



Munich Personal RePEc Archive

Static traffic assignment model and urban mobility indicators for the city of Thessaloniki

Iraklis Stamos and Georgia Aifadopoulou and Evangelos Mitsakis and Evangelia Chrysochoou

Centre for Research and Technology Hellas - Hellenic Institute of Transport, Centre for Research and Technology Hellas - Hellenic Institute of Transport, Centre for Research and Technology Hellas - Hellenic Institute of Transport

1. September 2013

Online at <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/61540/>

MPRA Paper No. 61540, posted 25. January 2015 09:21 UTC

Στατικό μοντέλο καταμερισμού κυκλοφορίας και Δείκτες Αστικής Κινητικότητας για την πόλη της Θεσσαλονίκης

Ηρακλής Στάμος¹, Γεωργία Αυφαντοπούλου¹, Ευάγγελος Μητσάκης¹, Ευαγγελία Χρυσοχόου¹

Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Βιώσιμης Κινητικότητας και Δικτύων Μεταφορών

Email: stamos@certh.gr, gea@certh.gr, emit@certh.gr, echryso@certh.gr

Περίληψη

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο να παρουσιάσει τη βασική μεθοδολογία και τα αποτελέσματα ποσοτικοποίησης επικαιροποιημένων δεικτών αστικής κινητικότητας για το Πολεοδομικό Συγκρότημα της Θεσσαλονίκης (Π.Σ.Θ.). Οι δείκτες αφορούν στην προσφορά και στη ζήτηση των μετακινήσεων και αποτελούν είτε αποτελέσματα ερευνών είτε αποτελέσματα του στατικού κυκλοφοριακού μοντέλου που αναπτύχθηκε για το ΠΣΘ. Τόσο η μεθοδολογία όσο και τα αποτελέσματα αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη στρατηγικών και σεναρίων βιώσιμης διαχείρισης της αστικής κινητικότητας για τη περιοχή της Θεσσαλονίκης τα οποία είναι δυνατόν να αξιολογηθούν.

Λέξεις Κλειδιά: Δείκτες κινητικότητας, Μοντέλο προσομοίωσης, Ζήτηση μετακινήσεων

Abstract

This paper aims to present the basic methodology and results of updated indicators quantifying urban mobility for the city of Thessaloniki. The indicators relating to the supply and demand data are either research results or results of the static traffic model developed for Thessaloniki. Both the methodology and the results were the basis for developing of strategic scenarios for the sustainable management of urban mobility for the region of Thessaloniki.

Keywords: Urban Mobility Indicators, Transport Modeling, Environmental Pollution

1. Εισαγωγή

Η επίτευξη του στόχου για την βιώσιμη αστική κινητικότητα στις σύγχρονες πόλεις οδηγεί και στην ανάγκη παροχής προς τους μετακινούμενους πληροφοριών σχετικά με τις συνθήκες κυκλοφορίας και τις εναλλακτικές υπηρεσίες μεταφοράς που διατίθενται ώστε να επηρεαστεί η διαδικασία λήψης απόφασης από τον μετακινούμενο σχετικά με τον βέλτιστο για εκείνον και το αστικό περιβάλλον τρόπο (μέσο, διαδρομή και χρόνο) υλοποίησης της μετακίνησής του. Η τεχνολογία των έξυπνων συστημάτων μεταφορών αποτελεί σημαντικό παράγοντα

στην επίτευξη λύσεων και υπηρεσιών υποστήριξης τη κινητικότητα και προϋποθέτει τη βέλτιστη διαχείριση δεδομένων από διαφορετικές πηγές, την καλή γνώση των βασικών παραμέτρων κινητικότητας και την απόδοση προς τον μετακινούμενων πληροφοριών και υπηρεσιών υψηλής πιστότητας που προκύπτουν από εφαρμογή εξειδικευμένων τεχνικών ανάλυσης, πρόβλεψη και διαχείρισης του αστικού μεταφορικού δικτύου.

Η παραπάνω περιγραφόμενη ολιστική προσέγγιση υλοποιήθηκε για το ΠΣΘ στο πλαίσιο του έργου «Ευφυές σύστημα διαχείρισης αστικής κινητικότητας και ελέγχου κυκλοφορίας για τη βελτίωση της ποιότητας του αστικού περιβάλλοντος στην κεντρική περιοχή του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης». Συγκεκριμένα επικαιροποιήθηκαν δεδομένα προσφοράς και ζήτησης μετακινήσεων μέσω ερευνών ερωτηματολογίων, και αναπτύχθηκε κυκλοφοριακό μοντέλο στατικού και δυναμικού καταμερισμού της ζήτησης, με στόχο την παροχή μιας σειράς από υπηρεσίες στους μετακινούμενους του Π.Σ.Θ. με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας των καθημερινών τους μετακινήσεων [Morfoulaki et al., 2011, Mitsakis et al., 2013].

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην μελέτη των βασικών παραμέτρων κινητικότητας και των εξειδικευμένων τεχνικών που εφαρμόστηκαν για την ανάπτυξη του στατικού μοντέλου καταμερισμού της κυκλοφορίας στο ΠΣΘ.

Το Π.Σ.Θ. είναι το δεύτερο μεγαλύτερο στην Ελλάδα με πληθυσμό 1.006.730 κατοίκους και μέση πυκνότητα 665,2 κατοίκων ανά τ.μ και συνολικό αριθμό οχημάτων στην πόλη που ξεπερνά τις 777.000 (Στατιστική Υπηρεσία, 2011). Αποτελεί σημαντικό κοινωνικό, οικονομικό και εμπορικό κέντρο της Β. Ελλάδας και της ευρύτερης περιοχής των Βαλκανίων. Ο, γεγονός που οδηγεί στη καθημερινή φόρτιση του μεταφορικού συστήματος της πόλης από σημαντικό αριθμό μετακινήσεων από εξωτερικές του ΠΣΘ περιοχές.

2. Επικαιροποιημένο Κυκλοφοριακό Μοντέλο Π.Σ.Θ.

2.1 Στοιχεία προσφοράς μεταφορών

Το δίκτυο του Π.Σ.Θ. κωδικοποιήθηκε στο κυκλοφοριακό λογισμικό VISUM και αποτελείται από 47.804 κόμβους που καλύπτουν με λεπτομέρεια ολόκληρο το εύρος του Νομού Θεσσαλονίκης καθώς και μέρος των όμορων νομών. Η σύνδεση των προαναφερθέντων κόμβων και διασταυρώσεων μεταξύ τους γίνεται μέσω 137.804 οδικών τμημάτων που φέρουν γεωμετρικά (μήκος, θέση στο δίκτυο), κυκλοφοριακά (αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας, ταχύτητα ελεύθερης ροής, χωρητικότητα, κατεύθυνση, είδος επιτρεπόμενων μέσων μεταφοράς, ύπαρξη ειδικών λωρίδων κυκλοφορίας, απαγόρευση στάθμευσης) και περιγραφικά χαρακτηριστικά [Friedrich, 1999, Geodata, 2012].

