουν όσα εκτελούνται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οπότε σε αυτή τη περίπτωση θα πρέπει να γίνεται ένας έλεγχος ιστορικότητας βάσει του προηγούμενου 6μήνου και να καθορίζονται ανάλογα οι προτεραιότητες μεταξύ νέο-εισερχόμενων αερομεταφορέων.

B. Οι διαθέσιμοι χρόνοι χρήσης, που προκύπτουν μετά και την ανάθεση των χρονοθυρίδων με ιστορικά δικαιώματα, πρέπει να κατανεμηθούν εξίσου στους νεοεισερχόμενους 50% και στους μη – νεοεισερχόμενους 50%, εκτός εάν τα αιτήματα των νεοεισερχομένων δεν καλύπτουν το 50% του διαθέσιμου χρόνου χρήσης. Οπότε θα πρέπει να γίνεται πάλι ένας έλεγχος των αιτημάτων νέο-εισερχόμενων & υπολοίπων και αν υπάρχει περίπτωση να είναι περίπου ίδια στον αριθμό και συγχρόνως το σύνολό τους να πλησιάζει ή να υπερβαίνει τις υπολειπόμενες χρονοθυρίδες, τότε να γίνεται έλεγχος του κανόνα.

C. Προτεραιοποίηση των νέο – εισερχόμενων βάσει των 3 κριτηρίων που προβλέπει η νομοθεσία.

   Σύμφωνα με τη νομοθεσία νεοεισερχόμενος είναι:

   i. ο αερομεταφορέας ο οποίος ζητεί διαθέσιμο χρόνο χρήσης από μια σειρά χρόνων χρήσης σε έναν αερολιμένα για κάποια ημέρα, εφόσον, εάν γίνει δεκτό το αίτημά του, θα διαθέτει συνολικά λιγότερους από πέντε διαθέσιμους χρόνους χρήσης σε αυτόν τον αερολιμένα για την συγκεκριμένη ημέρα· ή
   ii. ο αερομεταφορέας ο οποίος ζητεί σειρά διαθεσίμων χρόνων χρήσης για προγραμματισμένο απευθείας επιβατικό δρομολόγιο μεταξύ δύο κοινοτικών αερολιμένων όταν δύο κατ' ανώτατο όριο άλλοι αερομεταφορείς εκτελούν το ίδιο προγραμματισμένο απευθείας δρομολόγιο μεταξύ των αερολιμένων την ίδια ημέρα, και εφόσον παρά ταύτα θα διέθετε, εάν το αίτημά του γινόταν δεκτό, λιγότερους από πέντε χρόνους χρήσης στον αερολιμένα αυτό τη δεδομένη ημέρα για το συγκεκριμένο απευθείας δρομολόγιο· ή
   iii. ο αερομεταφορέας ο οποίος ζητεί μια σειρά διαθεσίμων χρόνων χρήσης σε έναν αερολιμένα για προγραμματισμένο απευθείας επιβατικό δρομολόγιο μεταξύ του αερολιμένα αυτού και ενός περιφερειακού αερολιμένα, όταν κανείς άλλος αερομεταφορέας δεν εκτελεί προγραμματισμένο απευθείας επιβατικό δρομολόγιο μεταξύ των ίδιων αερολιμένων ή των συστημάτων αερολιμένων τη συγκεκριμένη ημέρα, και εφόσον παρά ταύτα θα διέθετε, εάν το αίτημά του γινόταν δεκτό, λιγότερους από πέντε διαθέσιμους χρόνους χρήσης στον αερολιμένα αυτό τη δεδομένη ημέρα για το συγκεκριμένο απευθείας δρομολόγιο.

Όσοι πληρούν το 1ο & το 2ο κριτήριο ή όσοι πληρούν το 1ο & το 3ο έχουν προτεραιότητα σε σχέση με αυτούς που πληρούν μόνο το 1 από αυτά, οπότε θα πρέπει να ελέγχονται τα αιτήματα των νέο-εισερχομένων ποιες και πόσες από τις παραπάνω προϋποθέσεις πληρούν και ανάλογα να γίνεται η προτεραιοποίηση των αιτημάτων τους

D. Η επίπτωση που έχει στο συνολικό προγραμματισμό η απόκλιση ±1 ώρας από τις αρχικές αιτήσεις, αποκλειστικά για τους νεοεισερχόμενους.

   Η νομοθεσία προβλέπει ότι ο νέο-εισερχόμενος αερομεταφορέας έχει υποχρέωση να αποδεχτεί τις χρονοθυρίδες που του εκχωρούνται με απόκλιση ±1 ώρα από το αρχικό αίτημα. Προφανώς δεν είναι εφικτό εκ των προτέρων να προβλεφθεί η συμπεριφορά του νέο-εισερχόμενου μετά την εκχώρηση, αλλά μπορεί ο συγκεκριμένο κανόνας να μπει ως περιορισμός στο total/maximum/aggregated schedule displacement, ανάλογα με το είδος του προς εξέταση προβλήματος. Για τη συγκεκριμένη υποχρέωση των νέο-εισερχόμενων έχει γίνει αναφορά από τους Zografos et al. (2018), αλλά η επίδραση που έχει ο συγκεκριμένος κανόνας στα παραπάνω μεγέθη, εξετάζεται για το σύνολο των αιτημάτων και όχι μόνο για αυτά των νέο-εισερχόμενων.

E. Πόσους επιβάτες μπορεί να διαχειριστεί ένα terminal

   Πόσα άτομα μπορούν να εξυπηρετηθούν (check-in, check-out, μεταφορά από και προς τα αεροσκάφη) εντός μίας χρονικής μονάδας σε ένα αεροδρόμιο ή σε ένα terminal (αν το αεροδρόμιο έχει περισσότερα από 1). Πάνω από αυτό το όριο, δημιουργούνται καθυστερήσεις στην εξυπηρέτηση και κατά συνέπεια μετακυλήσεις πτήσεων.

F. Χώροι στάθμευσης αεροσκαφών γενικά και ειδικά ανάλογα με το είδος/ μέγεθος του αεροσκάφους.

   Πόσα αεροσκάφη, αλλά και το είδος τους (βάσει τύπου αεροσκάφους), μπορούν να σταθμεύσουν ταυτόχρονα στο αεροδρόμιο σε μία μονάδα χρόνου. Το συγκεκριμένο μέγεθος επηρεάζει σημαντικά τη χωρητικότητα του αεροδρομίου, γιατί αν ξεπεραστεί δημιουργούνται καθυστερήσεις και στο έδαφος, αλλά και στον αέρα.

G. Ώρες που λειτουργεί το αεροδρόμιο/Περιβαλλοντικοί περιορισμοί (π.χ. απαγόρευση νυχτερινών πτήσεων ή περιορισμοί θορύβου).

   Επειδή δεν επιχειρούν όλα τα αεροδρόμια 24 ώρες στο προγραμματισμό των πτήσεων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη το χρονικό διάστημα που είναι ανοιχτός ο αερολιμένας. Επιπλέον, μπορεί να υπάρχουν και περιβαλλοντικοί περιορισμοί, όπως επιτρεπτά επίπεδα θορύβου, το οποίο μπορεί να αποκλείει κάποια είδη αεροσκαφών από τη διαδικασία εκχώρησης.

H. Προτεραιότητα σε όσους ζητάνε κάποιες σειρές χρονοθυρίδων έναντι αυτών που ζητάνε σειρές όλη τη περίοδο προγραμματισμού

   Σύμφωνα με τη IATA οι αερομεταφορείς που ζητάνε σειρές χρονοθυρίδων για μία περίοδο προγραμματισμού έχουν προτεραιότητα σε σχέση με αυτούς που ζητάνε για μικρότερο χρονικό διάστημα στην ίδια περίοδο.

I. Παλαιότερα αιτήματα σε σχέση πιο πρόσφατα.

   Σύμφωνα με τη IATA ο χρόνος που πραγματοποιήθηκε μία αίτηση για εκχώρηση χρονοθυρίδων επηρεάζει τη προτεραιότητα των αιτημάτων. Δηλαδή αν ένα αερομεταφορέας υποβάλει τις προτάσεις σχετικά νωρίς για μία περίοδο προγραμματισμού, έχει προτεραιότητα έναντι των άλλων αερομεταφορέων, που υποβάλλουν τα αιτήματα τους χρονικά αργότερα για την ίδια περίοδο προγραμματισμού.

5. Προτεινόμενα μοντέλα

5.1 Βασικές έννοιες & σύμβολα

Το πρόβλημα στρατηγικού σχεδιασμού ανάθεσης χρονοθυρίδων αποτελείται από το σύνολο των αιτημάτων υποδοχής R, το σύνολο των ημερών συντονισμού D (περίοδος συντονισμού) και $T = \{0,1,\ldots,n\text{-}1\}$ το σύνολο των χρονικών διαστημάτων συντονισμού μέσα σε μία ημέρα. Το μήκος του κάθε χρονικού διαστήματος ορίζεται στο παρόν πρόβλημα τα 5 λεπτά.

Ορίζουμε ως A είναι το σύνολο των αεροπορικών εταιρειών που υποβάλλουν αιτήματα χρονοθυρίδων & S είναι το σύνολο των θέσεων επιβατών του κάθε αεροπλάνου.

Κάθε αίτημα για χρονοθυρίδα rϵR περιέχει το ζητούμενο χρονικό διάστημα $\tau_r \epsilon\, T$, το τύπο της κίνησης (άφιξη ή αναχώρηση), το σύνολο των ημερών για τις οποίες ισχύει το αίτημα (το συμβολίζουμε με$D_r (\subseteq D)$), το τύπο του αεροπλάνου και το πλήθος των θέσεων που έχει κάθε αεροπλάνο.

M_r είναι το σύνολο των κινήσεων που αντιστοιχούν αίτημα r.

Τα αιτήματα που υποβάλλονται από μία αεροπορική εταιρεία $\alpha \epsilon A$ συμβολίζονται με R_α και οι κινήσεις που σχετίζονται με το συγκεκριμένο αίτημα συμβολίζονται με M_α. Στα σενάρια που θα εξετάσουμε, θα αναφερόμαστε σε ζεύγη συνδεδεμένων αιτημάτων υποδοχής (linked requests). Δύο αιτήσεις για χρονοθυρίδες θεωρούνται συνδεδεμένες όταν οι αντίστοιχες κινήσεις (άφιξη - αναχώρηση), εκτελούνται από το ίδιο αεροσκάφος ή μοιράζονται κοινούς επιβάτες την ίδια ημερολογιακή ημέρα. Δηλαδή η άφιξη συνδέεται με την αναχώρηση αν η άφιξη προηγείται της αναχώρησης και το αεροσκάφος που προσγειώνεται χρησιμοποιείται για τη κίνηση της αναχώρησης ή οι επιβάτες που φτάνουν πρέπει να μεταφερθούν στη συνδεδεμένη μετακίνηση αναχώρησης.

Στο Πίνακα 1 παρουσιάζεται ένα απόσπασμα μίας λίστας συνδεδεμένων αιτημάτων για χρονοθυρίδες. Κάθε σειρά του πίνακα παρουσιάζει ένα ζευγάρι συνδεδεμένων αιτημάτων υποδοχής. Στη 1η στήλη είναι ο αριθμός πτήσης της άφιξης και στη στήλη 'Requested Arrival Time' η αιτούμενη ώρα άφιξης. Στη 2η στήλη ο αριθμός της πτήσης αναχώρησης και στη στήλη 'Requested Departure Time' η αιτούμενη ώρα αναχώρησης. Στη 3η & 4η στήλη είναι το χρονικό διάστημα για το οποίο θα επιχειρεί η συγκεκριμένη πτήση. Αντίστοιχα στη στήλη 'Days of Operation' η ημέρα ή ημέρες στις οποίες θα πραγματοποιείται η πτήση. Για παράδειγμα στη 2η γραμμή υποδηλώνεται ότι η αιτούμενη πτήση, θα πραγματοποιείται τη 2η ημέρα της εβδομάδας, δηλαδή κάθε Τρίτη για το χρονικό διάστημα 16/06 – 30/06. Στη στήλη 'seats' είναι το πλήθος θέσεων επιβατών του αεροσκάφους και στη στήλη 'Aircraft Type' ο τύπος του (π.χ. Boeing, AirBus).

Arrival Flight Number	*Departure Flight Number*	*From*	*To*	*Days of Operation*	*Seats*	*Aircraft Type*	*Requested Arrival Time*	*Requested Departure Time*
OK6436	OK6437	16 JUN	30 JUN	0 2 0 0 0 0 0	162	737	12:55	13:55
OK6436	OK6437	05 JUN	30 JUN	0 0 0 0 5 0 0	162	737	13:10	14:10
OK6582	OK6583	06 JUN	30 JUN	0 0 0 0 0 6 0	162	737	15:10	16:10
SK7587	SK7588	05 APR	12 APR	0 0 0 0 0 0 7	150	M81	07:35	08:35
SK7587	SK7588	19 APR	30 JUN	0 0 0 0 0 0 7	150	M81	07:35	08:35
SK7271	SK7272	03 MAY	30 JUN	0 0 0 0 0 0 7	150	M81	08:10	09:10

Πίνακας 1 - Παράδειγμα συνδεδεμένων αιτημάτων

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

P είναι το σύνολο των συνδεδεμένων αιτημάτων $(r_1, r_2) \in P$ $με$ $r_1, r_2 \in R$ όπου $\tau_{r_1} < \tau_{r_2}$. Το χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο συνδεδεμένων αιτημάτων r_1, r_2 πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το χρονικό διάστημα ολοκλήρωσης (turnaround time), δηλαδή το ελάχιστο χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη πραγματοποίηση δύο συνδεδεμένων πτήσεων και το οποίο συμβολίζουμε με s_{r_1,r_2}.

