



ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΠΙΒΟΛΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΔΙΟΔΙΩΝ
ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Γεώργιος ΣΑΡΛΑΣ,

Υποψήφιος Αγρ. & Τοπογράφος Μηχ.
Αριθμός Μητρώου: 06103016

Επιβλέποντες:

Πέτρος ΒΥΘΟΥΛΚΑΣ +
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κωνσταντίνος ΑΝΤΩΝΙΟΥ,
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

EFFECTS OF URBAN TOLLS ON
ATHENS ROAD NETWORK BASED ON
A SIMULATION DYNAMIC MODEL

Georgios SARLAS

Cand. Rural & Survey Engineer

Supervisors:

Petros VYTHOULKAS +
Assistant Professor (NTUA)

Constantinos ANTONIOU,
Assistant Professor (NTUA)



**ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΠΙΒΟΛΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΔΙΟΔΙΩΝ
ΣΤΟ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

Γεώργιος ΣΑΡΛΑΣ,
Υποψήφιος Αγρ. & Τοπογράφος Μηχ.
Αριθμός Μητρώου: 06103016

Επιβλέποντες:
Πέτρος ΒΥΘΟΥΛΚΑΣ +
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Κωνσταντίνος ΑΝΤΩΝΙΟΥ,
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**EFFECTS OF URBAN TOLLS ON
ATHENS ROAD NETWORK BASED ON
A SIMULATION DYNAMIC MODEL**

Georgios SARLAS
Cand. Rural & Survey Engineer

Supervisors:
+ Petros VYTHOULKAS,
Assistant Professor (NTUA)

Constantinos ANTONIOU,
Assistant Professor (NTUA)

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....
Κ. Αντωνίου
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Β. Ψαριανός
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Α. Βλαστός
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2009

Copyright © Γεώργιος Σαρλάς, Οκτώβριος 2009
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

*Στον Πέτρο,
εξαιρετικό καθηγητή & άνθρωπο*

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία μου ανατέθηκε από τον αξιομνημόνευτο Πέτρο Βυθούλκα, επίκουρο καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, την καθοδήγηση, τις συμβουλές, αλλά και τη βοήθεια που με προθυμία πάντα μου παρείχε, όποτε και αν αυτή απαιτήθηκε. Δυστυχώς δεν κατάφερα να ολοκληρώσω τη διπλωματική μου εργασία υπό την επίβλεψή του, ωστόσο ελπίζω ότι το αποτέλεσμα αυτής θα τον ικανοποιούσε.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Αντωνίου, επίκουρο καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., για τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση του κατά το στάδιο εκπόνησης της εργασίας, και την καθοριστική συμβολή του για τη συνέχιση και ολοκλήρωσή της.

Θα ήθελα τέλος να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Μηλάκη, ερευνητή Ε.Μ.Π., για τη βοήθειά του και την παραχώρηση αναγκαίων στοιχείων για τη διπλωματική εργασία, τον κ. Πολύβιο Μουκούλη, υποψήφιο διδάκτωρ Ε.Μ.Π., για τη σημαντική βοήθεια που μου παρείχε στο πεδίο εφαρμογής των G.I.S., την Εύα Κάζαγλη για την πολύτιμη συνεισφορά της, καθώς και τους φίλους και την οικογένειά μου.

Πρόλογος

Η παρούσα μελέτη συνιστά μία προσπάθεια αξιολόγησης των επιπτώσεων της επιβολής του μέτρου αστικών διοδίων σε περιοχές του οδικού δικτύου της Αθήνας. Το μέτρο αυτό αποτελεί ένα από τα πλέον διαδεδομένα μέτρα διαχείρισης της ζήτησης και έχει εφαρμοσθεί σε αρκετές μεγάλες πόλεις παγκοσμίως (Λονδίνο, Στοκχόλμη, Σιγκαπούρη). Η εφαρμογή του μέτρου χρέωσης στο κέντρο της Αθήνας, αποτελεί ένα θέμα που έχει προκύψει τα τελευταία χρόνια, με δεδομένη τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για μετακίνηση εντός και περιφερειακά του κέντρου της πόλης.

Στα πλαίσια της εργασίας έγινε μακροσκοπική ανάλυση του οδικού δικτύου της πόλης μέσω *δυναμικών μοντέλων προσομοίωσης* στο λογισμικό σχεδιασμού μεταφορών *VISUM*, η άδεια λειτουργίας του οποίου διατέθηκε από το Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής (Ε.Σ.Τε.), της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Τα εξαγόμενα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά που προέκυψαν για το δίκτυο αξιοποιήθηκαν ώστε να γίνει μία συνολική αξιολόγηση των επιπτώσεων που θα επιφέρει η δυνητική επιβολή του μέτρου.

