

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής
Υποδομής

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF
ATHENS

School of Civil Engineering
Department of Transportation Planning and
Engineering

Διδακτορική Διατριβή

Διερεύνηση των επιλογών των επιβατών και των αποκρίσεων
των αεροπορικών εταιρειών σε αγορακεντρικά περιβαλλοντικά
μέτρα με τη χρήση προτύπων διακριτής επιλογής και θεωρίας
παιγνίων

PhD Dissertation

**Passenger travel choices and airline responses under market-based
environmental policies using discrete choice modeling and game
theory**

ΙΩΑΝΝΑ ΠΑΓΩΝΗ IOANNA PAGONI
Πολιτικός Μηχανικός, M.Sc. Civil Engineer, M.Sc.

Αθήνα, Φεβρουάριος 2017 Athens, February 2017

**Διερεύνηση των επιλογών των επιβατών και των αποκρίσεων των
αεροπορικών εταιρειών σε αγορακεντρικά περιβαλλοντικά μέτρα με τη
χρήση προτύπων διακριτής επιλογής και θεωρίας παιγνίων**

Ιωάννα Π. Παγώνη

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Παρασκευή Ψαράκη-Καλουπτσίδη, Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή διερευνάται η επίδραση ενός αγορακεντρικού περιβαλλοντικού μέτρου στην ανταγωνιστική αγορά των αερομεταφορών. Με την εφαρμογή του μέτρου οι αεροπορικές εταιρείες πληρώνουν ένα επιπλέον κόστος εκπομπών το οποίο εκφράζεται συναρτήσει της ποσότητας διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που εκπέμπουν και του μοναδιαίου κόστους (ανά τόνο CO₂) που καθορίζεται στα πλαίσια της περιβαλλοντικής πολιτικής. Η επίδραση του μέτρου στις τιμές των εισιτηρίων, στα μερίδια αγορών των αεροπορικών εταιρειών και στις συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σε ένα αεροπορικό δίκτυο διερευνάται μέσω της ανάπτυξης μιας μεθοδολογίας η οποία περιλαμβάνει ένα πρότυπο μεταφορικής ζήτησης, ένα πρότυπο συμπεριφοράς των αεροπορικών εταιρειών και μια μέθοδο υπολογισμού του κόστους εκπομπών για κάθε αεροπορική εταιρεία και διαδρομή.

Η αεροπορική ζήτηση αναλύεται με τη χρήση προτύπων διακριτών επιλογών (χρησιμοποιώντας αθροιστικά δεδομένα) εντός μιας αγοράς, που ορίζεται ως το ζεύγος πόλεων προέλευσης-προορισμού. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το ιεραρχικό πρότυπο logit (nested logit model). Η χρησιμότητα του επιβάτη από την επιλογή μιας αεροπορικής σύνδεσης εκφράζεται ως συνάρτηση των χαρακτηριστικών της σύνδεσης, των αεροδρομίων προέλευσης-προορισμού και της αεροπορικής εταιρείας που εκτελεί το δρομολόγιο. Η συμπεριφορά των εταιρειών βασίζεται στην υπόθεση ότι οι εταιρείες, που δραστηριοποιούνται σε μια αγορά, διαμορφώνουν τις τιμές των εισιτηρίων υπό συνθήκες ολιγοπωλιακού ανταγωνισμού με γνώμονα τη μεγιστοποίηση των κερδών τους. Κάθε εταιρεία διαμορφώνει τις τιμές των εισιτηρίων της ταυτόχρονα με τις άλλες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην ίδια αγορά, αναπτύσσοντας ένα μη συνεργατικό παίγνιο. Μετά την εφαρμογή της περιβαλλοντικής πολιτικής, το πρότυπο συμπεριφοράς των αεροπορικών εταιρειών αναπροσαρμόζεται ώστε στο οριακό κόστος κάθε αεροπορικής εταιρείας να ενσωματωθεί το κόστος εκπομπών. Για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ και του αντίστοιχου κόστους, κάθε διαδρομή κατατάσσεται σε μοναδικούς συνδυασμούς «αεροσκάφους, απόστασης πτήσης και προσανατολισμού πτήσης». Για κάθε συνδυασμό εκτιμάται το τυπικό μονοπάτι κατακόρυφης πορείας του αεροσκάφους και με τη χρήση του μοντέλου Base of Aircraft Data του EUROCONTROL υπολογίζονται οι εκπομπές CO₂.