Η χωρητικότητα του αεροδρομίου συμβολίζεται με q_{td}^c όπου $c \epsilon C = \{0, 1, 2\}$ οι τύποι της κίνησης με το 0 να αντιστοιχεί στις αφίξεις, το 1 στις αναχωρήσεις και το 2 στο σύνολο των κινήσεων. Ο αριθμός q_{td}^c δηλώνει το πλήθος των κινήσεων που μπορεί να εξυπηρετήσει το αεροδρόμιο, εντός μίας οποιασδήποτε χρονικής περιόδου T_c^t = {t, t+1,…, t+t_c-1} μήκους t_c.

Συμβολίζουμε με λ_{dep} το χρονικό διάστημα μεταξύ της χρονικής στιγμής έναρξης της επιβίβασης και της τροχοδρόμησης του αεροσκάφους και με κ_{dep} το χρονικό διάστημα που παραμένουν οι επιβάτες στο τερματικό σταθμό πριν την επιβίβασή τους στο αεροπλάνο. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα θεωρούμε ότι $\lambda_{dep} = 10'$ & $\kappa_{dep} = 50'$ αντίστοιχα.

Συμβολίζουμε με λ_{arr} το χρονικό διάστημα μεταξύ της χρονικής στιγμής προσγείωσης του αεροσκάφους και αποβίβασης των επιβατών στον τερματικό σταθμό και με κ_{arr} το χρονικό διάστημα που παραμένουν οι επιβάτες στο τερματικό σταθμό μετά την αποβίβασή τους από το αεροπλάνο. Στο συγκεκριμένο πρόβλημα θεωρούμε ότι $\lambda_{arr} = 10'$ & $\kappa_{arr} = 20'$ αντίστοιχα

Τέλος, συμβολίζουμε με $R_{GF} \subseteq R$ είναι το σύνολο των αιτημάτων με ιστορικά δικαιώματα. Κάθε αίτημα $r \in R_{GF}$ θα οριστεί σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα $\tau_r \epsilon T_r (T_r = T$ αν $r \notin R_{GF})$ το οποίο είναι αυτό που έχει ζητήσει η εκάστοτε αεροπορική εταιρεία $\alpha \in A$.

Επιπλέον θα παρουσιάσουμε τις έννοιες: (α) της μετατόπισης χρονοδιαγράμματος (schedule displacement), (β) της αθροιστικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος (aggregated schedule displacement), (γ) των βιαίως μετατοπισμένων αιτημάτων (violated requests), (δ) την έννοια της υπερβολικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος (excess displacement) & (ε) την έννοια της θεμιτής μετατόπισης (legitimate displacement), όπως έχουν οριστεί από τους Androutsopoulos and Madas (2019). Αναλυτικότερα:

Έστω ότι μία αεροπορική εταιρεία $\alpha \in A$, υποβάλει ένα αίτημα για χρονοθυρίδα το χρονικό σημείο $\tau_r, r \in R$ και τ το χρονικό σημείο όπου ανατέθηκε τελικά το αίτημα, τότε η χρονική διαφορά που υπάρχει μεταξύ του αρχικού αιτήματος και του χρόνου που ανατέθηκε τελικά το αίτημα συμβολίζεται $f_{r\tau}$, ονομάζεται ***μετατόπιση χρονοδιαγράμματος*** και δίνεται από τον τύπο:

$$f_{r\tau} = |\tau_r - \tau| \quad (1)$$

Η μετατόπιση χρονοδιαγράμματος, αναφέρεται στη μετατόπιση που υπόκειται ένα αίτημα για μία μόνο ημέρα εντός της περιόδου συντονισμού. Για να υπολογίσουμε τη μετατόπιση που υπόκειται ένα αίτημα καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου συντονισμού, ορίζουμε την ***αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος,*** η οποία υπολογίζεται από τον τύπο:

$$F_{r\tau} = \sum_{d \in D} f_{r\tau} \cdot \delta_{rd} \quad (2)$$

Όπου δ_{rd} $r \in R, d \in D$ είναι μία δυαδική μεταβλητή, που παίρνει τη τιμή 1 αν η ημερολογιακή ημέρα $d \in D_r$, όπου το αίτημα r είναι ενεργό και 0 διαφορετικά.

Έστω τώρα ότι κάθε αεροπορική εταιρεία $\alpha \in A$ έχει ένα επίπεδο ανοχής, εντός του οποίου μπορεί να αποδεχτεί μετατόπιση ενός αιτήματός της. Αυτό το επίπεδο ανοχής κάθε αεροπορικής εταιρείας το συμβολίζουμε με ξ_r. Τότε αν ένα αίτημα ανατίθεται σε ένα χρονικό διάστημα τ το οποίο είναι μεγαλύτερο από το $\tau_r + \xi_r$ η μικρότερο από το $\tau_r - \xi_r$ δηλαδή $\tau \notin [\tau_r - \xi_r, \tau_r + \xi_r]$,

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ονομάζεται ***βιαίως μετατοπισμένο αίτημα***. Ειδικά το κομμάτι της μετατόπισης που εκτείνεται μετά το χρονικό σημείο $\tau > \tau_r + \xi_r$ή $\tau < \tau_r - \xi_r$ ονομάζεται ***υπερβολική μετατόπιση***, συμβολίζεται με $f_{r\tau}^{e}$ και δίνεται από τον τύπο

$$f_{r\tau}^{e} = \begin{cases} \tau - (\tau_r + \xi_r), & \tau > \tau_r + \xi_r \\ \tau_r - \xi_r - \tau, & \tau < \tau_r - \xi_r \\ 0, & \tau \in [\tau_r - \xi_r, \tau_r + \xi_r\,] \end{cases} \quad (3)$$

Η μετατόπιση που υπόκειται ένα αίτημα και η οποία γίνεται εντός των ορίων ανοχής δηλ. $\tau \in [\tau_r - \xi_r, \tau_r + \xi_r\,]$ ονομάζεται ***θεμιτή μετατόπιση.***

5.2 1ο μοντέλο προγραμματισμού ανάθεσης χρονοθυρίδων

Στόχος του 1ου μοντέλου (P1) που θα εξετάσουμε είναι η ελαχιστοποίηση της αθροιστικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος για μία περίοδο συντονισμού και επιπλέον πως η ύπαρξη ή μη ιστορικών δικαιωμάτων, επηρεάζει αυτό το μέγεθος. Παράλληλα εισάγεται ένας νέος περιορισμός που σχετίζεται με τις υποδομές του τερματικού σταθμού και συγκεκριμένα το πλήθος των επιβατών που μπορεί να εξυπηρετήσει το αεροδρόμιο στη μονάδα του χρόνου. Το προτεινόμενο μοντέλο ορίζεται ως ακολούθως:

$$(\text{P1})\ min\ Z_1\ (x) = \sum_{r\in R}\ \sum_{\tau\in T} x_{r\tau}\ \cdot\ F_{r\tau} \quad (4)$$

Με Τους Περιορισμούς (Μ.Τ.Π.)

$$\sum_{\tau\in T} x_{r\tau} = 1,\ \ \forall r \in R \quad (5)$$

$$x_{r\tau_r} = 1,\ \ \forall r \in R_{GF} \quad (6)$$

$$\sum_{\tau\notin T_r} x_{r\tau} = 0,\ \ \forall r \in R_{GF} \quad (7)$$

$$\sum_{r\in R_{arr}}\ \sum_{\tau\in T_0^S} \delta_{rd}\ \cdot\ x_{r\tau}\ \le\ q_{td}^{0} \qquad c = 0 \in C, d \in D, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{r\in R_{dep}}\ \sum_{\tau\in T_1^S} \delta_{rd}\ \cdot\ x_{r\tau}\ \le\ q_{td}^{1} \qquad c = 1 \in C, d \in D, t \in T \quad (9)$$

$$\sum_{r\in R}\ \sum_{\tau\in T_2^S} \delta_{rd}\ \cdot\ x_{r\tau}\ \le\ q_{td}^{2} \qquad c = 2 \in C, d \in D, t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{\tau\in\{0,1,\dots,k-1]} x_{r_2\tau} + \sum_{\tau\in\{k-s_{r_1,r_2},\dots,|T|-1\}} x_{r_2\tau} \le 1, (r_1, r_2) \in P\ \mu\varepsilon\ r_1\ \in R_{arr}, r_2\ \in R_{dep} k \in \{s_{r_1,r_2}, \dots, |T|-1\}\ (11)$$

$$\omega_\tau = \sum_{s=\tau+\lambda_{dep}}^{\tau+\lambda_{dep}+\kappa_{dep}} x_{rs} \cdot \delta_{rd} \cdot s_{rd} + \sum_{s=\tau-\lambda_{arr}}^{\tau-\lambda_{arr}-\kappa_{arr}} x_{rs} \cdot \delta_{rd} \cdot s_{rd} \leq L, \tau \in \{\lambda_{dep}+1, .., n-1\} \quad (12)$$

$$x_{r\tau} \in \{0,1\} \quad (13)$$

Όπου:

$x_{r\tau} = \{0,1\}\, r \in R, t \in T$

$x_{r\tau} = \begin{cases} 1 \text{ αν το αίτημα r αποδίδεται το χρονικό διάστημα τ } \in T \\ 0 \text{ διαφορετικά} \end{cases}$

$\delta_{rd} = \{0,1\}\, r \in R, d \in D$ με

$\delta_{rd} = \begin{cases} 1 \text{ αν η ημέρα d } \in D_r \\ 0 \text{ διαφορετικά (δηλ. } d \notin D_r) \end{cases}$

ω_τ το πλήθος των επιβατών που είναι παρόντες στο τερματικό σταθμό το χρονικό διάστημα τ.

s_{rd} είναι το πλήθος των θέσεων/ επιβατών που εξυπηρετεί κάθε αεροσκάφος

Η αντικειμενική συνάρτηση (4) εκφράζει την αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος

Οι περιορισμοί (5) – (11) & (13) είναι οι ίδιοι που χρησιμοποιούνται από τους Zografos et al. (2018), Androutsopoulos and Madas (2019).

Ο περιορισμός (5) εξασφαλίζει ότι κάθε αίτημα χρονοθυρίδας, θα ανατεθεί σε ένα μόνο χρονικό διάστημα συντονισμού.

Οι περιορισμοί (6) & (7), εξασφαλίζουν τη χρήση ιστορικών δικαιωμάτων και είναι οι ίδιοι που χρησιμοποιούνται από τους Zografos et al. (2018).

Οι περιορισμοί (8), (9), (10) εξασφαλίζουν ότι το πλήθος των αιτημάτων που αφορούν αφίξεις (8), αναχωρήσεις (9) & συνολικές κινήσεις (10) σε κάθε χρονική περίοδο t_c δε ξεπερνάει τη δηλωμένη χωρητικότητα του αεροδρομίου $q_{td}^{\mathcal{C}}$ για το είδος της κίνησης.

Ο περιορισμός (11) εξασφαλίζει ότι μεταξύ δύο συνδεδεμένων κινήσεων, θα υπάρχει χρονική απόσταση τουλάχιστον ίση με το turnaround time.

Ο περιορισμός (12) εξασφαλίζει ότι για κάθε χρονική περίοδο εύρους t_c το πλήθος των επιβατών που εξυπηρετεί το αεροδρόμιο δε θα ξεπερνάει τον αριθμό L, όπου ο αριθμός L δηλώνει το μέγιστο αριθμό επιβατών που μπορεί να εξυπηρετήσει ο τερματικός σταθμός. Στη παρούσα εργασία θεωρούμε ότι όλα τα αεροσκάφη έχουν πληρότητα 100%.

Ο περιορισμός (13) εξασφαλίζει ότι η μεταβλητή $x_{r\tau}$ παίρνει μόνο τις τιμές 0 ή 1 (δυαδική).

5.3 2ο μοντέλο προγραμματισμού ανάθεσης χρονοθυρίδων

Στόχος του 2ου μοντέλου (P2) που θα εξετάσουμε είναι η ελαχιστοποίηση της μέγιστης υπερβολικής μετατόπισης για μία περίοδο συντονισμού με και χωρίς εφαρμογή ιστορικών δικαιωμάτων. Το προτεινόμενο μοντέλο ορίζεται ως εξής:

$$(\text{P2})\ min\ Z_2(x) = \sum_{d\in D}\sum_{r\in D}\sum_{\tau\in T} x_{r\tau}\cdot f^{e}_{r\tau}\cdot\ \delta_{rd} \qquad (14)$$

Μ.Τ.Π.