Στο μοντέλο περιλαμβάνεται το δίκτυο ΔΣ στο σύνολο του Νομού Θεσσαλονίκης (Ν.Θ.), (γραμμές λεωφορείων και στάσεις). Τα στοιχεία διελεύσεων των οχημάτων δημοσίων συγκοινωνιών ανά οδικό τμήμα ανά ώρα μέσα σε ένα εικοσιτετράωρο υπολογίστηκαν σύμφωνα με το πρόγραμμα του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Θεσσαλονίκης του πρώτου εξαμήνου του έτους 2012. Η κυκλοφοριακή ικανότητα των οδικών τμημάτων μειώθηκε σύμφωνα με τον αριθμό των ωριαίων διελεύσεων των ΔΣ [ΟΑΣΘ, 2012], έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η χρήση του δικτύου από τις ΔΣ. Το **Σχήμα 1** απεικονίζει το δίκτυο της Θεσσαλονίκης όπως αυτό κωδικοποιήθηκε στο κυκλοφοριακό λογισμικό.



Σχήμα 1: Το δίκτυο της Θεσσαλονίκης στο κυκλοφοριακό λογισμικό VISUM

Σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση της Γενικής Κυκλοφοριακής Μελέτης Θεσσαλονίκης (ΚΜΘ, 1999), και ανάλογα με την κυκλοφοριακή τους ικανότητα και την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα ελεύθερης ροής, τα οδικά τμήματα του δικτύου ιεραρχούνται σε 7 διαφορετικές κατηγορίες οδών. Στις κατηγορίες αυτές συμπεριλαμβάνονται οι αυτοκινητόδρομοι, οι αστικές οδοί ταχείας κυκλοφορίας, οι ράμπες εισόδου και εξόδου, οι αστικές αρτηρίες, οι κύριες συλλεκτήριες οδοί, οι τοπικές οδοί και οι χωματόδρομοι. Σε κάθε κατηγορία οδού αντιστοιχεί και μια συνάρτηση καθυστέρησης, η οποία έχει την μορφή

$$t_{cur} = t_0 * (1 + a * \left(\frac{V}{C}\right)^b)$$

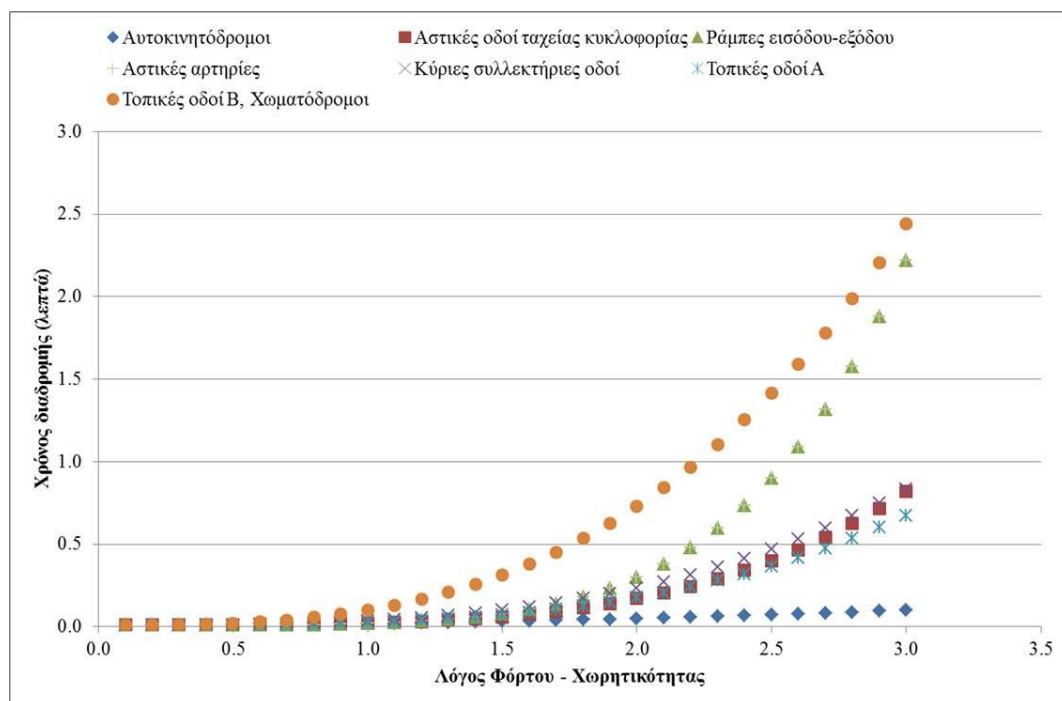
όπου t_{cur} είναι ο χρόνος διαδρομής σε κάθε οδικό τμήμα δεδομένης της καθυστέρησης εξαιτίας του κυκλοφοριακού φόρτου, t_0 είναι ο χρόνος διαδρομής σε κάθε οδικό τμήμα σε συνθήκες ελεύθερης κυκλοφοριακής ροής, a και b είναι παράμετροι και $\frac{V}{C}$ είναι ο λόγος κυκλοφοριακού φόρτου – χωρητικότητας.

Οι τιμές των παραμέτρων a και b της συνάρτησης καθυστέρησης παρουσιάζονται στον **Πίνακας 1** παρακάτω, όπως αυτές προέκυψαν μέσω διαδικασίας βαθμονόμησης (μετρήσεις ταχύτητας, κυκλοφοριακού φόρτου και χρόνου μετακίνησης σε οδικά τμήματα ανά κατηγορία οδού για το έτος 2012). Στο **Σχήμα 2** παρουσιάζονται οι καμπύλες καθυστέρησης για κάθε μια από τις συναρτήσεις αυτές ανά κατηγορία οδού.

Πίνακας 1: Τιμές παραμέτρων a και b της συνάρτησης BPR για τις κατηγορίες οδών

Κατηγορία οδικού τμήματος	Παράμετρος a	Παράμετρος b
---------------------------	----------------	----------------

1	Αυτοκινητόδρομοι	1	2
2	Αστικές οδοί ταχείας κυκλοφορίας	1	4
3	Ράμπες εισόδου-εξόδου	0,91	5
4	Αστικές αρτηρίες	0,91	5
5	Κύριες συλλεκτήριες οδοί	2,45	3,2
6	Τοπικές οδοί Α	1,58	3,4
7	Τοπικές οδοί Β, Χωματόδρομοι	9	3



Σχήμα 2: Διάγραμμα συναρτήσεων BPR για κάθε κατηγορία οδού

Ο ορισμός του ζωνικού συστήματος του Π.Σ.Θ. στο κυκλοφοριακό μοντέλο, στηρίχθηκε στη ζωνοποίηση της ΚΜΘ (1999), η οποία εμπλουτίστηκε με νέες ζώνες που επιλέχθηκαν από τις σχετικές θεωρήσεις ζωνικού συστήματος του Συμβουλίου Αστικών Συγκοινωνιών για τη μελέτη του Μετρό της Θεσσαλονίκης καθώς και το αντίστοιχο που προέκυψε από το γενικό στρατηγικό σχέδιο δημοσίων αστικών συγκοινωνιών Θεσσαλονίκης (2009). Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι δείκτες με αναφορά στο ζωνικό σύστημα της ΚΜΘ για λόγους διαχρονικής σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Έτσι, στο δίκτυο θεωρούνται 339 κυκλοφοριακές ζώνες που καλύπτουν ολόκληρο το Ν.Θ. (306 ζώνες), ενώ περιλαμβάνονται και εξωτερικές ζώνες που καλύπτουν το σύνολο των έξι γεωγραφικών διαμερισμάτων της ηπειρωτικής Ελλάδος (μία ζώνη ανά νομό της χώρας)

Η ζήτηση για μετακινήσεις μεταφέρεται στο οδικό δίκτυο από τις ζώνες μέσω 3508 συνδετήριων συνδέσμων, που ενώνουν τα κεντροειδή των ζωνών με διάφορους κόμβους. Η σύνδεση των κεντροειδών των ζωνών με τους κόμβους του δικτύου έγινε σύμφωνα με τον δείκτη προσβασιμότητας τους, αποφεύγοντας συνδέσεις ζωνών με κόμβους που ενώνουν

οδικά τμήματα υψηλής ιεραρχίας (Friedrich & Galster, 2009).