Η συγκεκριμένη έρευνα εμπεριέχει κάποιους περιορισμούς, όπως το γεγονός ότι δεν λαμβάνει υπόψη την επιλογή μέσου, ή την πιθανότητα ματαίωσης της μετακίνησης, και έτσι συνιστάται περαιτέρω έρευνα επί του συγκεκριμένου θέματος ώστε να προκύψει ένα πιο ακριβές πλαίσιο εκτίμησης των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της χρήσης πολιτικών τιμολόγησης, ή άλλων μέτρων περιορισμού και ανακατανομής των μετακινήσεων.

*Σαρλάς Γεώργιος
Αθήνα, Νοέμβριος 2009*

The only way to solve the traffic problems of the country is to pass a law that only paid – for cars are allowed to use the highways. That would make traffic so scarce, we could use our boulevards for children' s playgrounds.

*Will Rogers quotes
(American entertainer, 1879-1935)*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
EXTENSIVE SUMMARY	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1. Γενική Επισκόπηση.....	5
1.2. Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας	7
1.3. Μεθοδολογία – Υλοποίηση	8
1.4. Διάρθρωση Εργασίας.....	9
2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	11
2.1. Η Προσφορά και η Ζήτηση στον Τομέα των Μεταφορών	11
2.1.1. Χαρακτηριστικά της ζήτησης για μετακίνηση	11
2.1.2. Χαρακτηριστικά της προσφοράς για μετακίνηση	13
2.1.3. Αλληλεπίδραση προσφοράς και ζήτησης	14
2.2. Διαδικασία Ορθολογικού Σχεδιασμού	16
2.2.1. Ορισμός στόχων	16
2.2.2. Εντοπισμός προβλημάτων	17
2.2.3. Γένεση εναλλακτικών λύσεων.....	17
2.2.4. Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων	18
2.2.5. Εφαρμογή σχεδίου και παρακολούθηση εφαρμογής	18
2.3. Μοντέλα Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού	19
2.3.1. Ορισμός περιοχής μελέτης και καθορισμός εσωτερικών και εξωτερικών ζωνών.....	19
2.3.2. Συλλογή στοιχείων	20
2.3.3. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου	20
2.3.4. Εξέλιξη των συγκοινωνιακών μοντέλων	23
2.3.5. Βαθμονόμηση και έλεγχος αξιοπιστίας του συγκοινωνιακού μοντέλου	23
2.3.6. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού	23
2.3.7. Εφαρμογή του μοντέλου	24
2.3.8. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.....	24
3. ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ	26
3.1. Εισαγωγικά.....	26
3.2. Η Οικονομική Θεωρία της Χρέωσης για τη Χρήση των Αστικών Οδών	26
3.3. Στόχοι Επιβολής Χρέωσης	28
3.3.1. Οικονομική αποδοτικότητα στο σύστημα μεταφορών	29
3.3.2. Μείωση κυκλοφοριακής συμφόρησης	29
3.3.3. Χρήσεις γης.....	29
3.3.4. Προσβασιμότητα	29
3.3.5. Οικονομική ανάπτυξη.....	30
3.3.6. Περιβαλλοντική βελτίωση	30
3.3.7. Οδική ασφάλεια.....	30
3.3.8. Ισότητα	30
3.3.9. Συγκέντρωση κεφαλαίων και χρηματοδότηση υποδομών.....	31
3.4. Συμβατότητα Στόχων.....	32
3.5. Βασικά Χαρακτηριστικά Τρόπων Χρέωσης.....	32
4. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ VISUM.....	34
4.1. Γενικά	34
4.1.1. Πεδία εφαρμογής για θέματα σχεδιασμού των συστημάτων μεταφορών.....	36
4.2. Περιγραφή Συγκοινωνιακού Μοντέλου	36