(5) – (13)

Όπου:

Η αντικειμενική συνάρτηση $Z_2(x)$ εκφράζει τη μέγιστη υπερβολική μετατόπιση σε κάθε αίτημα.

6. Επίλυση προβλημάτων & αποτελέσματα

Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την επίλυση των προβλημάτων και γίνεται παρουσίαση και επεξήγηση των αποτελεσμάτων για το κάθε ένα από τα παραπάνω προβλήματα βελτιστοποίησης.

6.1 Δεδομένα προβλήματος

Τα δεδομένα του προβλήματος που χρησιμοποιούνται για την επίλυση των προβλημάτων αφορούν το αεροδρόμιο των Χανιών (CHQ). Το αεροδρόμιο των Χανίων εξυπηρετεί ετησίως περίπου 3.000.000 επιβάτες και 20.500 πτήσεις, με την υψηλότερη κίνηση να παρατηρείται τη θερινή περίοδο από Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο, όπου εξυπηρετεί περίπου 2.250.000 επιβάτες & 14.600, δηλαδή το 75% της συνολικής ετήσιας κίνησης επιβατών και το 71% των πτήσεων. Οι ώρες λειτουργίας του είναι από Δευτέρα – Σάββατο 06:30 – 20:30 & τις Κυριακές από 08:30 – 20:30 (Αερολιμένας Χανίων, στοιχεία 2019).

Τα δεδομένα του προβλήματος αναφέρονται στη θερινή περίοδο προγραμματισμού και συγκεκριμένα για το χρονικό διάστημα από 29/03 έως 30/06/2008, αποτελούνται από 632 αιτήματα υπό τη μορφή 350 ζευγών αιτημάτων, τα οποία έχουν υποβληθεί από 42 αερομεταφορείς και αφορούν συνολικά 5.776 κινήσεις. Από το σύνολο των αιτημάτων τα 108 αφορούν αιτήματα με ιστορικά δικαιώματα (GRF) & τα υπόλοιπα 242 διάφορους τύπους αιτημάτων (NGFR).

Θα εξετάσουμε δύο βασικούς στόχους:

a. Την ελαχιστοποίηση της αθροιστικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος (aggregated schedule displacement) &
b. Την ελαχιστοποίηση της μέγιστης υπερβολικής μετατόπισης ανά αίτημα (excess displacement).

Για το κάθε στόχο θα εξεταστούν δύο εναλλακτικά σενάρια:

- Με εφαρμογή των ιστορικών δικαιωμάτων (σενάριο GFR)
- Χωρίς εφαρμογή των ιστορικών δικαιωμάτων για κανένα αίτημα (σενάριο NGFR)

Και για το κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια θα διερευνήσουμε το αντίκτυπο της εφαρμογής του περιορισμού των ιστορικών δικαιωμάτων στους βασικούς μας στόχους. Κάθε σενάριο (GFR & NGRF) θα εξεταστεί σε διαφορετικά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας, έχοντας ως αφετηρία τη δηλωμένη χωρητικότητα, που καθορίζεται από το συντονιστή του συγκεκριμένου αεροδρομίου (CHQ) 5 αναχωρήσεις (ARR) – 5 αφίξεις (DEP) – 10 συνολικές κινήσεις (TOTAL), ανά ώρα.

Στη συνέχεια θα χαλαρώσουμε το περιορισμό της χωρητικότητας και θα εξετάσουμε τις επιπτώσεις της εφαρμογής των ιστορικών δικαιωμάτων για τις ακόλουθες περιπτώσεις χωρητικότητας:

- 6 αναχωρήσεις (ARR) – 6 αφίξεις (DEP) – 12 συνολικές κινήσεις (TOTAL)
- 7 αναχωρήσεις (ARR) – 7 αφίξεις (DEP) – 14 συνολικές κινήσεις (TOTAL)

Παράλληλα και για τα δύο σενάρια (GFR & NGFR), αλλά και για τα διαφορετικά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας, εξετάζουμε πως επηρεάζει τους βασικούς μας στόχους η χωρητικότητα του terminal, δηλαδή το πλήθος των επιβατών που μπορούν να εξυπηρετήσουν οι υποδομές του αεροδρομίου στη μονάδα του χρόνου. Ξεκινώντας από υψηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού 800 επιβάτες ανά ώρα (όπου πρακτικά δεν επηρεάζει τους βασικούς μας στόχους) στη συνέχεια θα τη μειώνουμε ανά 50 άτομα καταλήγοντας σε πλήθος 400 επιβατών ανά μονάδα χρόνου. Ειδικά για το 2ο πρόβλημα (ελαχιστοποίηση υπερβολικής μετατόπισης), θα φτάσουμε

μέχρι το πλήθος των 300 επιβατών ανά ώρα, καθώς όπως θα δούμε για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας η υπερβολική μετατόπιση μηδενίζεται.

Στη παρούσα μελέτη το χρονικό διάστημα συντονισμού 5 λεπτά. Το όριο ανοχής των αεροπορικών εταιρειών ορίζεται στη 1 ώρα (δηλαδή 12 χρονικά διαστήματα) και ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται μεταξύ της άφιξης και της αναχώρησης δύο συνδεδεμένων πτήσεων είναι επίσης 1 ώρα (turnaround time). Επιπλέον θεωρούμε ότι το αεροδρόμιο επιχειρεί 24 ώρες το 24ωρο, όλες τις ημέρες της εβδομάδας.

Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει μία σύνοψη των κύριων δεδομένων προγραμματισμού χρονοθυρίδων για το υπό εξέταση αεροδρόμιο & για την υπό εξέταση χρονική περίοδο συντονισμού.

Όλα τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με γλώσσα προγραμματισμού Java 15 σε H/Y Intel Core 2.7 GHz & 16GB RAM.

Ο μέσος υπολογιστικός χρόνος για το 1ο πείραμα ήταν 4,14 λεπτά και για το 2ο πείραμα 4,83 λεπτά.

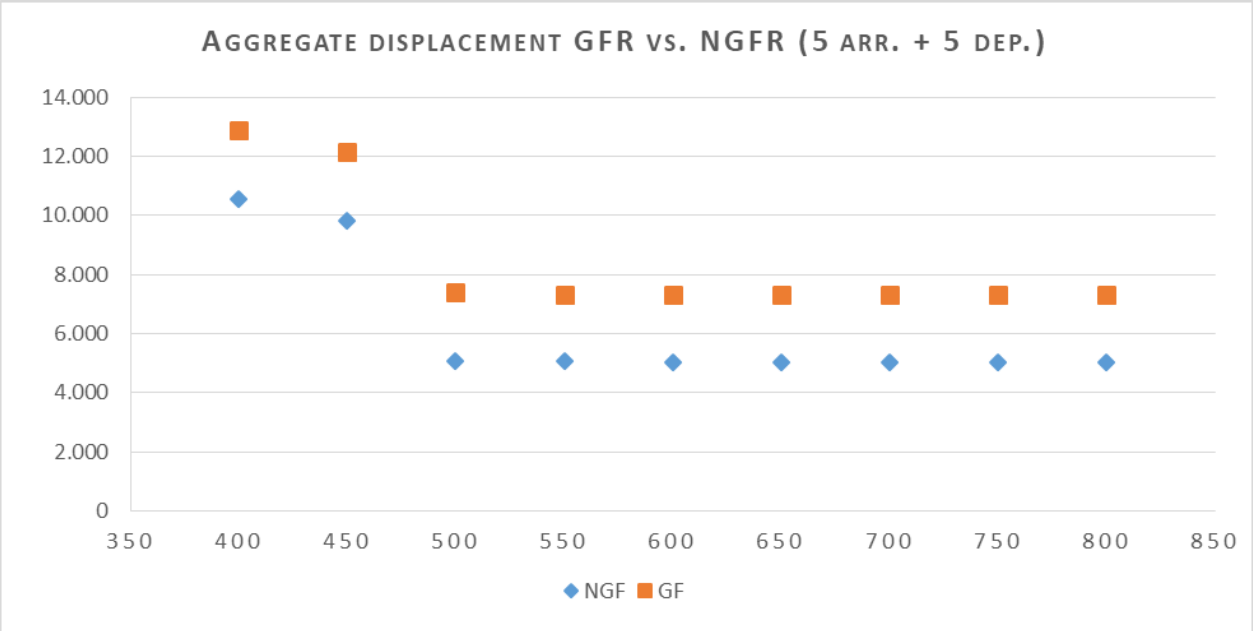
Τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν έχουν σκοπό να επιτρέψουν στο συντονιστή αεροδρομίου, να έχει μία σαφή εικόνα των πλεονεκτημάτων (σε όρους απόδοσης προγραμματισμού χρονοθυρίδων) από τη χαλάρωση της δηλωμένης χωρητικότητας ή ακόμα και του περιορισμού των ιστορικών δικαιωμάτων (όπου αυτό είναι εφικτό), αλλά και του κόστους (πάλι σε όρους απόδοσης προγραμματισμού), που μπορεί να προκύψει εξ' αιτίας των προληπτικών μέτρων κατά του κορονοϊού (Covid - 19).

Υπό εξέταση Αεροδρόμιο	***Πλήθος αερομεταφορέων***	***Πλήθος αιτημάτων***	***Περίοδος Συντονισμού***	***Δηλωμένη χωρητικότητα (ανά ώρα)***
CHQ – Χανίων «Ιωάννης Δασκαλογιαννάκης»	*42*	*5.776* *108 GFR* *242 NGFR*	*29/03 – 30/06* *24ωρη λειτουργία* *Δευτ. - Κυριακή*	*Δηλωμένη Χωρητικότητα* *5 ARR* *5 DEP* *10 TOTAL* *2ο σενάριο* *6 ARR* *6 DEP* *12 TOTAL* *3ο σενάριο* *7 ARR* *7 DEP* *14 TOTAL*

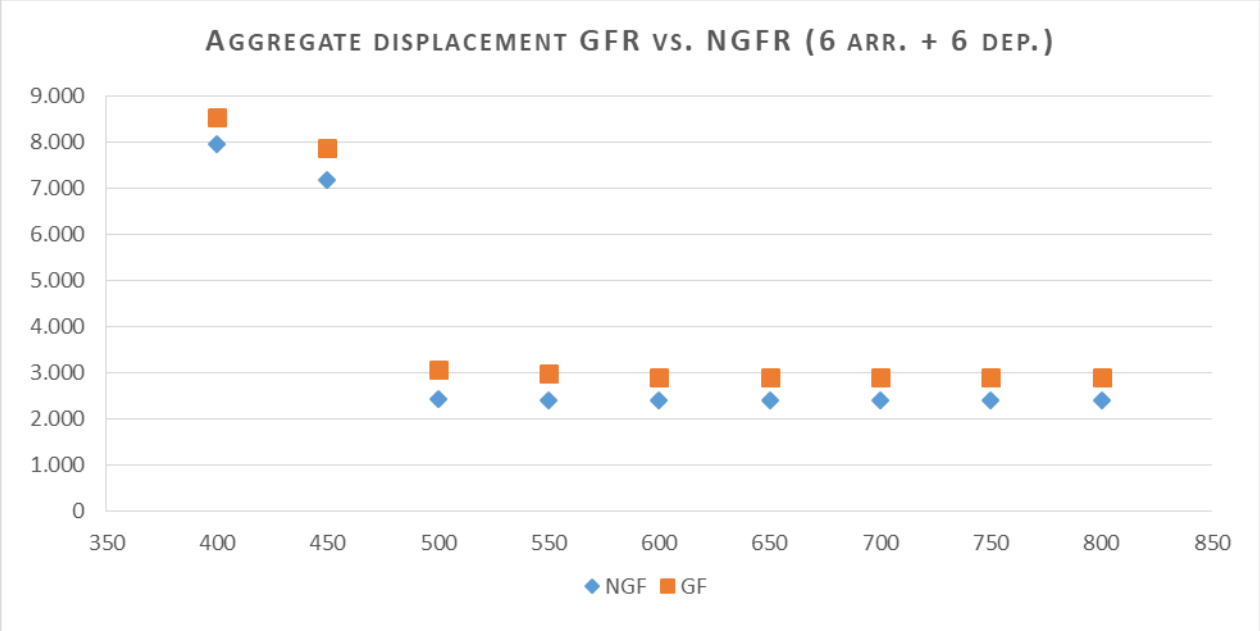
Πίνακας 2 – Συνοπτική περιγραφή δεδομένων προβλήματος