2.2 Στοιχεία ζήτησης των μετακινήσεων

Η εκτίμηση της ζήτησης των μετακινήσεων για το Π.Σ.Θ. προέκυψε έπειτα από επικαιροποίηση των αντίστοιχων δεδομένων της ΚΜΘ (1999). Για την επικαιροποίηση των μητρώων προέλευσης-προορισμού (Π-Π), έλαβαν χώρα δυο έρευνες χαρακτηριστικών των μετακινήσεων: μια τηλεφωνική έρευνα σε νοικοκυριά (δείγμα 5.043 πολιτών) κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Νοεμβρίου 2010 και μια έρευνα ερωτηματολογίου παρά την οδό σε δείγμα 36.188 πολιτών, σε 40 σημεία του κύριου οδικού δικτύου της πόλης για την εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με τις μετακινήσεις των χρηστών κατά την ίδια χρονική περίοδο.

2.2.1 Τηλεφωνική έρευνα

Η τηλεφωνική έρευνα στα νοικοκυριά αποσκοπούσε στην καταγραφή των ημερήσιων μετακινήσεων των πολιτών της Θεσσαλονίκης και των χαρακτηριστικών τους.

Συγκεκριμένα, ο κάθε ερωτώμενος περιέγραφε λεπτομερώς την κύρια του μετακίνηση την προηγούμενη ημέρα από την ημέρα διεξαγωγής του ερωτηματολογίου, δηλώνοντας στοιχεία όπως το σημείο προέλευσης και προορισμού του, την ακριβή ώρα αναχώρησης για την παραγματοποίηση της μετακίνησης και το σκοπό της μετακίνησης κλπ.

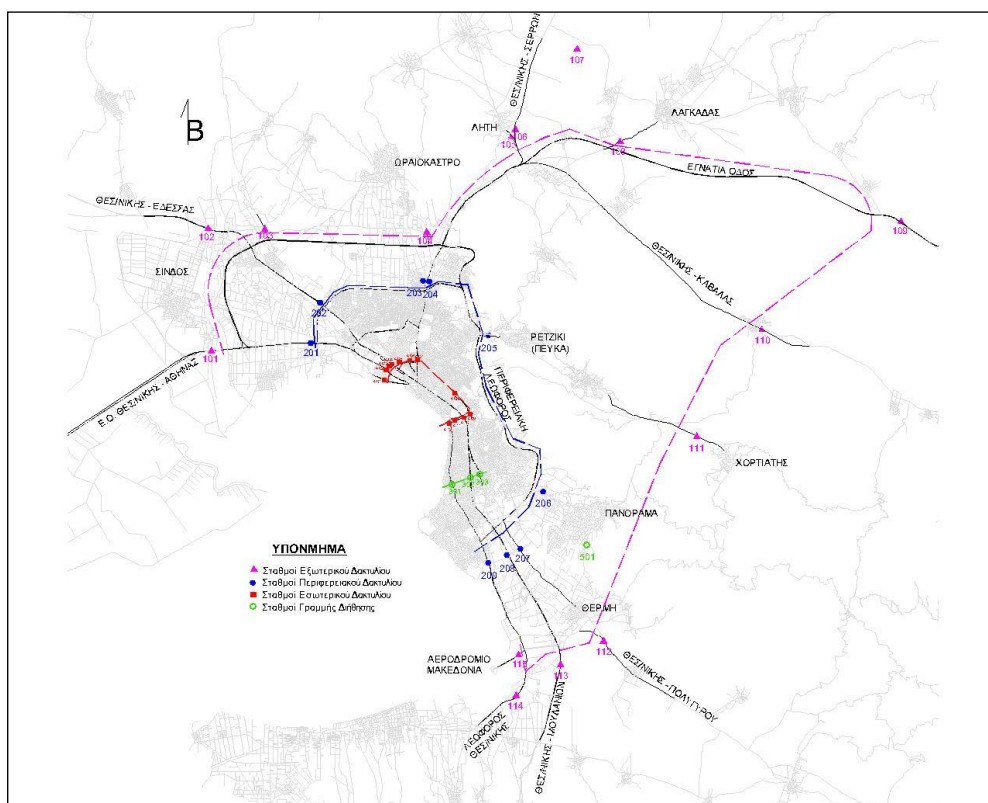
Η μέθοδος δειγματοληψίας που επιλέχτηκε ήταν τυχαία στρωματοποιημένη δειγματοληψία με βάση την επιθυμητή αναλογία στη λίστα Ταχυδρομικών Κωδίκων του Π.Σ.Θ.

2.2.2 Έρευνα παρά την οδό

Ο προσδιορισμός των βασικών χαρακτηριστικών των μετακινήσεων που διέρχονται από τους σταθμούς έρευνας έγινε διεξάγοντας τις ακόλουθες έρευνες και μετρήσεις:

- Έρευνα προέλευσης – προορισμού με συνεντεύξεις παρά την οδό στους επιβάτες των οχημάτων
- Κυκλοφοριακές μετρήσεις με μέτρηση φόρτων και σύνθεσης κυκλοφορίας, συμπληρωματικά με την έρευνα παρά την οδό και στις ίδιες θέσεις
- 24ωρες αυτόματες μετρήσεις κυκλοφοριακού φόρτου συμπληρωματικά με την έρευνα

Στην έρευνα παρά την οδό για το κάθε όχημα καταγραφόταν ο τύπος του οχήματος, το πλήθος των επιβαινόντων, το ακριβές σημείο προέλευσης και προορισμού, ο τόπος κατοικίας και ο σκοπός μετακίνησης. Το δείγμα των 36.188 ερωτηματολογίων αποτέλεσε το 5.55% του συνόλου των διερχόμενων κατά την διάρκεια του 24ώρου και χαρακτηρίζεται ικανοποιητικό.. Η Έρευνα Ερωτηματολογίων παρά την οδό και οι Κυκλοφοριακές Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε εξωτερικό, περιφερειακό και εσωτερικό δακτύλιο και σε σταθμούς που συμπληρώνουν γραμμές διήθησης (Γ.Δ.), στην μία κατεύθυνση (προς το κέντρο της Θεσσαλονίκης) όπως φαίνεται στο **Σχήμα 3**.