Η εφαρμογή του αγορακεντρικού περιβαλλοντικού μέτρου εξετάζεται στο αεροπορικό δίκτυο των Ηνωμένων Πολιτειών για το έτος 2012. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αύξηση στις τιμές των εισιτηρίων και η μείωση της αεροπορικής ζήτησης μπορεί να είναι σημαντική αν η

τιμή του άνθρακα είναι υψηλή. Για το χαμηλό σενάριο των \$10 ανά τόνο CO₂ που είναι κοντά στην τρέχουσα τιμή άνθρακα η μείωση των συνολικών εκπομπών CO₂ (λόγω μείωσης της αεροπορικής ζήτησης) εκτιμήθηκε ίση με 1,88%. Λαμβάνοντας υπόψη τον στόχο της αεροπορικής βιομηχανίας για μείωση των εκπομπών CO₂ των αεροπορικών μεταφορών κατά 50% μέχρι το 2050 (σε σχέση με τα επίπεδα του 2005), η παρούσα διατριβή δείχνει ότι είναι ανάγκη οι αεροπορικές εταιρείες και οι άλλοι φορείς της βιομηχανίας να στραφούν σε εναλλακτικές προσεγγίσεις για να διασφαλιστεί η οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα των αερομεταφορών. Η ανάλυσή της διατριβής δείχνει ότι η τιμολόγηση των εκπομπών CO₂ συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών CO₂. Παρ' όλα αυτά, τα χαμηλά επίπεδα της τιμής του άνθρακα δεν αναμένεται να οδηγήσουν σε σημαντικές αλλαγές στον τομέα των αεροπορικών μεταφορών από την εφαρμογή μόνο ενός περιβαλλοντικού μέτρου. Τέλος, η εφαρμογή της πολιτικής δεν αναμένεται να επηρεάσει τον ανταγωνισμό των αεροπορικών εταιρειών που δραστηριοποιούνται στην ίδια αγορά.

Λέξεις-Κλειδιά: αγορακεντρικά περιβαλλοντικά μέτρα, αεροπορική ζήτηση, πρότυπα διακριτών επιλογών, ενδογένεια, γενικευμένη μέθοδος των ροπών, κέρδος αεροπορικών εταιρειών, μη συνεργατικό παίγνιο, τυπική κατακόρυφη τροχιά αεροσκάφους, ευθυγράμμιση των καμπυλών με βάση τα σημεία, πρότυπο προσομοίωσης λειτουργίας αεροσκάφους.

Passenger travel choices and airline responses under market-based environmental policies using discrete choice modeling and game theory

Ioanna P. Pagoni

Supervisor: Paraskevi Psaraki-Kalouptsidi, Associate Professor NTUA

ABSTRACT

In this dissertation, the implementation of a market-based environmental policy on aviation industry is studied. Under this policy, each airline pays a carbon fee, as a function of the carbon dioxide emissions (CO₂) it generates and the pre-defined unit carbon price (per ton CO₂). The impact on ticket prices, airlines' market shares and resulting network-wide carbon emissions is investigated via a methodology which includes an air travel demand model, an airlines' behavior model and a method for estimating carbon emissions costs by airline and itinerary.

The aggregate air travel demand model relies on discrete choice analysis of different airline connections in origin-destination markets. In particular, the Nested Logit model is used. The passengers' utility for each airline connection is expressed as a function of various flight attributes that are specific to the itinerary, the airline and the airport. The airline's behavior model is based on the hypothesis that active airlines set their ticket prices in an origin-destination market under oligopolistic competition with the aim to maximize own profits. Ticket prices are simultaneously set by each airline in the market, which means that airlines play a non-cooperative game. After the implementation of the environmental policy, the airline's behavior model is adjusted so as to incorporate the carbon fee in the airline's marginal cost. For the computation of airline connection's CO₂ emissions and corresponding emissions cost, connections are organized in unique combinations of "aircraft type, flight distance, flight direction". For every combination, the typical altitude profile is estimated and the CO₂ emissions are computed by using the fuel flow coefficients given in the EUROCONTROL's Base of Aircraft Data.

The market-based environmental policy is implemented at the U.S. domestic aviation network for the study year 2012. The simulation analysis revealed that the implementation of the environmental market-based policy in the U.S. aviation could have some significant effects on ticket prices, air travel demand and resulting CO₂ emissions for high ranges of carbon unit price. For the low scenario of \$10 per ton CO₂, which is close to the prevailing carbon price, the network-wide CO₂ emissions are expected to decrease by 1.88% (due to air travel demand decrease). Taking into account the aviation industry ambitious goal to reduce net aviation CO₂ emissions by 50% until 2050 (relative to 2005 levels), this dissertation suggests that airlines and policy makers may need to turn to alternative approaches to ensure economic and environmental sustainability. Although carbon pricing may contribute to CO₂ emissions reduction, it seems that the low levels of carbon price would not trigger more significant changes in the air transport sector so as to act as a stand-alone measure. A combination of different policies (e.g. technological improvements, operational changes etc) could be needed to effectively work