6.2 Αποτελέσματα 1ου προβλήματος

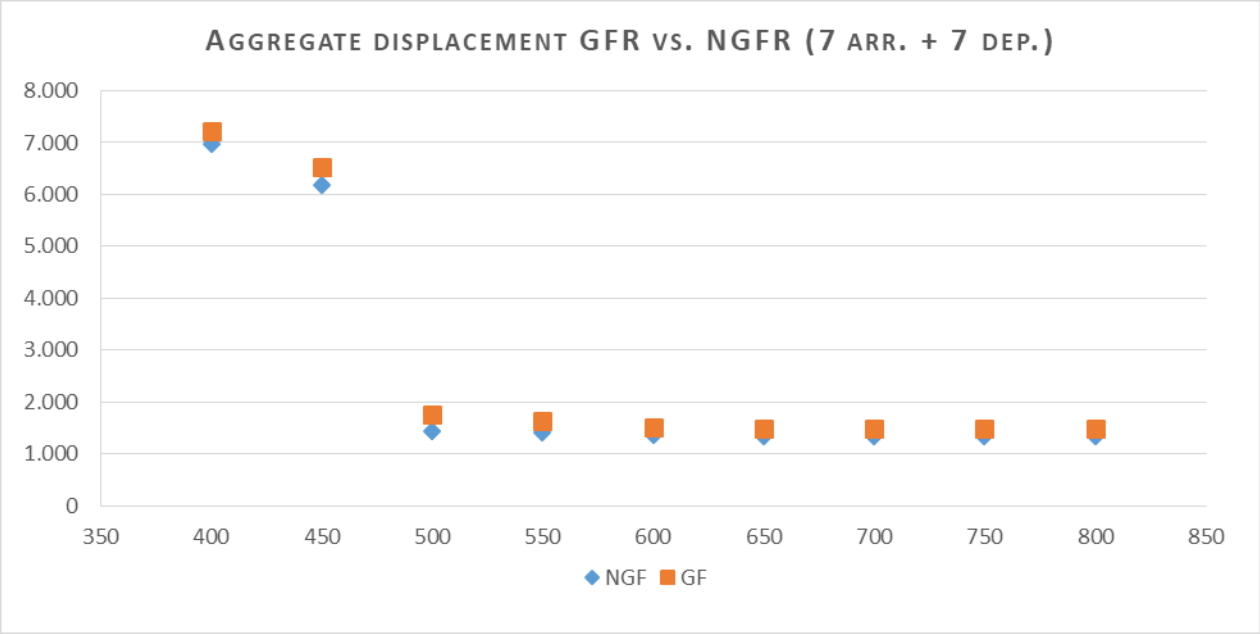
Στο 1ο πρόβλημα εξετάζουμε τις συνέπειες της ύπαρξης ή μη ιστορικών δικαιωμάτων στην αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος (aggregated schedule displacement). Στα γραφήματα 1, 2 & 3 αποτυπώνονται τα αποτελέσματα του πειράματος για διαφορετικά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας και για διαφορετικά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (terminal).



Γράφημα 1 –Αθροιστική μετατόπιση (GFR vs. NGFR) για χωρητικότητα (5 ARR – 5 DEP – 10 TOT)



Γράφημα 2 –Αθροιστική μετατόπιση (GFR vs. NGFR) για χωρητικότητα (6 ARR – 6 DEP – 12 TOT)



Γράφημα 3 –Αθροιστική μετατόπιση (GFR vs. NGFR) για χωρητικότητα (7 ARR – 7 DEP – 14 TOT)

Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι σε κάθε περίπτωση η χρήση των ιστορικών δικαιωμάτων λειτουργεί εις βάρος της αποδοτικότητας του προγράμματος για κάθε επίπεδο δηλωμένης χωρητικότητας και για κάθε επίπεδο χωρητικότητας τερματικού σταθμού, με αυτό να είναι λιγότερο έντονο στο επίπεδο της υψηλότερης δηλωμένης χωρητικότητας 7 ARR – 7 DEP – 14 TOT. Αναλυτικότερα:

i. <u>Δηλωμένη χωρητικότητα 5 ARR – 5 DEP – 10 TOT</u>

Η αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος είναι από 22% - 45,5% υψηλότερη με την εφαρμογή ιστορικών δικαιωμάτων. Επίσης παρατηρούμε ότι για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (από 500 – 800 επιβάτες) η αθροιστική μετατόπιση είναι κατά 45% υψηλότερη όταν εφαρμόζουμε τα ιστορικά δικαιώματα, ενώ για τα χαμηλότερα επίπεδα χωρητικότητας (400, 450 επιβάτες), η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων μειώνεται περίπου στο μισό δηλαδή 22% - 24% (Appendix 2 – Πίνακας 4).

Ένα άλλο σημαντικό εύρημα είναι ότι ενώ για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (800 – 500 επιβάτες) δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα η αθροιστική μετατόπιση (δεξί άκρο Γραφήματος 1) και για τα δύο σενάρια (GFR & NGFR), η οποία κυμαίνεται από 7.300 – 7.313 χρονικά διαστήματα στο σενάριο GFR & από 5.039 – 5.073 στο NGFR σενάριο, στα χαμηλά επίπεδα χωρητικότητας (400, 450 επιβάτες) η αθροιστική μετατόπιση αυξάνεται περίπου σε 10.000 – 13.000 χρονικά διαστήματα (αριστερό άκρο Γραφήματος 1). Δηλαδή μία μείωση 10% στη χωρητικότητα τερματικού σταθμού επιφέρει αύξηση στη αθροιστική μετατόπιση κατά 93% - 108% στο σενάριο χωρίς τη χρήση ιστορικών δικαιωμάτων (NGFR) & 64% - 75% στο GFR σενάριο (Appendix 2 – Πίνακας 12).

ii. <u>Δηλωμένη χωρητικότητα 6 ARR – 6 DEP – 12 TOT</u>

Και σε αυτό το πιο ‘χαλαρό’ επίπεδο χωρητικότητας η αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος εξακολουθεί να είναι ψηλότερη με τη χρήση των ιστορικών δικαιωμάτων, αλλά πλέον οι διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων για τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού είναι πολύ μικρότερες. Συγκεκριμένα σε αυτή τη περίπτωση η διαφορά στην αθροιστική μετατόπιση μεταξύ των δύο σεναρίων (GFR vs. NGFR) κυμαίνεται από 7% - 21%. Επίσης παρατηρούμε ότι για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (από 500 – 800

επιβάτες) η αθροιστική μετατόπιση είναι κατά 21% - 25% υψηλότερη όταν εφαρμόζουμε τα ιστορικά δικαιώματα, ενώ για τα χαμηλότερα επίπεδα χωρητικότητας (400, 450 επιβάτες), η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων ελαττώνεται σε λιγότερο από το μισό (περίπου 7% - 10%). Επιπλέον σε αυτό το πιο χαλαρό σενάριο παρατηρούμε ότι η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων για τα ίδια επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού είναι περίπου 500 χρονικά διαστήματα, σε αντίθεση με τα περίπου 2.300 χρονικά διαστήματα διαφοράς μεταξύ των δύο σεναρίων (GFR - NGFR) στη περίπτωση της περιορισμένης χωρητικότητας: 5 ARR – 5 DEP – 10 TOT (Appendix 2 – Πίνακας 5).

Επίσης και σε αυτό το επίπεδο χωρητικότητας παρατηρούμε ότι ενώ για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (800 – 500 επιβάτες) δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα η αθροιστική μετατόπιση (δεξί άκρο Γραφήματος 2) και για τα δύο σενάρια (GFR & NGFR), η οποία κυμαίνεται από 2.900 – 3.000 χρονικά διαστήματα στο σενάριο GFR & είναι περίπου 2.400 στο NGFR σενάριο, στα χαμηλά επίπεδα χωρητικότητας (400, 450 επιβάτες) η αθροιστική μετατόπιση αυξάνεται περίπου σε 7.000 – 8.500 χρονικά διαστήματα (αριστερό άκρο Γραφήματος 2). Δηλαδή μία μείωση 10% στη χωρητικότητα τερματικού σταθμού επιφέρει αύξηση στη αθροιστική μετατόπιση κατά 194% - 226% στο σενάριο χωρίς τη χρήση ιστορικών δικαιωμάτων (NGFR) & 156% - 178% στο GFR σενάριο (Appendix 2 – Πίνακας 13).

Τέλος παρατηρούμε ότι η αύξηση της δηλωμένης χωρητικότητας επιφέρει μείωση στην αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος από 24% - 52% στο NGFR & 34 – 60% στο GFR σενάριο, ανάλογα με τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (Appendix 2 – Πίνακας 7).

iii. Δηλωμένη χωρητικότητα 7 ARR – 7 DEP – 14 TOT

Τέλος σε αυτή τη περίπτωση όπου η δηλωμένη χωρητικότητα είναι αρκετά υψηλή παρατηρούμε πάλι ότι η αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος εξακολουθεί να είναι ψηλότερη με τη χρήση των ιστορικών δικαιωμάτων, αλλά πλέον οι διαφορές μεταξύ των δύο σεναρίων είναι αμελητέες. Συγκεκριμένα οι διαφορές σε απόλυτες τιμές μεταξύ των δύο σεναρίων (GFR vs. NGFR) κυμαίνονται από 134 – 362 χρονικά διαστήματα (Appendix 2 – Πίνακας 6).

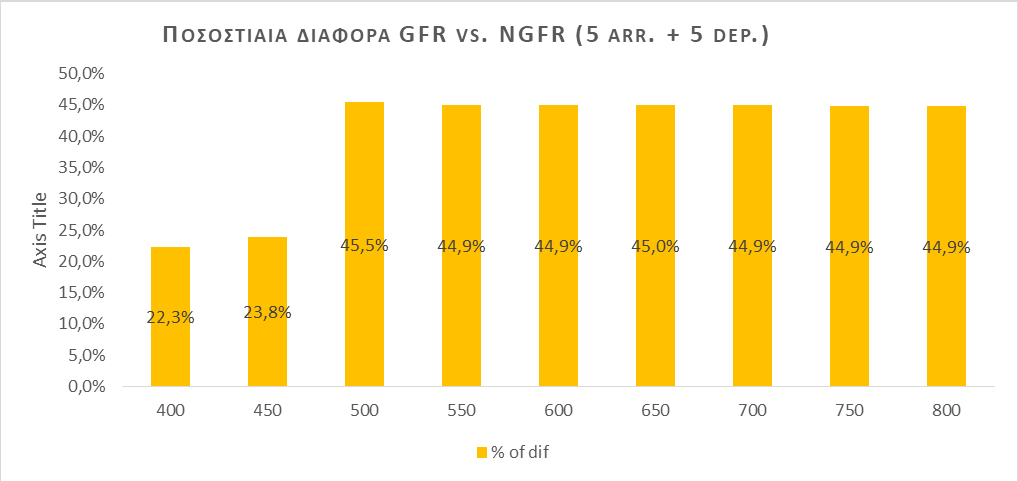
Αυτό που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αυτή τη περίπτωση είναι ότι ενώ κατ' αναλογία με τις απόλυτες διαφορές και η ποσοστιαία διαφορά είναι μικρή μεταξύ των δύο σεναρίων στα περισσότερα από τα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού, για τα επίπεδα χωρητικότητας 500 & 550 επιβατών η ποσοστιαία διαφορά εκτοξεύεται από το 6% στο 21% και στη συνέχεια – όσο η χωρητικότητα αυξάνεται από 600 επιβάτες και πάνω – πέφτει σχεδόν κατακόρυφα στο 10% (Γράφημα 6). Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι ο ρυθμός που μειώνεται η αθροιστική μετατόπιση ανάλογα με τα διάφορα επίπεδα επιβατών είναι μεγαλύτερος για το σενάριο NGFR, σε σχέση με το σενάριο GFR, το οποίο είναι και πιο περιορισμένο. Ειδικά για το επίπεδο των 500 επιβατών – το οποίο όπως φαίνεται και από όλες τις περιπτώσεις δηλωμένης χωρητικότητας είναι το σημείο από το οποίο και μετά η αθροιστική μετατόπιση δεν μεταβάλλεται σημαντικά – ο ρυθμός μεταβολής από 450 σε 500 επιβάτες είναι 76,8% για το σενάριο NGFR & 73,2% για το GFR σενάριο (Appendix 2 – Πίνακας 15). Το ίδιο συμβαίνει και στις περιπτώσεις χαμηλότερης χωρητικότητας (Γράφημα 4 & Γράφημα 5), αλλά δεν είναι τόσο έντονο όσο στο σενάριο (7 ARR – 7 DEP – 14 TOT), το οποίο είναι και πιο χαλαρό.