4.3.	Μοντέλο Δικτύου	37
4.3.1.	Συστήματα μεταφορών	38
4.3.2.	Σύνδεση προσφοράς και ζήτησης για μετακίνηση.....	39
4.3.3.	Αντικείμενα μοντέλου δικτύου.....	39
4.4.	Μοντέλο Ζήτησης	43
4.4.1.	Χρονική κατανομή της ζήτησης.....	44
4.5.	Μοντέλα Επιδράσεων	45
4.5.1.	Μοντέλα χρήστη (User model).....	45
4.5.2.	Χρονικές και χωρικές διακρίσεις στα αποτελέσματα των μοντέλων	46
4.5.3.	Χρονικές περίοδοι ανάλυσης και προβολή αυτών	47
4.5.4.	Εντολές καταμερισμού στο δίκτυο	48
5.	ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ	50
5.1.	Εισαγωγή & Πεδία Εφαρμογής	50
5.2.	Επισκόπηση Μοντέλου	50
5.3.	Μαθηματικό Πλαίσιο	53
5.4.	Μοντέλο Απόδοσης Δικτύου	57
5.4.1.	Μοντέλο ροής εξόδου και χρόνου προσπέλασης για χρονικά μεταβαλλόμενη χωρητικότητα εξόδου.....	59
5.4.2.	Μοντέλο χωρητικότητας εισόδου	64
5.4.3.	Μοντέλο χωρητικότητας εξόδου	67
5.4.4.	Μοντέλο κόστους τόξου	68
5.5.	Φόρτιση Δικτύου	68
5.5.1.	Συνεχές πρόβλημα δυναμικού συντομότερου μονοπατιού	68
5.5.2.	Επιλογή μονοπατιού και μοντέλα διάδοσης της ροής στο δίκτυο (Network Flow Propagation Models)	69
5.6.	Μοντέλο Δυναμικού Καταμερισμού Ισορροπίας (Dynamic User Equilibrium)	70
5.6.1.	Η ντετερμινιστική περίπτωση.....	71
5.6.2.	Η στοχαστική περίπτωση	72
6.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	73
6.1.	Εισαγωγικά	73
6.2.	Μοντέλο Προσφοράς Μετακίνησης	74
6.2.1.	Κυκλοφοριακές ζώνες	74
6.2.2.	Σύνδεσμοι	75
6.2.3.	Σύνδεσμοι κεντροειδών	77
6.2.4.	Στρέφουσες κινήσεις.....	78
6.3.	Μοντέλο Ζήτησης Μετακίνησης	79
6.3.1.	Συνολική ημερήσια ζήτηση	81
6.3.2.	Χρονική κατανομή ζήτησης.....	82
6.4.	Αλγόριθμος Δυναμικού Καταμερισμού	83
6.4.1.	Γενικευμένο κόστος.....	84
6.4.2.	Χρονικά διαστήματα δυναμικού καταμερισμού.....	85
6.4.3.	Βασικές παράμετροι δυναμικού καταμερισμού.....	87
6.4.4.	Αποτελέσματα δυναμικού καταμερισμού.....	87
6.5.	Σενάρια	88
7.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	91
7.1.	Αποτελέσματα Σεναρίων Αναφοράς	91
7.1.1.	Εισροή οχημάτων στη ζώνη χρέωσης.....	91
7.1.2.	Οχηματοώρες	93
7.1.3.	Οχηματοχιλιόμετρα	97
7.1.4.	Επιπτώσεις μέτρου αστικών διοδίων σε συγκεκριμένες θέσεις του δικτύου	102
7.2.	Αποτελέσματα Σεναρίων Ανάλυσης Ευαισθησίας	109

7.2.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των εφαρμογών του μέτρου για ίδια χρέωση και διαφορετική ζήτηση.....	109
7.2.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ της εφαρμογής του μέτρου με ταυτόχρονη μείωση της ζήτησης, και της μη εφαρμογής του με διατήρηση του αρχικού επιπέδου ζήτησης.....	116
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	118
8.1. Συμπεράσματα	118
8.2. Κριτική Αξιολόγηση – Προτάσεις	121
8.3. Μελλοντικές Προσπάθειες	122

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	124
--------------------------	------------