Σχήμα 3: Σταθμοί έρευνας παρά την οδό και μετρήσεων κυκλοφοριακών φόρτων

2.3 Υπολογιστικές διαδικασίες

2.3.1 Μοντέλο γένεσης των μετακινήσεων

Για την διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου γένεσης των μετακινήσεων υλοποιήθηκαν και οι δύο τύποι μοντέλων, παραγωγής και έλξης. Για την ανάπτυξη των μοντέλων παραγωγής των μετακινήσεων εκτιμήθηκε ο αριθμός των μετακινήσεων από και προς τις ζώνες που οι μετακινούμενοι κατοικούν έτσι συσχετίστηκαν τα δεδομένα του ερωτηματολογίου που αφορούσαν στη θέση της κατοικίας των ερωτώμενων, το πλήθος των ταξιδιών που παράγουν και τον τύπο του ταξιδιού ανάλογα με το σκοπό μετακίνησης. Για την εκτίμηση της έλξης των μετακινήσεων εκτιμήθηκε ο αριθμός των μετακινήσεων από και προς κάθε ζώνη που περιλαμβάνει το άκρο της μετακίνησης που δεν είναι κατοικία. Με αυτόν τον τρόπο συνδυάστηκε η πληροφορία που συλλέχτηκε για την θέση της εργασίας των ερωτώμενων και το πλήθος των ταξιδιών που παράγουν. Και στις δύο περιπτώσεις των μοντέλων γένεσης εκτιμήθηκαν διαφορετικά μοντέλα για κάθε σκοπό μετακίνησης. Τα μοντέλα αυτά ήταν μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης με ικανοποιητικούς συντελεστές προσδιορισμού για μεγάλο μέρος των μετακινήσεων όπως φαίνεται και στον **Πίνακα 2**.

Για να ανοιχθούν οι παραγόμενες μετακινήσεις στο σύνολο του πληθυσμού χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία της τελευταίας απογραφής (2011) ανά οικοδομικό τετράγωνο. Έπειτα, έγινε η αντιστοίχιση των οικοδομικών τετραγώνων στις κυκλοφοριακές ζώνες της μελέτης, ώστε να προκύψει ο πληθυσμός ανά ζώνη. Αντίστοιχα, για να ανοιχθούν οι ελκόμενες μετακινήσεις, δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων με την χωρική κατανομή των θέσεων εργασίας. Η πληροφορία της κατανομής των θέσεων εργασίας για την ευρύτερη

περιοχή του Π.Σ.Θ. εκτιμήθηκε βάσει στοιχείων της ΕΣΥΕ για την κατανομή των εργαζομένων ανά οικονομική δραστηριότητα. Χρησιμοποιώντας στοιχεία των εργαζομένων των εταιρειών, έγινε ανάθεση εργαζομένων σε Ταχυδρομικούς Κωδικούς. Την κατανομή αυτή ακολούθησαν ένα υποσύνολο των εργαζομένων που σχετίζονται με τις περισσότερες οικονομικές δραστηριότητες εκτός από την υγεία, την εκπαίδευση και την δημόσια διοίκηση. Η κατανομή των εργαζομένων αυτών των κατηγοριών έγινε σε σχέση με τα στοιχεία που υπάρχουν για την θέση των δημόσιων κτιρίων (σχολεία, νοσοκομεία κτλ.). Τελικά προέκυψαν ανά σκοπό μετακίνησης τα μοντέλα που φαίνονται στον **Πίνακας 2**.

Πίνακας 2: Μοντέλα παραγωγών και έλξεων μετακινήσεων

Σκοπός Μετακίνησης	Μετακινήσεις από και προς το σπίτι		Μετακινήσεις που δεν σχετίζονται με το σπίτι	
	Εργασία	Άλλο	Εργασία	Άλλο
Παραγωγές	46%	47%	3%	4%
Συντελεστής Προσαρμογής Παραγωγών	93%	92%	25%	15%
Έλξεις	59%	30%	5%	6%
Συντελεστής Προσαρμογής Έλξεων	99%	10%	80%	50%

2.3.2 Μοντέλο κατανομής μετακινήσεων στο χώρο

Για την κατανομή των παραγωγών και έλξεων στις κυκλοφοριακές ζώνες, εφαρμόστηκε το ακόλουθο μοντέλο βαρύτητας χρησιμοποιώντας τις μέσες αποστάσεις μεταξύ των κεντροειδών των ζωνών δια μέσου του φυσικού οδικού δικτύου.

$$T_{ij} = K_i K_j T_i T_j f(c_{ij})$$

$$K_i = \frac{1}{\sum_j K_j T_j f(c_{ij})}$$

$$K_j = \frac{1}{\sum_i K_i T_i f(c_{ij})}$$

Όπου

T_{ij} : το σύνολο των μετακινήσεων από τη ζώνη i στην ζώνη j .

$K_i K_j$, : οι συντελεστές που προκύπτουν με διαδικασία σύγκλισης .

$T_i T_j$: οι παραγωγές της ζώνης i και οι έλξεις της ζώνης j .

$f(c_{ij})$: οι αποστάσεις από τη ζώνη i στην ζώνη j .

.

2.3.3 Κατανομή μετακινήσεων ανά μέσο

Στα πλαίσια του παρόντος έργου δεν ήταν στόχος η ανάπτυξη μοντέλου κατανομής των μετακινήσεων ανά μέσο καθώς το έργο σχετίζεται με την κινητικότητα ιδιωτικής χρήσης

οχημάτων. Έτσι, για την κατανομή των μετακινήσεων ανά μέσο χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της τηλεφωνικής έρευνας, από τα οποία προέκυψε το ποσοστό των μετακινήσεων με Ι.Χ., ΔΣ, ταξί και μη-μηχανοκίνητα μέσα. Το ποσοστό των ΔΣ στο σύνολο των μετακινήσεων επιβεβαιώνεται και από την καταγραφή της επιβατικής κίνησης ΔΣ του ΣΑΣΘ (Παπαιωάννου, 2011).

2.3.4 Μοντέλο καταμερισμού της κυκλοφορίας

Η διαδικασία στατικού καταμερισμού της κυκλοφορίας έγινε βάσει της 1^{ης} αρχής του Wardrop και το πρόβλημα της ισορροπίας χρηστών επιλύθηκε με εφαρμογή της μεθόδου ICA (Intersection Capacity Analysis), η οποία χρησιμοποιείται για την ενσωμάτωση των καθυστερήσεων στους σηματοδοτούμενους κόμβους του δικτύου, βασίζεται σε μια επαναληπτική διαδικασία επίλυσης του προβλήματος ισορροπίας χρηστών με χρήση συναρτήσεων καθυστέρησης, οι οποίες όμως επαναπροσδιορίζονται βάσει της ανάλυσης ICA σε κάθε επανάληψη (Wardrop, 1952, Gentile & Noekel, 2009).