Επιπλέον και σε αυτό το επίπεδο χωρητικότητας παρατηρούμε ότι ενώ για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (800 – 500 επιβάτες) δεν επηρεάζεται ιδιαίτερα η αθροιστική μετατόπιση (δεξί άκρο Γραφήματος 2) και για τα δύο σενάρια (GFR & NGFR), η οποία κυμαίνεται από 1.500 – 1.750 χρονικά διαστήματα στο σενάριο GFR & από 1.400 – 1.450 στο NGFR σενάριο, στα χαμηλά επίπεδα χωρητικότητας (400, 450 επιβάτες) η αθροιστική μετατόπιση αυξάνεται

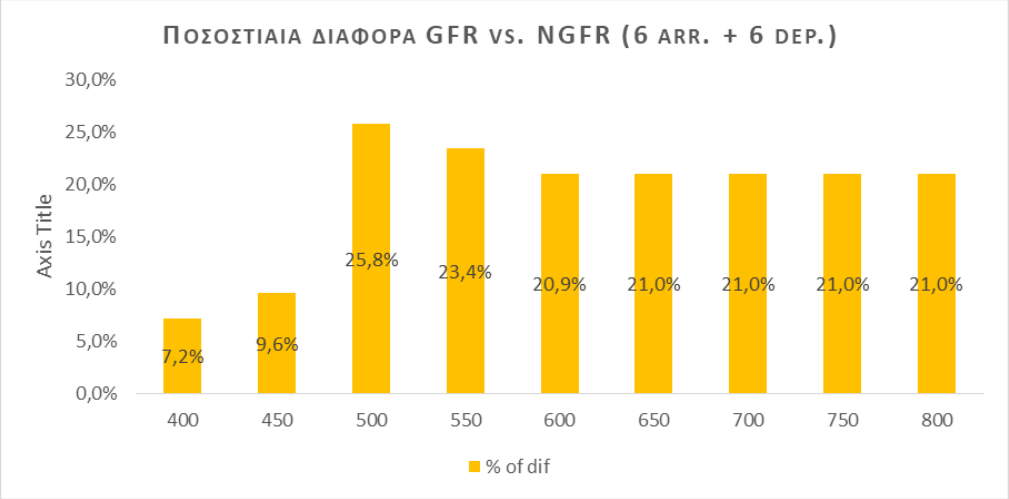
ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

περίπου σε 7.000 – 8.500 χρονικά διαστήματα (αριστερό άκρο Γραφήματος 3). Δηλαδή μία μείωση 10% στη χωρητικότητα τερματικού σταθμού επιφέρει αύξηση στην αθροιστική μετατόπιση κατά 330% - 386% στο σενάριο χωρίς τη χρήση ιστορικών δικαιωμάτων (NGFR) & 273% - 313% στο GFR σενάριο (Appendix 2 – Πίνακας 14).

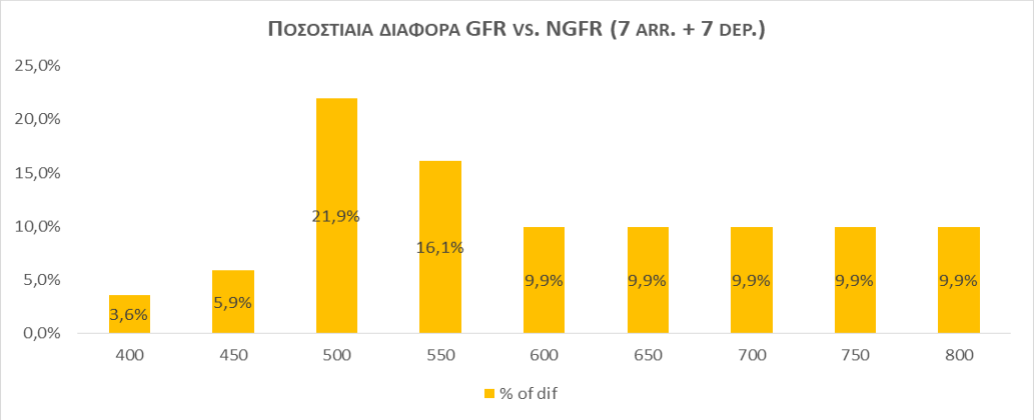
Τέλος παρατηρούμε ότι επιπλέον αύξηση της δηλωμένης χωρητικότητας επιφέρει επιπλέον μείωση (σε σχέση με τη χωρητικότητα 6ARR – 6 DEP – 12 TOT) στην αθροιστική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος από 12% - 44% στο NGFR & 15 – 49% στο GFR σενάριο, ανάλογα με τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (Appendix 2 – Πίνακας 8).



Γράφημα 4 – Ποσοστιαία διαφορά Αθροιστικής Μετατόπισης (GFR vs. NGFR) για χωρητικότητα (5 ARR – 5 DEP – 10 TOT)

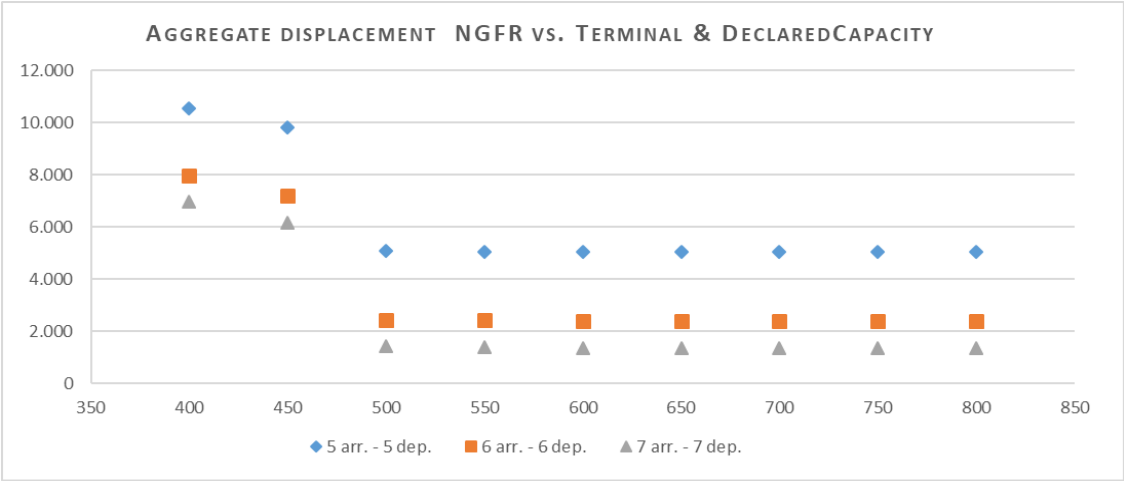


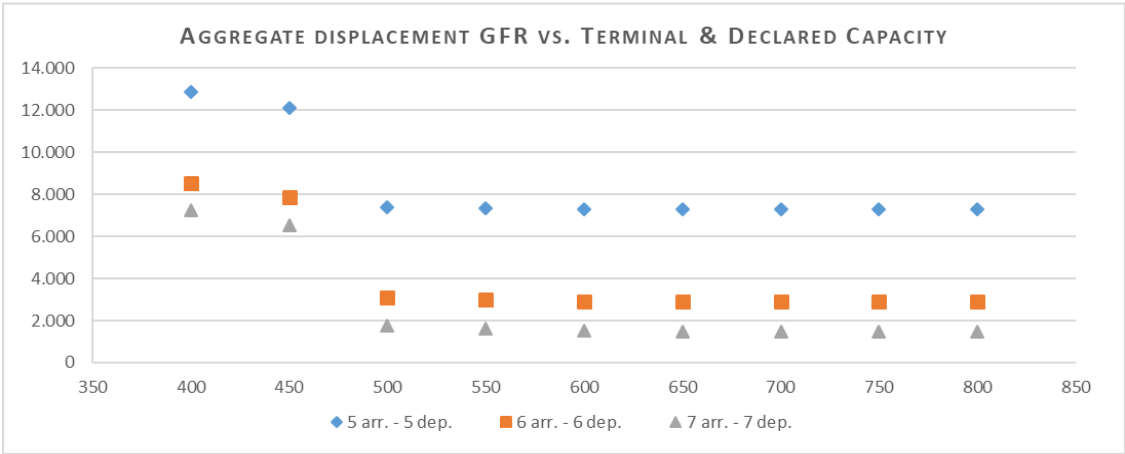
Γράφημα 5 – Ποσοστιαία διαφορά Αθροιστικής Μετατόπισης (GFR vs. NGFR) για χωρητικότητα (6 ARR – 6 DEP – 12 TOT)



Γράφημα 6 – Ποσοστιαία διαφορά Αθροιστικής Μετατόπισης (GFR vs. NGFR) για χωρητικότητα (7 ARR – 7 DEP – 14 TOT)

Τέλος στα Γραφήματα 7 (a - b) αποτυπώνεται η μεταβολή της αθροιστικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος ξεχωριστά για τα 2 σενάρια (GFR & NGFR) σε σχέση με τα διάφορα επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας και χωρητικότητας τερματικού σταθμού. Για το NGFR σενάριο παρατηρούμε ότι η αύξηση της δηλωμένης χωρητικότητας επιφέρει μείωση της συνολικής μετατόπισης χρονοδιαγράμματος από 44% - 73%, ανάλογα με τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας αεροδρομίου. Αντίστοιχα στο GFR σενάριο η βελτίωση στη συνολική μετατόπιση κυμαίνεται από 44% και φτάνει μέχρι και 80% για δηλωμένη χωρητικότητα 7 ARR – 7 DEP – 14 TOT και χωρητικότητα τερματικού σταθμού 800 άτομα (Appendix 2 – Πίνακας 9).





Γράφημα 7 (a - b) –Αθροιστική μετατόπιση vs. δηλωμένης χωρητικότητας & χωρητικότητας τερματικού σταθμού

6.3 Αποτελέσματα 2ου προβλήματος

Στο 2ο πρόβλημα εξετάζουμε τις συνέπειες της ύπαρξης ή μη ιστορικών δικαιωμάτων στην υπερβολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος (excess displacement). Στα γραφήματα 8 (a - c) αποτυπώνονται τα αποτελέσματα του πειράματος για διαφορετικά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας και για διαφορετικά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (terminal).

Τα συγκεκριμένο πρόβλημα το ελέγξαμε για χωρητικότητα τερματικού σταθμού μέχρι και το πλήθος των 300 επιβατών ανά ώρα, καθώς για επίπεδα χωρητικότητας 500 επιβατών και άνω η υπερβολική μετατόπιση μηδενίζεται.



Γράφημα 8 (a - c) –Αθροιστική μετατόπιση vs. δηλωμένης χωρητικότητας & χωρητικότητας τερματικού σταθμού

Όπως παρατηρούμε από τα γραφήματα η υπερβολική μετατόπιση δεν επηρεάζεται καθόλου από την εφαρμογή ή μη των ιστορικών δικαιωμάτων, καθώς και από τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας, καθώς είναι ακριβώς ίδια και στις 3 περιπτώσεις χωρητικότητας (Appendix 3 - πίνακες 16 - 18).

Το μέγεθος το οποίο δείχνει να επηρεάζει την υπερβολική μετατόπιση είναι το πλήθος των επιβατών που μπορεί να εξυπηρετήσει ένας τερματικός σταθμός στη μονάδα του χρόνου και αυτό πάλι για χαμηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού. Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι για κάθε επίπεδο χωρητικότητας αεροδρομίου και σε κάθε σενάριο (GFR & NGFR), η υπερβολική

μετατόπιση μηδενίζεται για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας αεροδρομίου από 500 – 800 επιβάτες (δεξί άκρο γραφήματος 8 (a - c)). Στον αντίποδα για χαμηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (300 – 450 επιβάτες) η υπερβολική μετατόπιση αυξάνεται από 4.420 χρονικά διαστήματα (χωρητικότητα τερματικού σταθμού 450 άτομα ανά ώρα) σε 16.184 χρονικά διαστήματα, το οποίο αποτελεί αύξηση μέχρι και 73% (Appendix 3 – Πίνακας 19)

Αυτό που έχει ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε είναι ότι μία μικρή μείωση της χωρητικότητας τερματικού σταθμού από 400 σε 350 επιβάτες ανά ώρα επιφέρει αύξηση της υπερβολικής μετατόπισης κατά 56%, ενώ επιπλέον μείωση από 350 σε 300 επιβάτες επηρεάζει αναλογικά λιγότερο την υπερβολική μετατόπιση, καθώς αυξάνεται μόνο κατά 30% (Appendix 3 – Πίνακας 20)

Τα παραπάνω συμπεράσματα για να είναι αξιόπιστα και να οδηγήσουν σε σίγουρα συμπεράσματα αναφορικά με την επίδραση της εφαρμογής των ιστορικών δικαιωμάτων, αλλά και την επίδραση της χωρητικότητας τερματικού σταθμού στην υπερβολική μετατόπιση, χρειάζεται να επιβεβαιωθούν και από αντίστοιχες μετρήσεις και σε άλλα αεροδρόμια ίσως με μεγαλύτερη κίνηση και διαφορετικά επίπεδα χωρητικότητας σε σχέση με το αεροδρόμιο των Χανίων (CHQ).

7. Βασικά συμπεράσματα & μελλοντικές κατευθύνσεις

7.1 Βασικά συμπεράσματα

Αναφορικά με το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της αθροιστικής μετατόπισης το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι σε κάθε περίπτωση η χρήση των ιστορικών δικαιωμάτων λειτουργεί εις βάρος της αποδοτικότητας του προγράμματος για κάθε επίπεδο δηλωμένης χωρητικότητας και για κάθε επίπεδο χωρητικότητας τερματικού σταθμού. Ειδικά για τη περίπτωση της περιορισμένης χωρητικότητας (5 APP – 5 DEP – 10 TOT), η αθροιστική μετατόπιση είναι μέχρι και 45% υψηλότερη με την εφαρμογή των ιστορικών δικαιωμάτων. Ένα προφανές συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι αυτή η διαφορά βελτιώνεται όσο προχωράμε σε πιο χαλαρά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας. Συγκεκριμένα για ίδια επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού, αύξηση της δηλωμένης χωρητικότητας του αεροδρομίου, μπορεί να επιφέρει μέχρι 80% μείωση στην αθροιστική μετατόπιση.