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2. 1: Η καμπύλη ζήτησης για μετακίνηση.....	12
Διάγραμμα 2. 2: Η διαφοροποίηση της ζήτησης και η σχέση της με τη λειτουργική ικανότητα του συστήματος (Βυθούλκας Π., 2008)	12
Διάγραμμα 2. 3: Η καμπύλη προσφοράς (χωρητικότητας) για μετακίνηση.....	13
Διάγραμμα 2. 4: Η θέση ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.....	14
Διάγραμμα 2. 5: Η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ προσφοράς και ζήτησης (Βυθούλκας Π., 2008) ..	16
Διάγραμμα 2. 6: Η δομή της διαδικασίας του ορθολογικού σχεδιασμού	17
Διάγραμμα 2. 7: Η γενική δομή της διαδικασίας ανάπτυξης μοντέλων συγκοινωνιακού σχεδιασμού ..	20
Διάγραμμα 2. 8: Το μοντέλο των τεσσάρων βημάτων	21
Διάγραμμα 4. 1: Διαδικασία σχεδιασμού	34
Διάγραμμα 4. 2: Το συγκοινωνιακό μοντέλο	37
Διάγραμμα 4. 3: Παράδειγμα χρονικής κατανομής της ζήτησης σε 4 χρονικά τμήματα των 30 λεπτών (VISUM User Manual, 2006)	45
Διάγραμμα 4. 4: Σύνδεση διαφορετικών περιόδων ανάλυσης (VISUM User Manual, 2006).....	47
Διάγραμμα 5. 1: Πρόβλημα δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας DUE (VISUM User Manual, 2006) ..	51
Διάγραμμα 5. 2: Επίπεδα χρονικής προσέγγισης (αριστερή πλευρά) και προφίλ χρονικής προσέγγισης (δεξιά πλευρά) στο πρόβλημα συνεχούς φόρτισης του δυναμικού δικτύου (VISUM User Manual, 2006)	52
Διάγραμμα 5. 3: Σύστημα καθορισμού σταθερού σημείου για την WDDTA με διαρροή συμφόρησης προς τα πίσω (VISUM User Manual, 2006)	52
Διάγραμμα 5. 4: Αναδρομικές σχέσεις της χρονικής στιγμής εξόδου από το μονοπάτι, της χρονικής στιγμής εισόδου, και του κόστους (VISUM User Manual, 2006)	55
Διάγραμμα 5. 5: Το υιοθετημένο παραβολικό – τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα, που εκφράζει τη σχέση μεταξύ ροής οχημάτων, ταχύτητας και πυκνότητας κατά μήκος ενός τόξου (VISUM User Manual, 2006)	56
Διάγραμμα 5. 6: Το τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα που προτείνεται για τους αστικούς συνδέσμους (VISUM User Manual, 2006)	57
Διάγραμμα 5. 7: Η διαδικασία του μοντέλου απόδοσης δικτύου (VISUM User Manual, 2006)	58
Διάγραμμα 5. 8: Τόξο με χρονικά μεταβαλλόμενη χωρητικότητα (VISUM User Manual, 2006)	60
Διάγραμμα 5. 9: Το μοντέλο ροής που προκύπτει από τη θεωρία απλών κινηματικών κυμάτων (VISUM User Manual, 2006)	61
Διάγραμμα 5. 10: Πρότυπο ροής που προέκυψε από το μοντέλο μέσου κινηματικού κύματος (VISUM User Manual, 2006)	62
Διάγραμμα 5. 11: Προσδιορισμός του υποκρίσιμου χρόνου εξόδου από το τόξο (VISUM User Manual, 2006)	63
Διάγραμμα 5. 12: Τροχιές του υπερκρίσιμου κινηματικού κύματος και των οχημάτων που το τέμνουν (VISUM User Manual, 2006)	65
Διάγραμμα 5. 13: Γραφικός προσδιορισμός χρονικού προφίλ χωρητικότητας εισόδου στην περίπτωση του τριγωνικού θεμελιώδους διαγράμματος, κατά τμήματα σταθερή εισροή, και σταθερή χωρητικότητα εξόδου (VISUM User Manual, 2006).....	66