Το μοντέλο στατικού καταμερισμού που χρησιμοποιείται, στηρίζεται στην παρακάτω διατύπωση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης με κυρτή αντικειμενική συνάρτηση και γραμμικούς περιορισμούς:

$$\min \sum_{a \in E} \int_0^{q_a} R_a(x) dx$$

βάσει των περιορισμών

$$\begin{aligned} q_{ijr} &> 0, \forall ijr \\ \sum_r q_{ijr} &= q_{ij}, \forall ij \\ \sum_{ijr: a \in P_{ijr}} q_{ijr} &= q_a, \forall a \\ \sum_{a \in E_u^+} q_a - \sum_{a \in E_u^-} q_a &= \sum_i q_{iu} - \sum_j q_{uj} = D_u - O_u, \forall u \end{aligned}$$

όπου

E είναι το σύνολο των οδικών τμημάτων και a ένα οδικό τμήμα αυτού του συνόλου

q_a είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος στο οδικό τμήμα a

$R_a(x)$ είναι η τριβή του οδικού τμήματος a με κυκλοφοριακό φόρτο x

q_{ij} είναι η συνολική ζήτηση για μετακινήσεις από την ζώνη i προς την ζώνη j

q_{ijr} είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος στην διαδρομή r από την ζώνη i προς την ζώνη j

P_{ijr} είναι η διαδρομή r από την ζώνη i προς την ζώνη j

E_u^+ είναι το σύνολο των εισερχόμενων οδικών τμημάτων στον κόμβο u

E_u^- είναι το σύνολο των εξερχόμενων οδικών τμημάτων στον κόμβο u

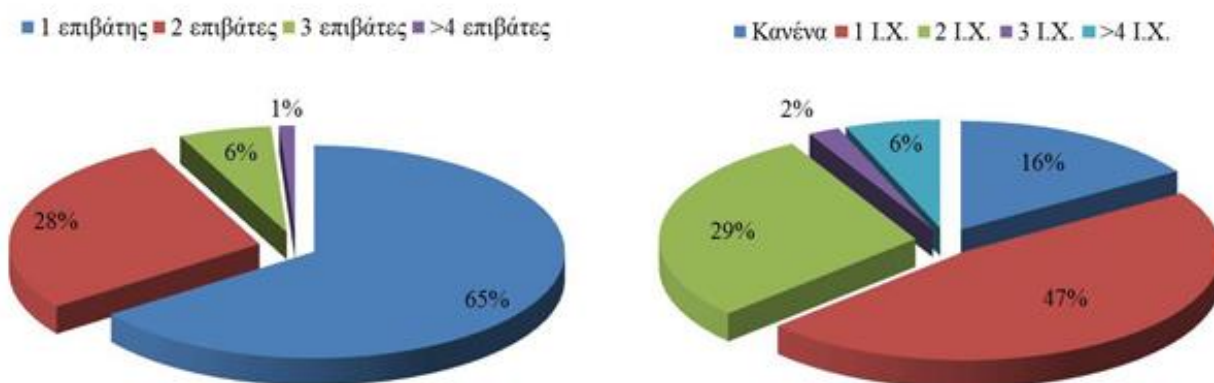
D_u είναι η κυκλοφορία που έχει προορισμό τον κόμβο u

O_u είναι η κυκλοφορία που έχει προέλευση τον κόμβο u

Η τριβή του οδικού τμήματος υπολογίζεται βάσει των συναρτήσεων καθυστέρησης BPR που παρουσιάζονται στην ενότητα 2.1.

3. Βασικοί Παράμετροι Κινητικότητας στο ΠΣΘ σύμφωνα με τα Αποτελέσματα των Ερευνών

Η τηλεφωνική έρευνα στα νοικοκυριά έδειξε ότι ο μέσος αριθμός ατόμων ανά νοικοκυριό είναι 3,03 και ο μέσος αριθμός των ατόμων ενός νοικοκυριού που έχουν άδεια οδήγησης είναι 1,75. Επίσης, το 58% των ερωτηθέντων έχει άδεια οδήγησης και το 71% κατέχει τουλάχιστον ένα Ι.Χ. όχημα. Στο **Σχήμα 4** παρουσιάζεται η κατανομή των οχημάτων ανά αριθμό επιβατών καθώς και το ποσοστό ιδιοκτησίας Ι.Χ. οχημάτων για το Π.Σ.Θ. Στην κυκλοφοριακή μελέτη του 1999, τα αντίστοιχα ποσοστά ιδιοκτησίας ήταν: 35% κανένα όχημα, 55% 1 Ι.Χ., 10% 3 ή περισσότερα Ι.Χ.

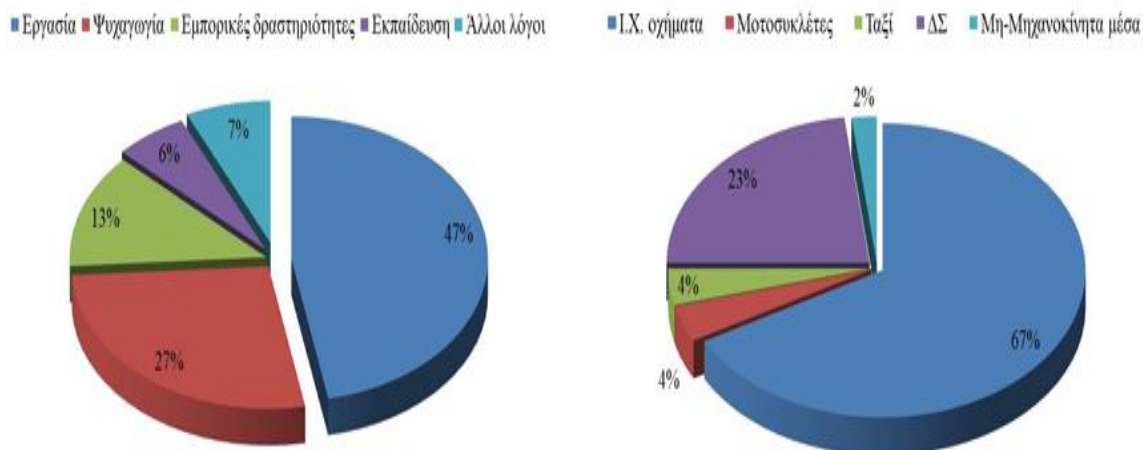


Σχήμα 4: Κατανομή των οχημάτων ανά αριθμό επιβατών και ποσοστό ιδιοκτησίας Ι.Χ. οχημάτων

Το 50% των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται έχουν ως κύριο σκοπό την επιστροφή στο σπίτι. Από τις υπόλοιπες, και όπως φαίνεται στο