Ο περιορισμός που έχει εισαχθεί και αφορά στο πλήθος των επιβατών που μπορούν να εξυπηρετηθούν ανά ώρα στο τερματικό σταθμό, επηρεάζει επίσης σημαντικά την αθροιστική μετατόπιση για χαμηλά επίπεδα χωρητικότητας (400 – 500 επιβάτες), αλλά σε αερολιμένες που διαθέτουν υποδομές που μπορούν να εξυπηρετήσουν μεγαλύτερα πλήθη, δε δείχνει να επηρεάζει σημαντικά το προγραμματισμό του χρονοδιαγράμματος πτήσεων. Ειδικά για περιπτώσεις αεροδρομίων με μη επαρκείς υποδομές, μία μικρή αύξηση της χωρητικότητας του τερματικού σταθμού από 450 σε 500 επιβάτες ανά ώρα μπορεί να επιφέρει μείωση στην αθροιστική μετατόπιση μέχρι και 73% ακόμα και για χαμηλά επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας.

Τέλος, όσον αφορά την ελαχιστοποίηση της υπερβολικής μετατόπισης το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι το συγκεκριμένο μέγεθος δεν δείχνει να επηρεάζεται ούτε από την εφαρμογή ή μη των ιστορικών δικαιωμάτων, ούτε όμως και από τα επίπεδα της δηλωμένης χωρητικότητας του αεροδρομίου. Αυτό που δείχνει να επηρεάζει σημαντικά το συγκεκριμένο μέγεθος είναι τα επίπεδα χωρητικότητας του τερματικού σταθμού. Συγκεκριμένα, μία αύξηση στη χωρητικότητα του τερματικού σταθμού από 300 σε 400 επιβάτες βελτιώνει την υπερβολική μετατόπιση μέχρι και 69%. Ειδικά για υψηλά επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (πάνω από 550 επιβάτες) η υπερβολική μετατόπιση μηδενίζεται (δηλαδή κανένα αίτημα δεν ανατίθεται πέρα από το όριο ανοχής των εταιρειών). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα χρειάζεται να επιβεβαιωθούν και με αντίστοιχα πειράματα σε άλλα μεγαλύτερα αεροδρόμια υψηλότερης κίνησης.

Διαπιστώνουμε τελικά ότι σε γενικές γραμμές η εφαρμογή των ιστορικών δικαιωμάτων, καθώς και τα επίπεδα της δηλωμένης χωρητικότητας, επηρεάζουν σημαντικά το προγραμματισμό ανάθεσης χρονοθυρίδων σε αεροδρόμια με συμφόρηση. Επιπλέον τα συμπεράσματα που αφορούν τα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού και πως επηρεάζουν το στρατηγικό σχεδιασμό κινήσεων σε αεροδρόμια μπορεί να αποβούν αρκετά χρήσιμα, καθώς πλέον λόγω Covid – 19 πιθανόν να είναι απαραίτητο στους χώρους των αεροδρομίων, να υπάρχει ένας μέγιστος αριθμός επιβατών, που θα πρέπει να εξυπηρετηθούν.

7.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται κάποιες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα. Συγκεκριμένα:

Ως επέκταση του περιορισμού για το πλήθος των επιβατών που μπορεί να εξυπηρετήσει ο τερματικός σταθμός, αντί να θεωρηθεί ότι τα αεροσκάφη έχουν πληρότητα 100%, για όλη τη περίοδο συντονισμού, να μεταβάλλεται χρονικά εντός μίας περιόδου συντονισμού ή και εντός της κάθε ημέρας, ανάλογα αν η πτήση επιχειρεί σε ημέρες/ ώρες υψηλή ή χαμηλής κίνησης.

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Στις περιπτώσεις που γίνεται κακή χρήση χρονοθυρίδων, ο κανονισμός της ΙΑΤΑ προβλέπει την επιβολή αποτρεπτικών και αναλογικών κυρώσεων στους αερομεταφορείς. Επιπλέον προτείνει τη μεταφορά των διαθέσιμων χρόνων χρήσης για τις οποίες έχει γίνει κακή χρήση, στο κοινό σύστημα εκμετάλλευσης για το υπόλοιπο της περιόδου προγραμματισμού. Δεδομένου ότι ο κανονισμός αναφέρει ότι οι κυρώσεις πρέπει να επιβληθούν το υπόλοιπο της περιόδου προγραμματισμού και αυτό προφανώς δε μπορεί να προβλεφθεί στο στάδιο του προγραμματισμού, μπορεί να εξεταστεί ένα μοντέλο, το οποίο να περιλαμβάνει δείκτες δικαιοσύνης, που να επηρεάζουν τη μετατόπιση των αιτημάτων της επόμενης ισοδύναμης περιόδου συντονισμού, ανάλογα με τη συνέπεια των αερομεταφορέων. Για παράδειγμα, το ποσοστό των βιαίως μετατοπισμένων αιτημάτων κάθε αερομεταφορέα να είναι ανάλογο του ποσοστού των χρονοθυρίδων, που δεν έχουν χρησιμοποιηθεί τη προηγούμενη περίοδο συντονισμού.

Κατ' αντιστοιχία με το παραπάνω μία τέτοια προσέγγιση (με δείκτες δικαιοσύνης) μπορεί να εφαρμοστεί και στις περιπτώσεις όπου οι αερομεταφορείς επιστρέφουν χρονοθυρίδες μετά την Ιστορική Ημερομηνία Αναφοράς, όπου πάλι η ΙΑΤΑ προβλέπει τη δυνατότητα να δίνεται χαμηλότερη προτεραιότητα σε αιτήσεις αερομεταφορέων, οι οποίοι δεν είναι συνεπείς.

Εναλλακτικά των παραπάνω, θα μπορούσε να εξεταστεί πως επηρεάζονται διάφορες μετρικές όπως η μέγιστη/ η αθροιστική/ η συνολική μετατόπιση χρονοδιαγράμματος, αν τα βιαίως εκτοπισμένα αιτήματα (violated requests), περιοριστούν σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό των συνολικών κινήσεων.

Μία άλλη κατεύθυνση που θα μπορούσε να διερευνηθεί είναι στο επίπεδο της δηλωμένης χωρητικότητας, όπου το συγκεκριμένο μέγεθος δε θα θεωρείται ως ένας σταθερός αριθμός ανά μονάδα χρόνου (π.χ. 5 αναχωρήσεις – 5 αφίξεις – 10 κινήσεις στο σύνολο), αλλά ως μία μεταβλητή. Συγκεκριμένα, δεδομένου ότι ένα από τα στοιχεία που καθορίζουν τη δηλωμένη χωρητικότητα είναι και ο τύπος των αεροσκαφών που προσγειώνονται – απογειώνονται σε/ από ένα αεροδρόμιο σε μία μονάδα χρόνου, υπάρχει ένα ελάχιστο πλήθος (για μεγάλου τύπου αεροπλάνα) και ένα μέγιστο πλήθος (για μικρά αεροσκάφη) αεροπλάνων, που μπορεί να εξυπηρετήσει το αεροδρόμιο στη μονάδα χρόνου. Βάσει αυτού και ανάλογα με το είδος των αιτημάτων, με όρους τύπου αεροσκάφους, θα μπορούσε να δημιουργηθεί ένα μοντέλο, το οποίο να υπολογίζει τη δηλωμένη χωρητικότητα του αεροδρομίου ανά μονάδα χρόνου, ανάλογα με το τύπο των αεροσκαφών που πρόκειται να αναχωρήσουν ή αφιχθούν εντός του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.

Τέλος στο πλαίσιο της θεωρίας παιγνίων, μπορεί να δημιουργηθεί ένα προβλεπτικό μοντέλο, το οποίο θα εξετάζει τις μεταβιβάσεις (transfers) ή ανταλλαγές (swaps) μεταξύ των αερομεταφορέων εντός μίας περιόδου συντονισμού και την επόμενη ισοδύναμη περίοδο συντονισμού θα αναθέτει τις χρονοθυρίδες στους αερομεταφορείς συνυπολογίζοντας πιθανές μεταξύ τους ανταλλαγές – μεταβιβάσεις.

Appendices

Appendix 1

Βασικοί ορισμοί

Συντονισμός Αερολιμένα (Airport Coordination)

Ο συντονισμός του αεροδρομίου είναι ένας τρόπος διαχείρισης της χωρητικότητας των αερολιμένων μέσω της εφαρμογής ενός συνόλου κανόνων που περιέχονται στον Παγκόσμιο Οδηγό Συντονισμού της IATA (Worldwide Slot Guidlines). Ο συντονισμός συνεπάγεται την κατανομή της περιορισμένης χωρητικότητας αερολιμένων σε αεροπορικές εταιρείες και άλλους φορείς εκμετάλλευσης αεροσκαφών για τη διασφάλιση βιώσιμης λειτουργίας αεροδρομίων και αερομεταφορών. Ο συντονισμός είναι επίσης μια διαδικασία για τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικής χρήσης της υποδομής των αερολιμένων. Πρωταρχικός στόχος του συντονισμού των αερολιμένων είναι η εξασφάλιση της αποδοτικότερης χρήσης της υποδομής των αερολιμένων, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν τα οφέλη για τον μεγαλύτερο αριθμό χρηστών του αερολιμένα. Για τους σκοπούς του συντονισμού των αερολιμένων, οι αερολιμένες κατηγοριοποιούνται από τις αρμόδιες αρχές σε 3 επίπεδα συμφόρησης:

a. Μη συντονισμένοι αερολιμένες (Not coordinated Airports)
b. Αερολιμένες με ευκολίες προγραμματισμού (Schedules Facilitated Airports)
c. Συντονισμένοι αερολιμένες (Coordinated Airports)

Μη συντονισμένοι αερολιμένες (Level 1)

Αερολιμένες όπου η χωρητικότητα της αερολιμενικής υποδομής είναι γενικά επαρκής για την ικανοποίηση των αναγκών των χρηστών του αερολιμένα ανά πάσα στιγμή.

Αερολιμένες με ευκολίες προγραμματισμού (Level 2)

Αερολιμένες όπου υπάρχει πιθανότητα συμφόρησης σε ορισμένες περιόδους της ημέρας, της εβδομάδας ή της σεζόν, οι οποίες μπορούν να επιλυθούν με εθελοντική συνεργασία μεταξύ αεροπορικών εταιρειών. Για τη διευκόλυνση των προγραμματισμένων ενεργειών των αεροπορικών εταιρειών που χρησιμοποιούν ή σχεδιάζουν να χρησιμοποιήσουν το αεροδρόμιο διορίζεται διαμεσολαβητής (facilitator).

Συντονισμένοι Αερολιμένες (Level 3)

Οιοσδήποτε αερολιμένας στον οποίο ένας αερομεταφορέας ή κάθε άλλος φορέας εκμετάλλευσης αεροσκαφών χρειάζεται, για την απογείωση ή την προσγείωση, κατανομή διαθεσίμου χρόνου χρήσης από το συντονιστή, με την εξαίρεση των επίσημων πτήσεων, των προσγειώσεων έκτακτης ανάγκης και των ανθρωπιστικών πτήσεων.

Συντονιστής αεροδρομίου (Airport Coordinator)

Είναι το φυσικό ή νομικό πρόσωπο με διεξοδικές γνώσεις όσον αφορά το συντονισμό των δρομολογίων των αερομεταφορέων το οποίο, ύστερα από διαβούλευση με τους αερομεταφορείς που χρησιμοποιούν τον αερολιμένα αυτό συστηματικά, τις οργανώσεις που τους εκπροσωπούν και τις αρχές του αερολιμένα, ορίζεται ως υπεύθυνο για την κατανομή των διαθέσιμων χρόνων χρήσης (slots). Ο ίδιος συντονιστής μπορεί να οριστεί για περισσότερους από έναν αερολιμένα.

Χρονοθυρίδα ή διαθέσιμος χρόνος χρήσης (Slot)

Ο διαθέσιμος χρόνος χρήσης ή χρονοθυρίδα (slot) είναι η άδεια που δίνεται από τον αρμόδιο συντονιστή για τη χρησιμοποίηση του πλήρους φάσματος της αερολιμενικής υποδομής ενός συντονισμένου αερολιμένα που χρειάζεται για την εκμετάλλευση μιας αεροπορικής υπηρεσίας σε συγκεκριμένο συντονισμένο αερολιμένα μια συγκεκριμένη ημέρα και ώρα για προσγείωση ή απογείωση, σύμφωνα με τους εκάστοτε ισχύοντες κανονισμούς. Είναι υποχρεωτικός σε συντονισμένα αεροδρόμια για κάθε κίνηση (άφιξη και αναχώρηση) και ισχύει για συγκεκριμένη ώρα σε συγκεκριμένη ημέρα και για τη συγκεκριμένη περίοδο για την οποία ζητείται. Οι εγκεκριμένοι διαθέσιμοι χρόνοι χρήσης υπολογίζονται βάσει του προγραμματισμένου χρόνου ακινητοποίησης του αεροσκάφους (blocks-on) στην άφιξη και του χρόνου εκκίνησης πέδησής του προς αναχώρηση (blocks-off). Οι πραγματικοί χρόνοι άφιξης και αναχώρησης ενδέχεται να διαφέρουν λόγω λειτουργικών παραγόντων.