Διάγραμμα 5. 14: Μεταβλητές και μοντέλα για τη διατύπωση σταθερού σημείου για το μοντέλο απόδοσης δικτύου (αριστερή πλευρά) και για το δυναμικό καταμερισμό κυκλοφορίας με διαρροή προς τα πίσω (δεξιά πλευρά) (VISUM User Manual, 2006).....	71
Διάγραμμα 7. 1: Αριθμός οχημάτων που εισέρχονται στη ζώνη χρέωσης ανά χρονικό διάστημα και σενάριο	92
Διάγραμμα 7. 2: Οχηματοώρες στο δίκτυο εντός της ζώνης χρέωσης.....	94
Διάγραμμα 7. 3: Οχηματοώρες στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης	95
Διάγραμμα 7. 4: Οχηματοώρες στο σύνολο του δικτύου.....	97
Διάγραμμα 7. 5: Οχηματοχιλιόμετρα στο δίκτυο εντός της ζώνης χρέωσης	98
Διάγραμμα 7. 6: Οχηματοχιλιόμετρα στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης.....	100
Διάγραμμα 7. 7: Οχηματοχιλιόμετρα στο σύνολο του δικτύου	100
Διάγραμμα 7. 8: Η κυκλοφοριακή ροή της Πανεπιστημίου (διασταύρωση με 28 ^η Οκτωβρίου).....	102
Διάγραμμα 7. 9: Ο χρόνος προσπέλασης της Πανεπιστημίου (διασταύρωση με 28 ^η Οκτωβρίου).....	103
Διάγραμμα 7. 10: Η κυκλοφοριακή ροή της 28 ^{ης} Οκτωβρίου (διασταύρωση με Λ. Αλεξάνδρας – προς κέντρο).....	104
Διάγραμμα 7. 11: Ο χρόνος προσπέλασης της 28 ^{ης} Οκτωβρίου (διασταύρωση με Λ. Αλεξάνδρας – προς κέντρο)	104
Διάγραμμα 7. 12: Η κυκλοφοριακή ροή της Μεσογείων (διασταύρωση με Κατεχάκη – προς Αγ. Παρασκευή)	105
Διάγραμμα 7. 13: Ο χρόνος προσπέλασης της Μεσογείων (διασταύρωση με Κατεχάκη – προς Αγ. Παρασκευή)	105
Διάγραμμα 7. 14: Η κυκλοφοριακή ροή της Εθνική Οδού (από Λέννορμαν προς Λεωφ. Αθηνών)....	106
Διάγραμμα 7. 15: Η κυκλοφοριακή ροή της Λεωφ. Κανελλοπούλου (προς Κατεχάκη)	107
Διάγραμμα 7. 16: Η κυκλοφοριακή ροή της Λεωφ. Ποσειδώνος (προς Γλυφάδα).....	107
Διάγραμμα 7. 17: Η κυκλοφοριακή ροή της Υμηττού (προς Παγκράτι).....	108
Διάγραμμα 7. 18: Η κυκλοφοριακή ροή της Λ. Βουλιαγμένης (προς Ηλιούπολη).....	108
Διάγραμμα 7. 19: Η κυκλοφοριακή ροή της Β. Σοφίας (από Μέγαρο προς Λ. Αλεξάνδρας)	108
Διάγραμμα 7. 20: Αριθμός εισερχομένων οχημάτων στη ζώνη χρέωσης	109
Διάγραμμα 7. 21: Οχηματοώρες εσωτερικά της ζώνης χρέωσης	110
Διάγραμμα 7. 22: Οχηματοώρες εξωτερικά της ζώνης χρέωσης	110
Διάγραμμα 7. 23: Οχηματοώρες στο σύνολο του δικτύου.....	110
Διάγραμμα 7. 24: Οχηματοχιλιόμετρα εσωτερικά της ζώνης χρέωσης	111
Διάγραμμα 7. 25: Οχηματοχιλιόμετρα εξωτερικά της ζώνης χρέωσης.....	111
Διάγραμμα 7. 26: Οχηματοχιλιόμετρα στο σύνολο του δικτύου	111
Διάγραμμα 7. 27: Αριθμός εισερχομένων οχημάτων στη ζώνη χρέωσης	112
Διάγραμμα 7. 28: Οχηματοώρες εσωτερικά της ζώνης χρέωσης	112
Διάγραμμα 7. 29: Οχηματοώρες εξωτερικά της ζώνης χρέωσης	112
Διάγραμμα 7. 30: Οχηματοώρες στο σύνολο του δικτύου.....	113
Διάγραμμα 7. 31: Οχηματοχιλιόμετρα εσωτερικά της ζώνης χρέωσης	113
Διάγραμμα 7. 32: Οχηματοχιλιόμετρα εξωτερικά της ζώνης χρέωσης.....	113
Διάγραμμα 7. 33: Οχηματοχιλιόμετρα στο σύνολο του δικτύου	114

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 6. 1: Η ποσόστωση της ζήτησης του δήμου Αθήνας στις επτά επιμέρους κυκλοφοριακές ζώνες που τον απαρτίζουν	82
Πίνακας 6. 2: Τα ποσοστά της συνολικής ημερήσιας ζήτησης που αντιστοιχούν σε κάθε ώρα της περιόδου ανάλυσης	83
Πίνακας 7. 1: Ποσοστά οχηματοωρών που δαπανώνται εντός της ζώνης χρέωσης, επί των συνολικών οχηματοωρών του συστήματος	95
Πίνακας 7. 2: Ποσοστά οχηματοχιλιομέτρων που διανύονται εντός της ζώνης χρέωσης, επί των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων του συστήματος	99
Πίνακας 7. 3: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου ...	101
Πίνακας 7. 4: Ποσοστιαία αύξηση δαπανούμενων οχηματοωρών στο δίκτυο, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου ...	101
Πίνακας 7. 5: Ποσοστιαία αύξηση διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου ...	102

Πίνακας 7. 6: Ποσοστιαία αύξηση εσόδων ανά τιμή χρέωσης και μείωση ζήτησης, σε σύγκριση με τα έσοδα της αρχικής ζήτησης και την αντίστοιχη χρέωση	114
Πίνακας 7. 7: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης ανά τιμή χρέωσης και μείωση ζήτησης, σε σύγκριση με την εισροή για την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση	114
Πίνακας 7. 8: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 3 €.....	115
Πίνακας 7. 9: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 5 €.....	115
Πίνακας 7. 10: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 3 €.....	115
Πίνακας 7. 11: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 5 €.....	115
Πίνακας 7. 12: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στην περιοχή χρέωσης ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης.....	116
Πίνακας 7. 13: : Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης	116
Πίνακας 7. 14: : Ποσοστιαία αύξηση οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης	116
Πίνακας 8. 1: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου ...	119
Πίνακας 8. 2: Ποσοστιαία αύξηση δαπανούμενων οχηματοωρών στο δίκτυο, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου ...	119
Πίνακας 8. 3: Ποσοστιαία αύξηση διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου ...	119
Πίνακας 8. 4: Ποσοστιαία αύξηση εσόδων ανά τιμή χρέωσης και μείωση ζήτησης, σε σύγκριση με τα έσοδα της αρχικής ζήτησης και την αντίστοιχη χρέωση	120
Πίνακας 8. 5: Ποσοστιαία αύξηση της εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης ανά τιμή χρέωσης και μείωση ζήτησης, σε σύγκριση με την εισροή για την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση	120
Πίνακας 8. 6: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 3 €.....	120
Πίνακας 8. 7: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 5 €.....	120
Πίνακας 8. 8: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στην περιοχή χρέωσης ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης.....	121
Πίνακας 8. 9: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης.....	121
Πίνακας 8. 10: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης	121