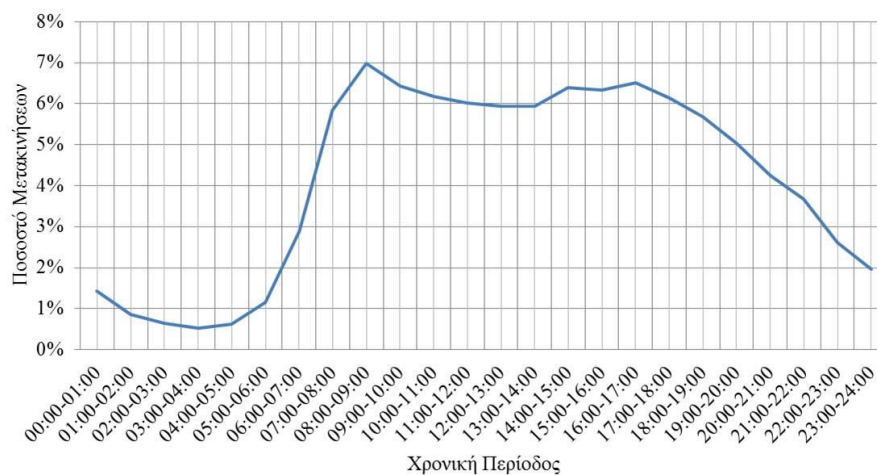
Σχήμα 5, το 47,6% των μετακινήσεων γίνεται με σκοπό την εργασία και το 26,8% με σκοπό την αναψυχή. Τα ποσοστά των μετακινήσεων λόγω εμπορικών δραστηριοτήτων, εκπαιδευτικών και άλλων λόγων είναι αντίστοιχα 12,9%, 5,8% και 6,8%. Στην κυκλοφοριακή μελέτη του 1999 για το ΠΣΘ, τα αντίστοιχα ποσοστά ήταν: 44% επιστροφή στο σπίτι, 23,5% εργασία, 8% εκπαίδευση, 8% ψυχαγωγία, 1% εμπορικές δραστηριότητες και 14,5% άλλοι λόγοι. Στο

Σχήμα 5, παρουσιάζεται επίσης η κατανομή των μετακινήσεων ανά μέσο, όπου φαίνεται ότι η πλειοψηφία των μετακινήσεων γίνεται με Ι.Χ. οχήματα, ενώ το 23% γίνεται με ΔΣ και 2% με μη-μηχανοκίνητα μέσα. Στην κυκλοφοριακή μελέτη του 2000 για το ΠΣΘ, τα αντίστοιχα ποσοστά της κατανομής των μετακινήσεων ανά μέσο ήταν: 50% Ι.Χ. οχήματα, 5% Μοτοσυκλέτες, 33% ΔΣ, 5% Ταξί, 7% Λοιπά Μέσα Μεταφοράς.



Σχήμα 5: Ποσοστιαία κατανομή των μετακινήσεων ανά σκοπό μετακίνησης και ανά μέσο μεταφοράς

Το μητρώο Π-Π που προέκυψε από τις έρευνες για τις συνολικές ημερήσιες μετακινήσεις, διαιρέθηκε σε ωριαία χρονικά διαστήματα (24 μητρώα Π-Π) με βάση το προφίλ που προέκυψε από την έρευνα παρά την οδό έτσι ώστε κάθε μετακίνηση να αποδίδεται στο αντίστοιχο χρονικό διάστημα. Η χρονική διακύμανση των μετρούμενων κυκλοφοριακών φόρτων παρουσιάζεται στο **Σχήμα 6**, όπου οι πρωινές και απογευματινές ώρες αιχμής της κυκλοφορίας παρατηρούνται μεταξύ των χρονικών περιόδων 08:00-09:00 και 16:00-17:00 αντίστοιχα.



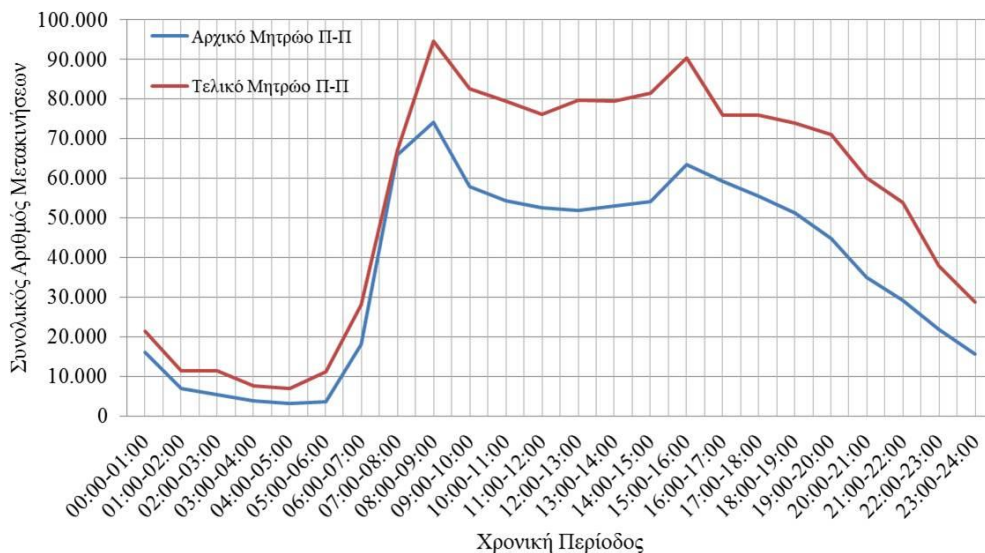
Σχήμα 6: Χρονική διακύμανση των μετακινήσεων

Με στόχο την προσαρμογή της εκτιμώμενης ζήτησης, τα 24 μητρώα διορθώθηκαν μέσω της μεθόδου διόρθωσης μητρώων TFlowFuzzy (Rosinowski, 1994), η συνάρτηση αποτίμησης της οποίας έχει την μορφή

$$q(f) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(f_{ij} * \ln \left(\frac{f_{ij}}{\hat{f}_{ij}} - f_{ij} \right) \right)$$

όπου f_{ij} είναι η ζήτηση για μετακινήσεις μεταξύ των ζευγών προέλευσης-προορισμού i και j στο αρχικό μητρώο και \hat{f}_{ij} είναι η ζήτηση για μετακινήσεις μεταξύ των ζευγών προέλευσης-προορισμού i και j στο νέο μητρώο που υπολογίζεται. Η διόρθωση των μητρώων έγινε βάσει διαθέσιμων κυκλοφοριακών μετρήσεων σε 398 θέσεις στο δίκτυο. Οι θέσεις αυτές αφορούν είτε σε μετρήσεις οι οποίες γίνονται αυτόματα σε καθημερινή βάση (20 θέσεις επαγωγικών βρόγχων σε όλο το ΠΣΘ και 33 θέσεις μέτρησης με κάμερες ή radar στην κεντρική περιοχή της πόλης ελεγχόμενες από την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας (Π.Κ.Μ.), είτε σε μετρήσεις που έγιναν σε κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή από κινητά συνεργεία (σε 166 θέσεις από την Π.Κ.Μ. και σε 179 θέσεις από το Ινστιτούτο Βιώσιμης Κινητικότητας και Δικτύων Μεταφορών).

Τελικά, η συνολική ζήτηση των μετακινήσεων μια τυπικής ημέρας της εβδομάδας εκτιμάται ότι ανέρχεται στις 1.300.000 και στο **Σχήμα 7** παρουσιάζεται η ωριαία διακύμανση της ζήτησης των μετακινήσεων του αρχικού (βάσει ερευνών) και τελικού (έπειτα από τη διαδικασία διόρθωσης) μητρώου Π-Π.