Μορφή αιτημάτων χρονοθυρίδων

Κάθε αίτημα για χρονοθυρίδα περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία (Ribeiro et al. 2018):

i. την κατηγορία προτεραιότητας (με ιστορικά δικαιώματα, νέο-εισερχόμενος, άλλο)
ii. Τη ταυτότητα άφιξης/ αναχώρησης πτήσης
iii. Την ημερομηνία έναρξης και λήξης που θα επιχειρεί η συγκεκριμένη πτήση
iv. Τις ημέρες της εβδομάδας για της οποίες ζητείται η χρονοθυρίδα
v. Ο τύπος του αεροσκάφους και ο αναμενόμενος αριθμός θέσεων
vi. Τις αιτούμενες ώρες άφιξης και αναχώρησης
vii. Την προέλευση και το τελικό προορισμό του αεροσκάφους
viii. Το τελευταίο αεροδρόμιο που θα επισκεφθεί το αεροσκάφος πριν την προσγείωση στο συγκεκριμένο αεροδρόμιο, καθώς και το επόμενο αεροδρόμιο που θα επισκεφθεί μετά την απογείωση του από το παρόν αεροδρόμιο
ix. Τον τύπο της πτήσης (π.χ. J – για προγραμματισμένη πτήση, C – για charter κ.α.)

Στο Πίνακα 3 υπάρχει ένα δείγμα για 5 αιτήματα σειρών χρονοθυρίδων

Req. Code	Priority	Arr. ID	Dep. ID	Start Date	End Date	Days of week	Seats	Aircraft
1	F	XY001	XY002	30MAR	25OCT	1000000	180	320
2	CR	XY003	XY004	30MAR	01JUN	1234567	180	320
3	CL	XY005	XY006	01APR	21OCT	1030507	180	320
4	B	XY007	–	01JUL	23SEP	0200500	170	320
5	N	–	XY008	30MAR	25OCT	0004000	130	319

Req. Code	Origin	Previous Stop	Arr. Time	Dep. Time	Next Stop	Destination	Arr. Type	Dep. Type
1	LIS	LIS	0800	0830	LIS	LIS	J	J
2	OPO	LIS	1000	1100	LIS	OPO	J	J
3	ORY	OPO	1535	1610	OPO	ORY	J	J
4	OPO	OPO	1830	–	–	–	C	–
5	–	–	–	1100	PDL	PDL	–	J

Πίνακας 3 – Υπόδειγμα αιτημάτων χρονοθυρίδων

Ιστορικά δικαιώματα (Historic Precedence)

Ο κανόνας των ιστορικών δικαιωμάτων επιτρέπει σε μια αεροπορική εταιρεία να διεκδικήσει μια σειρά χρονοθυρίδων εντός των ίδιων παραμέτρων συντονισμού κατά την επόμενη ισοδύναμη περίοδο προγραμματισμού, υπό την προϋπόθεση ότι:

i. οι χρόνοι χρήσης που χορηγήθηκαν για τακτικές πτήσεις αποτελούσαν σειρά χρονοθυρίδων (slots)
ii. τουλάχιστον 80 % αυτών των χρόνων χρήσης χρησιμοποιήθηκαν από την αεροπορική εταιρεία όπως χορηγήθηκαν από τον συντονιστή.

Ο κανόνας των ιστορικών δικαιωμάτων ισχύει μόνο για ισοδύναμες και όχι διαδοχικές προγραμματικές περιόδους (π.χ. καλοκαιρινή περίοδος) και περιορίζεται στην αντίστοιχη περίοδο και ημέρες λειτουργίας.

Νεοεισερχόμενος αερομεταφορέας (new-entrants)

i. ο αερομεταφορέας ο οποίος ζητεί διαθέσιμο χρόνο χρήσης από μια σειρά χρόνων χρήσης σε έναν αερολιμένα για κάποια ημέρα, εφόσον, εάν γίνει δεκτό το αίτημά του, θα διαθέτει συνολικά λιγότερους από πέντε διαθέσιμους χρόνους χρήσης σε αυτόν τον αερολιμένα για την συγκεκριμένη ημέρα· ή
ii. ο αερομεταφορέας ο οποίος ζητεί σειρά διαθεσίμων χρόνων χρήσης για προγραμματισμένο απευθείας επιβατικό δρομολόγιο μεταξύ δύο κοινοτικών αερολιμένων όταν δύο κατ' ανώτατο όριο άλλοι αερομεταφορείς εκτελούν το ίδιο προγραμματισμένο απευθείας δρομολόγιο μεταξύ των αερολιμένων την ίδια ημέρα, και εφόσον παρά ταύτα θα διέθετε, εάν το αίτημά του γινόταν δεκτό, λιγότερους από πέντε χρόνους χρήσης στον αερολιμένα αυτό τη δεδομένη ημέρα για το συγκεκριμένο απευθείας δρομολόγιο· ή
iii. ο αερομεταφορέας ο οποίος ζητεί μια σειρά διαθεσίμων χρόνων χρήσης σε έναν αερολιμένα για προγραμματισμένο απευθείας επιβατικό δρομολόγιο μεταξύ του αερολιμένα αυτού και ενός περιφερειακού αερολιμένα, όταν κανείς άλλος αερομεταφορέας δεν εκτελεί προγραμματισμένο απευθείας επιβατικό δρομολόγιο μεταξύ των ίδιων αερολιμένων ή των συστημάτων αερολιμένων τη συγκεκριμένη ημέρα, και εφόσον παρά ταύτα θα διέθετε, εάν το αίτημά του γινόταν δεκτό, λιγότερους από πέντε διαθέσιμους χρόνους χρήσης στον αερολιμένα αυτό τη δεδομένη ημέρα για το συγκεκριμένο απευθείας δρομολόγιο

Σειρά διαθέσιμων χρόνων χρήσης

Τουλάχιστον πέντε διαθέσιμοι χρόνοι χρήσης (slots) που έχουν ζητηθεί τακτικά για την ίδια ώρα της ίδιας ημέρας της εβδομάδας στην ίδια περίοδο προγραμματισμού και έχουν χορηγηθεί κατ' αυτόν τον τρόπο ή, εφόσον αυτό δεν είναι δυνατόν, έχουν χορηγηθεί για περίπου την ίδια ώρα

Ιστορική ημερομηνία αναφοράς (Historic Baseline Date)

Η σειρά των διαθέσιμων χρόνων χρήσης που τηρεί μια αεροπορική εταιρεία στις 31 Ιανουαρίου για την επόμενη περίοδο προγραμματισμού του καλοκαιριού ή στις 31 Αυγούστου για την επόμενη χειμερινή περίοδο προγραμματισμού χρησιμοποιείται ως βάση για τον προσδιορισμό της επιλεξιμότητας για ιστορική προτεραιότητα.

Appendix 2

Πίνακες αποτελεσμάτων 1ου προβλήματος

Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR *(5 ARR – 5 DEP – 10 TOT)*

Aggregate displacement GFR vs. NGFR (5 arr. - 5 dep.)				
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**	**Dif NGFR vs. GFR**	**% of dif NGFR vs. GFR**
400	10.540	12.893	2.353	22,3%
450	9.802	12.138	2.336	23,8%
500	5.073	7.381	2.308	45,5%
550	5.061	7.334	2.273	44,9%
600	5.046	7.313	2.267	44,9%
650	5.041	7.308	2.267	45,0%
700	5.040	7.305	2.265	44,9%
750	5.039	7.300	2.261	44,9%
800	5.039	7.300	2.261	44,9%

Πίνακας 4 – Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR (5 ARR – 5 DEP – 10 TOT)

Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR *(6 ARR – 6 DEP – 12 TOT)*

Aggregate displacement GFR vs. NGFR (6 arr. - 6 dep.)				
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**	**Dif NGFR vs. GFR**	**% of dif NGFR vs. GFR**
400	7.966	8.539	573	7,2%
450	7.180	7.870	690	9,6%
500	2.445	3.075	630	25,8%
550	2.425	2.993	568	23,4%
600	2.401	2.904	503	20,9%
650	2.400	2.904	504	21,0%
700	2.400	2.904	504	21,0%
750	2.399	2.903	504	21,0%
800	2.399	2.903	504	21,0%

Πίνακας 5 – Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR (6 ARR – 6 DEP – 12 TOT)

Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR *(7 ARR – 7 DEP – 14 TOT)*

Aggregate displacement GFR vs. NGFR (7 arr. - 7 dep.)				
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**	**Dif NGFR vs. GFR**	**% of dif NGFR vs. GFR**
400	6.979	7.228	249	3,6%
450	6.177	6.539	362	5,9%
500	1.436	1.751	315	21,9%
550	1.408	1.635	227	16,1%
600	1.366	1.501	135	9,9%
650	1.349	1.483	134	9,9%
700	1.349	1.483	134	9,9%
750	1.348	1.482	134	9,9%
800	1.348	1.482	134	9,9%

Πίνακας 6 – Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR (7 ARR – 7 DEP – 14 TOT)

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Ποσοστιαία διαφορά για τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (5 arr. + 5 dep.) vs. (6 arr. + 6 dep.)

% of dif. (5 arr. + 5 dep.) vs. (6 arr - 6 dep)		
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**
400	-24%	-34%
450	-27%	-35%
500	-52%	-58%
550	-52%	-59%
600	-52%	-60%
650	-52%	-60%
700	-52%	-60%
750	-52%	-60%
800	-52%	-60%

Πίνακας 7 – Ποσοστιαία διαφορά για τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (5 arr. + 5 dep.) vs. (6 arr. + 6 dep.)

Ποσοστιαία διαφορά για τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (6 arr. + 6 dep.) vs. (7 arr. + 7 dep.)

% of dif. (6 arr. + 6 dep.) vs. (7 arr - 7 dep)		
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**
400	-12%	-15%
450	-14%	-17%
500	-41%	-43%
550	-42%	-45%
600	-43%	-48%
650	-44%	-49%
700	-44%	-49%
750	-44%	-49%
800	-44%	-49%

Πίνακας 8 – Ποσοστιαία διαφορά για τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (6 arr. + 6 dep.) vs. (7 arr. + 7 dep.)

Ποσοστιαία διαφορά για τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (5 arr. + 5 dep.) vs. (7 arr + 7 dep)

% of dif. (5 arr. + 5 dep.) vs. (7 arr - 7 dep)		
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**
400	-34%	-44%
450	-37%	-46%
500	-72%	-76%
550	-72%	-78%
600	-73%	-79%
650	-73%	-80%
700	-73%	-80%
750	-73%	-80%
800	-73%	-80%

Πίνακας 9 – Ποσοστιαία διαφορά για τα διάφορα επίπεδα χωρητικότητας τερματικού σταθμού (5 arr. + 5 dep.) vs. (7 arr. + 7 dep.)

Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης NGFR vs. Terminal & Declared Capacity

Aggregate displacement NGFR vs. Terminal Capacity & Declared Capacity					
Terminal Capacity	**5 arr. - 5 dep.**	**6 arr. - 6 dep.**	**7 arr. - 7 dep.**	**% of dif. (5+5) vs. (6+6)**	**% of dif. (5+5) vs. (7+7)**
400	10.540	7.966	6.979	-24,4%	-34%
450	9.802	7.180	6.177	-26,7%	-37%
500	5.073	2.445	1.436	-51,8%	-72%
550	5.061	2.425	1.408	-52,1%	-72%
600	5.046	2.401	1.366	-52,4%	-73%
650	5.041	2.400	1.349	-52,4%	-73%
700	5.040	2.400	1.349	-52,4%	-73%
750	5.039	2.399	1.348	-52,4%	-73%
800	5.039	2.399	1.348	-52,4%	-73%

Πίνακας 10 – Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης NGFR σενάριο vs. Terminal & Declared Capacity

Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. Terminal & Declared Capacity

Aggregate displacement GFR vs. Terminal Capacity & Declared Capacity					
Terminal Capacity	**5 arr. - 5 dep.**	**6 arr. - 6 dep.**	**7 arr. - 7 dep.**	**% of dif. (5+5) vs. (6+6)**	**% of dif. (5+5) vs. (7+7)**
400	12.893	8.539	7.228	-33,8%	-44%
450	12.138	7.870	6.539	-35,2%	-46%
500	7.381	3.075	1.751	-58,3%	-76%
550	7.334	2.993	1.635	-59,2%	-78%
600	7.313	2.904	1.501	-60,3%	-79%
650	7.308	2.904	1.483	-60,3%	-80%
700	7.305	2.904	1.483	-60,2%	-80%
750	7.300	2.903	1.482	-60,2%	-80%
800	7.300	2.903	1.482	-60,2%	-80%

Πίνακας 11 – Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης NGFR σενάριο vs. Terminal & Declared Capacity

Ποσοστιαία διαφορά 500 vs. 400 & 450 επιβατών για χωρητικότητα 5 ARR – 5 DEP – 10 TOT

% of dif. 500 vs. 400 & 450 passengers (5 arr - 5 dep)		
	NGFR	**GFR**
% dif 500 vs. 400 pass.	108%	75%
% dif 500 vs. 450 pass.	93%	64%