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 5. 1: Η δυναμική έκδοση της σχέσης Bellman (VISUM User Manual, 2006)	68
Εικόνα 6. 1: Τα ψηφιοποιημένα διοικητικά όρια των επιλεγμένων κυκλοφοριακών ζωνών (Google Earth)	75
Εικόνα 6. 2: Το σύνολο των ψηφιοποιημένων οδικών αξόνων της πόλης (Google Earth).....	76
Εικόνα 6. 3: Οι ψηφιοποιημένοι οδικοί άξονες του κέντρου της πόλης (Google Earth)	77
Εικόνα 6. 4: Ο καθορισμός των συνδέσμων κεντροειδών και των χαρακτηριστικών τους στο VISUM	78
Εικόνα 6. 5: Ο καθορισμός των στρεφουσών κινήσεων και των χαρακτηριστικών τους στο VISUM ...	80
Εικόνα 6. 6: Γραφική απεικόνιση συνδέσμων και κυκλοφοριακών ζωνών του δικτύου προσφοράς στο VISUM.....	80
Εικόνα 6. 7: Η εισαγωγή των ποσοστών της συνολικής ημερήσιας ζήτησης που αντιστοιχούν σε κάθε ώρα της περιόδου ανάλυσης στο VISUM	83
Εικόνα 6. 8: Η εισαγωγή των παραμέτρων της εξίσωσης του γενικευμένου κόστους στο VISUM	85
Εικόνα 6. 9: Ο καθορισμός των χρονικών τμημάτων ανάλυσης του δυναμικού καταμερισμού στο VISUM.....	86

Εικόνα 6. 10: Ο καθορισμός των χρονικών διαστημάτων ανάλυσης του δυναμικού καταμερισμού στο VISUM.....	86
Εικόνα 6. 11: Η εισαγωγή των περιορισμών των επαναληπτικών διαδικασιών και του συντελεστή ελάχιστης εξυπηρέτησης χωρητικότητας στο VISUM.....	88

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το μέτρο της επιβολής αστικών διοδίων αποτελεί ένα από τα πλέον διαδεδομένα μέτρα διαχείρισης της ζήτησης και έχει εφαρμοσθεί σε αρκετές μεγάλες πόλεις ανά τον κόσμο (με πιο γνωστές τις εφαρμογές στο Λονδίνο, τη Στοκχόλμη και τη Σιγκαπούρη). Ο σκοπός εφαρμογής του μέτρου μπορεί να διαφέρει ανά περίπτωση, ωστόσο εν γένει αφορά είτε τη μείωση της ζήτησης σε καίρια τμήματα του δικτύου, είτε τη συγκέντρωση κεφαλαίων. Επιπλέον, διάφορες ανεπιθύμητες επιπτώσεις της κυκλοφορίας των οχημάτων, όπως είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, η ηχορύπανση, και τα τροχαία ατυχήματα, μπορούν να περιοριστούν από την εφαρμογή του μέτρου παράλληλα με τον περιορισμό της ζήτησης. Ωστόσο, η εφαρμογή του μέτρου μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο λοιπό οδικό δίκτυο, ενώ δύναται να δημιουργήσει κοινωνικοοικονομικές ανισότητες. Η ανάλυση των ωφελειών καθώς και των προβλημάτων, που θα μπορούσαν να προκύψουν από την εφαρμογή του μέτρου, αποτελεί αντικείμενο μελέτης ως προς την αξιολόγηση της σκοπιμότητας εφαρμογής του στο μέλλον.