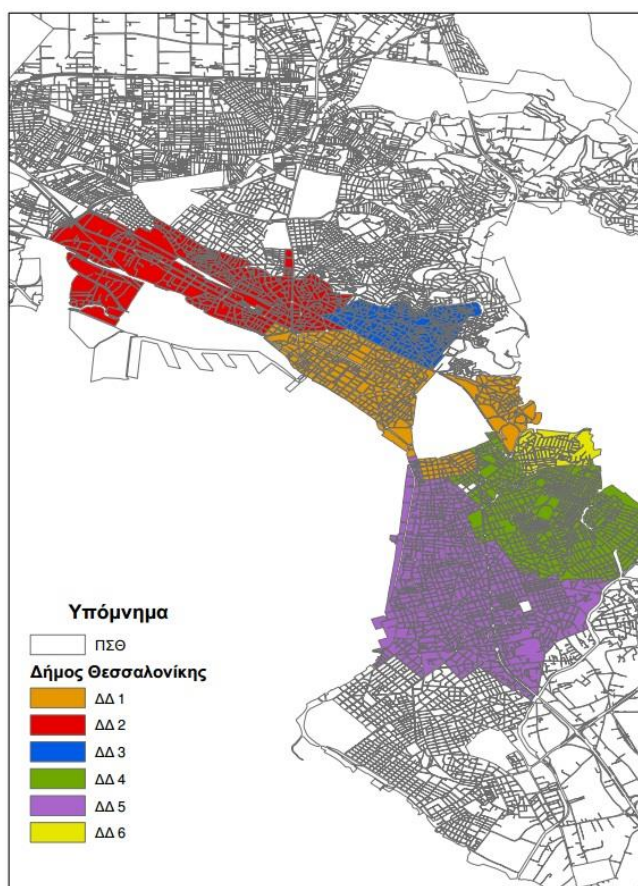
Σχήμα 7: Ωριαία διακύμανση αριθμού μετακινήσεων στο αρχικό και τελικό μητρώο Π-Π

4. Βασικοί Παράμετροι Κινητικότητας στο ΠΣΘ σύμφωνα με τα Αποτελέσματα του Μοντέλου Στατικού Καταμερισμού

Ο καθημερινός μέσος όρος των μετακινήσεων που έλκει το κέντρο της πόλης συνολικά εκτιμάται σε 11,5% του συνόλου των μετακινήσεων. Ο **Πίνακας 3** παρουσιάζει τη ποσοστιαία κατανομή των ελκόμενων μετακινήσεων ανά Δημοτικό Διαμέρισμα (ΔΔ) που απεικονίζονται στο **Σχήμα 8**.

Πίνακας 3: Συνολικός αριθμός μετακινήσεων ανά δημοτικό διαμέρισμα

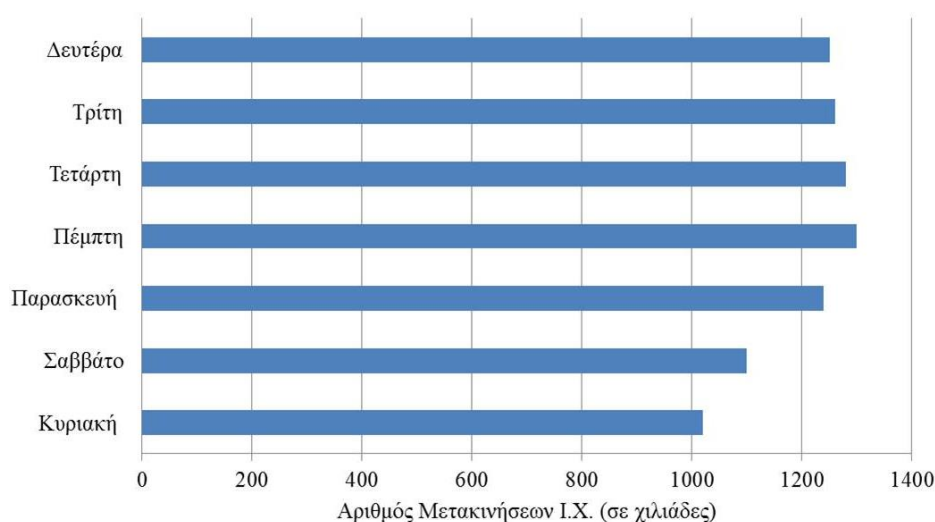
Αριθμός Μετακινήσεων μίας τυπικής ημέρας	1.306.000	
ΔΔ 1	132.000	10,1%
ΔΔ 2	76.300	5,8%
ΔΔ 3	40.800	3,1%
ΔΔ 4	100.900	7,7%
ΔΔ 5	155.200	11,9%
ΔΔ 6	10.800	0,8%



Σχήμα 8: Δημοτικά Διαμερίσματα Δήμου Θεσσαλονίκης

Κατά το διάστημα της πρωινής αιχμής της κυκλοφορίας, το 32% του συνόλου των μετακινήσεων προέρχονται από το Δήμο Θεσσαλονίκης και το 37% του συνόλου των μετακινήσεων έχουν προορισμό το Δήμο Θεσσαλονίκης. Το ποσοστό των μετακινήσεων με προέλευση και προορισμό το κέντρο της πόλης (ΔΔ 1) είναι 4,9% και 8,7% αντίστοιχα.

Στο **Σχήμα 9** παρουσιάζεται η μέση εβδομαδιαία διακύμανση της ζήτησης των μετακινήσεων έπειτα από διόρθωση του μητρώου ΠΠ βάσει ημερήσιων μετρήσεων κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο σε 42 θέσεις του δικτύου για την χρονική περίοδο Ιούνιος 2012-Μάρτιος 2013.



Σχήμα 9: Εβδομαδιαία διακύμανση αριθμού μετακινήσεων

Κατά τη διάρκεια της πρωινής ώρας αιχμής μιας τυπικής καθημερινής, ο μέσος χρόνος ταξιδιού για όλες τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται στο δίκτυο της Θεσσαλονίκης είναι 33,13 λεπτά και η μέση ταχύτητα ενός οχήματος είναι 36,8 km / h. Στην κυκλοφοριακή μελέτη του 2000 για το ΠΣΘ, ο μέσος ημερήσιος χρόνος μετακίνησης ήταν 24 λεπτά, ενώ κατά την πρωινή ώρα αιχμής ανερχόταν στα 43 λεπτά, γεγονός που καταδεικνύει την πτωτική τάση της συνολικής κινητικότητας στο ΠΣΘ.

Ο **Πίνακας 4** παρουσιάζει τους ωριαίους κυκλοφοριακούς φόρτους κατά μήκος των κύριων οδικών αξόνων του δικτύου της Θεσσαλονίκης κατά τη διάρκεια της πρωινής ώρας αιχμής μιας τυπικής καθημερινής όπως αυτοί μετρήθηκαν αλλά και προέκυψαν από το κυκλοφοριακό μοντέλο. Από τον πίνακα φαίνεται ότι η μεγαλύτερη μεταβολή μεταξύ μετρούμενων και εκτιμώμενων φόρτων είναι της τάξης του 3%, ενδεικτικό της πιστότητας του μοντέλου καταμερισμού των μετακινήσεων που αναπτύχθηκε.