*Πίνακας 12 – Ποσοστιαία διαφορά **500 vs. 400 & 450 επιβατών για χωρητικότητα 5 ARR – 5 DEP – 10 TOT***

Ποσοστιαία διαφορά 500 vs. 400 & 450 επιβατών για χωρητικότητα 6 ARR – 6 DEP – 12 TOT

% of dif. 500 vs. 400 & 450 passengers (6 arr - 6 dep)		
	NGFR	**GFR**
% dif 500 vs. 400 pass.	226%	178%
% dif 500 vs. 450 pass.	194%	156%

*Πίνακας 13 – Ποσοστιαία διαφορά **500 vs. 400 & 450 επιβατών για χωρητικότητα 6 ARR – 6 DEP – 12 TOT***

Ποσοστιαία διαφορά 500 vs. 400 & 450 επιβατών για χωρητικότητα 7 ARR – 7 DEP – 14 TOT

% of dif. 500 vs. 400 & 450 passengers (7 arr - 7 dep)		
	NGFR	**GFR**
% dif 500 vs. 400 pass.	386%	313%
% dif 500 vs. 450 pass.	330%	273%

Πίνακας 14 – Ποσοστιαία διαφορά 500 vs. 400 & 450 επιβατών για χωρητικότητα 7 ARR – 7 DEP – 14 TOT

Ρυθμός Μεταβολής Αθροιστικής Μετατόπισης ανά επίπεδο επιβατών, ανά δηλωμένη χωρητικότητα για NGFR & GFR

Ρυθμός Μεταβολής Αθροιστικής Μετατόπισης ανά επίπεδο επιβατών, ανά δηλωμένη χωρητικότητα για NGFR & GFR						
Declared Capacity	**5 ARR - 5 DEP - 10 TOT**		**6 ARR - 6 DEP - 12 TOT**		**7 ARR - 7 DEP - 14 TOT**	
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**	**NGFR**	**GFR**	**NGFR**	**GFR**
400						
450	-7,0%	-5,9%	-9,9%	-7,8%	-11,5%	-9,5%
500	-48,2%	-39,2%	-65,9%	-60,9%	-76,8%	-73,2%
550	-0,2%	-0,6%	-0,8%	-2,7%	-1,9%	-6,6%
600	-0,3%	-0,3%	-1,0%	-3,0%	-3,0%	-8,2%
650	-0,1%	-0,1%	0,0%	0,0%	-1,2%	-1,2%
700	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
750	0,0%	-0,1%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,1%
800	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Πίνακας 15 - Ρυθμός Μεταβολής Αθροιστικής Μετατόπισης ανά επίπεδο επιβατών, ανά δηλωμένη χωρητικότητα για NGFR & GFR

Appendix 3

Πίνακες αποτελεσμάτων 2ου προβλήματος

Αποτελέσματα Υπερβολικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR *(5 ARR – 5 DEP – 10 TOT)*

Excess displacement GFR vs. NGFR (5 arr. + 5 dep.)				
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**	**Dif NGFR vs. GFR**	**% of dif NGFR vs. GFR**
300	16.184	16.184	0	0,0%
350	11.405	11.405	0	0,0%
400	4.978	4.978	0	0,0%
450	4.420	4.420	0	0,0%
500	0	0	0	N/A
550	0	0	0	N/A
600	0	0	0	N/A
650	0	0	0	N/A
700	0	0	0	N/A
750	0	0	0	N/A
800	0	0	0	N/A

Πίνακας 16 – Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR (5 ARR – 5 DEP – 10 TOT)

Αποτελέσματα Υπερβολικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR *(6 ARR – 6 DEP – 12 TOT)*

Excess displacement GFR vs. NGFR (6 arr. + 6 dep.)				
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**	**Dif NGFR vs. GFR**	**% of dif NGFR vs. GFR**
300	16.184	16.184	0	0,0%
350	11.405	11.405	0	0,0%
400	4.978	4.978	0	0,0%
450	4.420	4.420	0	0,0%
500	0	0	0	N/A
550	0	0	0	N/A
600	0	0	0	N/A
650	0	0	0	N/A
700	0	0	0	N/A
750	0	0	0	N/A
800	0	0	0	N/A

Πίνακας 17 – Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR (6 ARR – 6 DEP – 12 TOT)

Αποτελέσματα Υπερβολικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR *(7 ARR – 7 DEP – 14 TOT)*

Excess displacement GFR vs. NGFR (5 arr. + 5 dep.)				
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**	**Dif NGFR vs. GFR**	**% of dif NGFR vs. GFR**
300	16.184	16.184	0	0,0%
350	11.405	11.405	0	0,0%
400	4.978	4.978	0	0,0%
450	4.420	4.420	0	0,0%
500	0	0	0	N/A
550	0	0	0	N/A
600	0	0	0	N/A
650	0	0	0	N/A
700	0	0	0	N/A
750	0	0	0	N/A
800	0	0	0	N/A

Πίνακας 18 – Αποτελέσματα Αθροιστικής Μετατόπισης GFR vs. NGFR (7 ARR – 7 DEP – 14 TOT)

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Ποσοστιαία διαφορά 450 vs. 300 & 350 επιβατών για όλα τα επίπεδα χωρητικότητας

% of dif. 400 vs. 350 & 300 passengers		
	NGFR	**GFR**
% dif 450 vs. 350 passengers	61%	61%
% dif 450 vs. 300 passengers	73%	73%

Πίνακας 19 – Ποσοστιαία διαφορά 450 vs. 300 & 350 επιβατών για όλα τα επίπεδα χωρητικότητας

Ρυθμός Μεταβολής υπερβολικής Μετατόπισης ανά επίπεδο επιβατών

Ρυθμός Μεταβολής Υπερβολικής Μετατόπισης ανά επίπεδο επιβατών, ανά δηλωμένη χωρητικότητα για NGFR & GFR						
Declared Capacity	**5 ARR - 5 DEP - 10 TOT**		**6 ARR - 6 DEP - 12 TOT**		**7 ARR - 7 DEP - 14 TOT**	
Terminal Capacity	**NGFR**	**GFR**	**NGFR**	**GFR**	**NGFR**	**GFR**
300						
350	-29,53%	-29,53%	-29,53%	-29,53%	-29,53%	-29,53%
400	-56,35%	-56,35%	-56,35%	-56,35%	-56,35%	-56,35%
450	-11,21%	-11,21%	-11,21%	-11,21%	-11,21%	-11,21%
500	-100,00%	-100,00%	-100,00%	-100,00%	-100,00%	-100,00%
550	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
600	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
650	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
700	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
750	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
800	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Πίνακας 20 - Ρυθμός Μεταβολής Υπερβολικής Μετατόπισης ανά επίπεδο επιβατών για όλα τα επίπεδα δηλωμένης χωρητικότητας & για τα σενάρια NGFR & GFR

Βιβλιογραφία

Airport Council International (ACI) World, 2018. *Annual World Airport Traffic Report. Annual World Airport Traffic Forecasts 2018– 2040*. Διαθέσιμο on – line: https://aci.aero/wp-content/uploads/2018/11/WATR_WATF_Infographic_Web.pdf

Androutsopoulos, K.N., Madas M.A., 2019. *Being fair or efficient? A fairness-driven modeling extension to the strategic airport slot scheduling problem*. Transportation Research Part E 130 (2019) 37–60.

Androutsopoulos, K.N., Manousakis, E.G., Madas, M.A., 2019. *Modeling and solving a bi-objective airport slot scheduling problem*. European Journal of Operational Research 284 (2020) 135–151

Αεροδρόμιο Χανίων «Ιωάννης Δασκαλογιαννάκης». Στατιστικά Στοιχεία Αεροπορικής Κίνησης. Διαθέσιμα on-line: https://www.chq-airport.gr/el/chq/air-traffic-statistics

Barnhart, C., Fearing, D., Odoni, A., Vaze, V., 2012. *Demand and capacity management in air transportation*. EURO J Transp Logist (2012) 1:135–155. DOI 10.1007/s13676-012-0006-9.

Corolli, L., Lulli, G., Ntaimo, L., 2014. *The time slot allocation problem under uncertain capacity*. Transportation Research Part C 46 (2014) 16–29.

Eurocontrol, 2019. Annual Network Operations Report 2019. Main report. Διαθέσιμο on – line: https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-04/nm-annual-network-operations-report-2019-main-report.pdf

Εθνική Αρχή Συντονισμού Πτήσεων (Ε.Α.Σ.Π.): http://www.hsca.gr/

Fairbrother, J., Zografos, K.G., Glazebrook, K.D., 2019. *A Slot-Scheduling Mechanism at Congested Airports that Incorporates Efficiency, Fairness, and Airline Preferences*. TRANSPORTATION SCIENCE Vol. 54, No. 1, January–February 2020, pp. 115–138.

Federal Aviation Administration (FAA) 2008. Congestion management rule for LaGuardia Airport: Final Rule, Federal Register, 73, October 10, Docket FAA-FR- 60574.

Federal Aviation Administration (FAA) 2009. Rescission of Congestion Management Rule for LaGuardia Airport: Final Rule. Federal Register, 74, No. 195, October 9, Docket FAA-2006-25709, Amendment No. 93–92.

Federal Aviation Administration (FAA), 2020. *Slot Administration - Schedule Facilitation*. Διαθέσιμο on – line: Slot Administration - Schedule Facilitation (faa.gov)

International Air Transport Association (IATA), 2019. Worldwide Slot Guidelines, 10th Edition, Montreal, Canada.

International Air Transport Association (IATA), IATA Members. Available on – line: https://www.iata.org/en/about/members/

Κανονισμός (ΕΟΚ) αριθ. 95/93 του Συμβουλίου της 18ης Ιανουαρίου 1993 σχετικά με τους κοινούς κανόνες κατανομής του διαθέσιμου χρόνου χρήσης (slots) στους κοινοτικούς αερολιμένες. Διαθέσιμο on – line:
https://eur-lex.europa.eu/legal content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:31993R0095&from=EL

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 793/2004 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 21ης Απριλίου 2004, που τροποποιεί τον κανονισμό (ΕΟΚ) αριθ. 95/93 του Συμβουλίου σχετικά με τους

ATHENS UNIVERSITY OF ECONOMICS & BUSINESS ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

κοινούς κανόνες κατανομής του διαθέσιμου χρόνου χρήσης (slots) στους κοινοτικούς αερολιμένες. Διαθέσιμο on – line:

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004R0793&from=EL

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 545/2009 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 18ης Ιουνίου 2009, για την τροποποίηση του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 95/93 σχετικά με τους κοινούς κανόνες κατανομής του διαθέσιμου χρόνου χρήσης (slots) στους κοινοτικούς αερολιμένες. Διαθέσιμο on – line:
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R0545&from=EL

Lexology. Q&A: Air transport in USA. October 2019. Διαθέσιμο on – line:
https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=6f980836-2e52-40fa-827e-f17e4f82864a

Madas, M.A., Zografos, K.G., 2005. *Airport slot allocation: From instruments to strategies*. Journal of Air Transport Management 12 (2006) 53–62.

Madas, M.A., Zografos, K.G., 2010. *Airport slot allocation: a time for change?* Transport Policy 17 (2010) 274–285.

National Center of Excellence for Aviation Operations Research (NEXTOR) 2004. NEXTOR Congestion Management Project—Interim Report: The Passenger Bill of Rights Game. Technical Interim Report prepared by NEXTOR for the Strategic Simulation1 (Passenger Bill of Rights) designed and conducted by NEXTOR in November 3-5, 2004, at the George Mason University, sponsored by the Department of Transportation (Federal Aviation Administration and Office of the Secretary).

Odoni, A., 2020. *A review of certain aspects of the slot allocation process at Level 3 airports under regulation 95/93*. Διαθέσιμο on – line: https://www.aeroport.fr/uploads/documents/etude-de-m.-odini-du-mit.pdf?v12

Pyrgiotis, N., Odoni, R., 2016. *On the impact of scheduling limits: a case study at Newark international airport*. Transp. Sci. 50 (1), 150–165.

Ribeiro, N.A., Jacquillat, A., Antunes, A.P., Odoni, A.R., Pita, J.P., 2018. *An optimization approach for airport slot allocation under IATA guidelines*. Transportation Research Part B 112 (2018) 132–156.

Zografos, K.G., Madas, M.A., Androutsopoulos, K.N., 2016. *Increasing airport capacity utilization through optimum slot scheduling: review of current developments and identification of future needs*. Journal of Scheduling volume 20, pages3–24(2017).

Zografos, K.G., Salouras, Y., Madas, M.A., 2011. *Dealing with the efficient allocation of scarce resources at congested airports*. Transportation Research Part C 21 (2012) 244–256.

Zografos, K.G., Jiang, Y., 2019. *A Bi-objective efficiency-fairness model for scheduling slots at congested airports*. Transportation Research Part C 102 (2019) 336–350.

Zografos, K.G., Androutsopoulos, K.N., Madas, M.A., 2018. *Minding the gap: Optimizing airport schedule displacement and Acceptability*. Transportation Research Part A 114 (2018) 203–221