Η αναγκαιότητα μελέτης της εφαρμογής του μέτρου της επιβολής αστικών διοδίων στο κέντρο της Αθήνας, αποτελεί ένα θέμα που έχει προκύψει τα τελευταία χρόνια, με δεδομένη τη συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για μετακίνηση εντός και περιφερειακά του κέντρου της πόλης. Ασφαλώς, ότι η υφιστάμενη κατάσταση στην Αθήνα (π.χ. αποσπασματική αστυνόμευση της παράνομης στάθμευσης και του δακτυλίου) οδηγεί στην παρατήρηση ότι υπάρχουν πιο άμεσοι και εύκολοι τρόποι περιορισμού της ζήτησης για μετακίνηση, αλλά όταν αυτοί εξαντληθούν τα αστικά διόδια μπορεί να αποτελούν μια χρήσιμη εναλλακτική προσέγγιση στα μέτρα των αρχών.

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η αξιολόγηση των επιπτώσεων της εφαρμογής του μέτρου χρέωσης σε περιοχές του οδικού δικτύου της πόλης. Για το σκοπό αυτό έγινε χρήση δυναμικών μοντέλων προσομοίωσης, μέσω των οποίων το οδικό δίκτυο αναλύεται μακροσκοπικά και με την αξιοποίηση διάφορων δεικτών (συνολικά δαπανούμενες οχηματοώρες, συνολικά διανυόμενα οχηματοχιλιόμετρα) εξάγονται για αυτό ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά, ώστε να πραγματοποιηθεί μία συνολική αξιολόγηση των επιπτώσεων που θα επέφερε η δυναμική επιβολή του μέτρου.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη διεξαγωγή της μελέτης συνοψίζεται στη δημιουργία του μοντέλου προσφοράς του οδικού δικτύου της πόλης και τη μελέτη των δυναμικών αλληλεπιδράσεων του με το αντίστοιχο μοντέλο ζήτησης. Αρχικά, με δεδομένο το στόχο της μακροσκοπικής ανάλυσης, δημιουργήθηκε το μοντέλο της διαθέσιμης οδικής υποδομής. Το μοντέλο προσφοράς προέκυψε από την ψηφιοποίηση των κυκλοφοριακών ζωνών και των κύριων οδικών αρτηριών της Αθήνας με τη χρήση του λογισμικού Google Earth. Οι κυκλοφοριακές ζώνες ορίστηκαν βάσει των ορίων των δήμων της Αττικής, με εξαίρεση το δήμο Αθηναίων που χωρίστηκε βάσει των ορίων των επτά δημοτικών διαμερισμάτων, καθώς συγκεντρώνει μεγάλο αριθμό μετακινήσεων και αποτελεί την άμεση ζώνη επιρροής του μέτρου. Το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης μετατράπηκε μέσω του λογισμικού ArcGIS σε αρχείο γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (G.I.S.), στο οποίο περιέχονται οι συντεταγμένες, τα ονόματα και τα μήκη των κύριων οδών, καθώς και οι συντεταγμένες, τα ονόματα και οι εκτάσεις των κυκλοφοριακών ζωνών. Το προκύπτον αρχείο εισήχθη στο λογισμικό σχεδιασμού μεταφορών VISUM, όπου και ορίστηκαν οι κανόνες διαχείρισης και λειτουργίας του οδικού δικτύου. Συγκεκριμένα, καθορίστηκαν οι χωρητικότητες των οδών, οι επιτρεπτές κινήσεις με τις αντίστοιχες χωρητικότητες τους, καθώς και τα όρια ταχύτητας. Ο καθορισμός των παραπάνω στοιχείων πραγματοποιήθηκε με τη συστηματική χρήση κατάλληλων κανόνων. Όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο, βάσει της ανάλυσης, πραγματοποιήθηκαν τοπικές παρεμβάσεις, ώστε το δίκτυο να ανταποκρίνεται καλύτερα στην υφιστάμενη κατάσταση.

Το μοντέλο ζήτησης που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στο μητρώο συνολικών ημερήσιων μετακινήσεων με Ι.Χ. σε επίπεδο δήμων που προέκυψε από τη Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό το 1996, κατάλληλα προσαρμοσμένο ώστε να αναπαριστά τη σημερινή ζήτηση για μετακίνηση.

Το μητρώο συνολικών ημερήσιων μετακινήσεων που προέκυψε, κατανεμήθηκε σε ωριαία ζήτηση, χρησιμοποιώντας παράγοντες προσαρμογής για κάθε ώρα της ημέρας.

Μετά τη δημιουργία των μοντέλων προσφοράς και ζήτησης, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των δύο μοντέλων. Η ανάλυση έγινε με χρήση της λειτουργίας δυναμικού καταμερισμού, και συγκεκριμένα δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας χρηστών (Dynamic User Equilibrium). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διαδικασίας καταμερισμού είναι ότι μπορεί να μοντελοποιήσει το φαινόμενο της διάδοσης της συμφόρησης στους ανάντη συνδέσμους (spill - back), δηλαδή οι χωρητικότητες ανάντη των σημείων που προκαλούν τη συμφόρηση μειώνονται έτσι ώστε να μην υπερβαίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης (μέγιστη πυκνότητα) των συνδέσμων. Επιπλέον, το μοντέλο επιλογής διαδρομής μπορεί να υιοθετήσει είτε μία ντετερμινιστική προσέγγιση, όπου φορτίζονται οι διαδρομές με το μικρότερο γενικευμένο κόστος, είτε μία στοχαστική προσέγγιση, όπου το γενικευμένο κόστος προκύπτει έτσι ώστε να αντικατοπτρίζονται οι υποκειμενικές αντιλήψεις των μετακινούμενων.