Πίνακας 4: Μετρήσεις και εκτιμήσεις ωριαίων κυκλοφοριακών φόρτων βασικών αξόνων του δικτύου

Οδικός Άξονας	Από	Προς	Μετρούμενοι Φόρτοι	Εκτιμώμενοι Φόρτοι	% Μεταβολή μεταξύ Μετρούμενων και Εκτιμώμενων Φόρτων
26 ^{ης} Οκτωβρίου	Σαφούς	Αισώπου	1.150	1.114	-3,2%
Αγίου Δημητρίου	Ζωγράφου	Ε. Αμόνης	1.008	998	-1,0%
Αγίου Δημητρίου	Αμόνης	Ζωγράφου	1.316	1.291	-1,9%

Σβόλου	Απελλού	Π.Π.Γερμανού	610	617	1,1%
Ανδρόνικου	3η Σεπτεμβρίου	Χ.Α.Ν.Θ.	2.897	2.816	-2,9%
Εγνατία	Έκθεση	Σιντριβάνι	1.579	1.617	2,4%
Βενιζέλου	Β. Ηρακλείου	Ερμού	488	482	-1,2%
Ερμού	Αριστοτέλους	Κ. Ντηλ	395	395	0,0%
Δραγούμη	Τσιμισκή	Μητροπόλεως	554	563	1,6%
Κουντουριώτου	Δικαστηρίων	Ν. Λήμνου	1.551	1.617	4,1%
Λ. Νίκης	Γούναρη	Φωκά	1.329	1.315	-1,1%
Λ. Στρατού	Δραγούμη	Βενιζέλου	2.032	1.977	-2,8%
Λ. Στρατού	Χ.Α.Ν.Θ.	3 ^η Σεπτεμβρίου	545	565	3,5%
Λ. Στρατού	3 ^η Σεπτεμβρίου	Χ.Α.Ν.Θ.	1.704	1.651	-3,2%
Μητροπόλεως	Βενιζέλου	Κομνηνών	345	350	1,4%
Ν. Γερμανού	Λ. Πύργος	Χ.Α.Ν.Θ.	653	629	-3,8%
Π. Μελά	Μακ. Κινγκ	Γερμανού	494	497	0,6%
Πολυτεχνείου	Λήμνου	Δικαστηρίων	3.412	3.490	2,2%
Τσιμισκή	Χ.Α.Ν.Θ.	Διαλλέτη	2.105	2.093	-0,6%
Τσιμισκή	Κομνηνών	Βενιζέλου	3.575	3.490	-2,4%

5. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω απόλυτα και συγκριτικά αποτελέσματα των βασικών δεικτών κινητικότητας στο ΠΣΘ προκύπτει ότι υπάρχει αύξηση του συντελεστή ιδιοκτησίας ΙΧ , με αντίστοιχη αύξηση του ποσοστού χρήσης ΙΧ στις καθημερινές μετακινήσεις. Το ποσοστό των Δημοσίων Συγκοινωνιών παρουσιάζει μικρή μείωση κερδίζοντας κυρίως από τα μη μηχανοκίνητα μέσα γεγονός που μπορεί να αποδοθεί και στις βελτιώσεις που έχουν πραγματοποιηθεί κατά τα τελευταία χρόνια για την καλύτερη κάλυψη της περιοχής του ΠΣΘ από το δίκτυο των λεωφορείων. Παρατηρείται αύξηση των μετακινήσεων με σκοπό τις εμπορικές δραστηριότητες, γεγονός που αποδίδεται στην ανάπτυξη εμπορικών κέντρων στην περιφέρεια του ΠΣΘ. Οι μετακινήσεις για εργασία και επιστροφή στο σπίτι διατηρούνται στα ίδια αποτελέσματα . Μικρή μετατόπιση στα διαστήματα της πρωινής ώρας αιχμής που πλέον οριοθετείται στο διάστημα 8-9 και μείωση της διάρκειας των πρωινών και απογευματινών αιχμών. Το εβδομαδιαίο προφίλ της ζήτησης αν και αναδεικνύει την Πέμπτη ως ημέρα με την μεγαλύτερη ζήτηση καταδεικνύει γενικά ισοβαρή φόρτιση όλες τις ημέρες της εβδομάδας περιλαμβανομένου και του Σαββάτου. Τα δύο τελευταία συμπεράσματα μπορούν να εξηγηθούν από την αλλαγή στο εργασιακό προφίλ των κατοίκων της πόλης και αξίζει να μελετηθούν περαιτέρω.

Η κεντρική περιοχή του ΠΣΘ παραμένει ο βασικότερος πόλος παραγωγής και έλξης μετακινήσεων τόσο κατά τα διαστήματα αιχμής όσο και για το σύνολο της ημέρας αναδεικνύοντας το σημαντικό πολυδιάστατο λειτουργικό ρόλο του κέντρου της πόλης παρά την δημιουργία νέων χρήσεων εμπορίου και αναψυχής που αναπτύχθηκαν περιφερειακά της πόλης.

Αναφορές – Βιβλιογραφία

Friedrich M., “A multi-modal transport model for integrated planning” in *Selected Proceedings from the Eighth World Conference on Transport Research*, Elsevier, Antwerp, Belgium H. Meersman, E. Van de Voorde, W. Winkelmanns (Eds.), Vol. 2, 1999.

Friedrich M., M. Galster, “Methods for generating connectors in transport planning models”, *TRB Annual Meeting 2009*, Washington D.C.

Gentile G., K. Noekel, “Linear User Cost Equilibrium: the new algorithm for traffic assignment in VISUM”, *Proceedings of European Transport Conference*, Leeuwenhorst Conference Centre, Netherlands, 2009.

Geodata, <http://www.geodata.gov.gr/geodata/> , accessed on 28/12/2012

Mitsakis E., SalanovaGrau J. M., Chrysohoou E., Aifadopoulou G., “A robust method for real time estimation of travel time for dense urban road networks using point-to-point detectors”, *TRB Annual Meeting 2013*, Washington D.C.

Morfoulaki M., Mitsakis E., Chrysostomou K., Stamos I. “The contribution of urban mobility management to trip planning and the environmental upgrade of urban areas”, *Procedia: Social and Behavioral Sciences* (20), 162-170, 2011.

Organization of Urban Transportation of Thessaloniki, www.oasth.gr, accessed on 28/12/2012

Papaioannou P. (2011). “ThePTA, the perspective of Thessaloniki’s Integrated Authority”

Rosinowski J., “Entwicklung und Implementierung eines ÖPNV-Matrixkorrekturverfahrens mit Hilfe von Methoden der Theorie unscharfer Mengen (Fuzzy-Sets-Theorie)“, Master thesis, University of Karlsruhe, 1994.

Wardrop J.G, “Some theoretical aspects of road traffic research,” *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*, Part II, 325–378., 1952.

Γενική μελέτη μεταφορών και κυκλοφορίας για το πολεοδομικό συγκρότημα και την περιαστική ζώνη Θεσσαλονίκης - β’ φαση (ΚΜΘ), ΟΡΘΕ, 1999

Στατιστική Υπηρεσία, www.statistics.gr, accessed on 27/12/2012

Τεχνικός σύμβουλος υποστήριξης του ΥΜΕ για την υλοποίηση του γενικού στρατηγικού σχεδίου δημοσίων αστικών συγκοινωνιών της Θεσσαλονίκης», IMET 2009