Έχοντας δημιουργήσει το πλήρες συγκοινωνιακό μοντέλο της Αθήνας, αναπτύχθηκαν εν συνεχεία τα σενάρια που αφορούν στη μελέτη του μέτρου των αστικών διοδίων. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι η ζώνη χρέωσης θα είναι αντίστοιχη με τα όρια του υπάρχοντος δακτυλίου, ότι η χρέωση θα είναι σταθερή κατά τη χρονική διάρκεια ισχύος του μέτρου, καθώς και ότι η συλλογή των διοδίων θα γίνεται κατά την είσοδο στη ζώνη χρέωσης και θα είναι ανεξάρτητη από τη χρονική διάρκεια παραμονής εντός αυτής ή τη διανυθείσα απόσταση. Αναπτύχθηκαν τα σενάρια αναφοράς, που αφορούν τη σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε τιμή χρέωσης, με τα αντίστοιχα της μη εφαρμογής του μέτρου, για δεδομένη ζήτηση μετακίνησης. Οι τιμές χρέωσης που μελετήθηκαν αφορούν χρεώσεις των 3 και 5 € αντίστοιχα. Εν συνεχεία αναπτύχθηκαν και μελετήθηκαν τα σενάρια ανάλυσης ευαισθησίας, με άξονες την τιμή του αστικού διοδίου και το συνολικό επίπεδο ζήτησης, που θεωρήθηκε ότι μειώνεται με την εφαρμογή του μέτρου. Η μείωση εφαρμόζεται στις μετακινήσεις, από και προς τις κυκλοφοριακές ζώνες που περικλείονται από τη ζώνη χρέωσης, και εξετάστηκαν μειώσεις της τάξης του 10 και 20 % αντίστοιχα. Για τα διαφορετικά σενάρια που εξετάστηκαν, προέκυψαν διαφορετικά στοιχεία για την περίοδο ανάλυσης, τα οποία κατέδειξαν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των επιπτώσεων από την επιβολή του μέτρου των αστικών διοδίων.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι στους παρακείμενους δρόμους των ορίων της ζώνης χρέωσης η ζήτηση για κυκλοφορία αυξάνεται σημαντικά, όπως συμβαίνει και στους κεντρικούς οδικούς άξονες της πόλης, ιδιαίτερα κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης, δημιουργώντας έτσι φαινόμενα συμφόρησης σε νέες θέσεις του δικτύου. Επίσης, στο χρονικό διάστημα της μίας ώρας που προηγείται της έναρξης ισχύος του μέτρου, εμφανίζεται σημαντική αύξηση της ροής κυκλοφορίας εσωτερικά της ζώνης χρέωσης, και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αιχμής σε αυτό το διάστημα, υψηλότερη σε σχέση με πριν. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες εντός της ζώνης χρέωσης βελτιώνονται και η ζήτηση περιορίζεται, όπως και οι επιδράσεις της. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη επισημαίνουν ότι μεγάλο ποσοστό των μετακινούμενων θα αναγκαστεί να χρησιμοποιήσει εναλλακτικές διαδρομές για την πραγματοποίηση των μετακινήσεών του, επηρεάζοντας τη δομή των μετακινήσεων και τη ζήτηση για άλλες διαδρομές εκτός ζώνης χρέωσης, με πιθανό το ενδεχόμενο εμφάνισης κορεσμού, σε νέες θέσεις του δικτύου.

Συμπερασματικά περιγράφονται οι περιορισμοί της συγκεκριμένης έρευνας (π.χ. ότι δεν λαμβάνεται υπόψη η επιλογή μέσου, ή η πιθανότητα ματαίωσης μετακίνησης) και προσδιορίζονται κατευθύνσεις για περαιτέρω έρευνα, ώστε να προκύψει ένα πιο ακριβές πλαίσιο εκτίμησης των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της χρήσης πολιτικών τιμολόγησης, ή άλλων μέτρων περιορισμού και ανακατανομής των μετακινήσεων.

Λέξεις κλειδιά: Αστικά διόδια, Δυναμικά μοντέλα καταμερισμού, Κυκλοφοριακή συμφόρηση, Προσομοίωση συστημάτων μεταφορών

EXTENSIVE SUMMARY

The subject of *road pricing* consists one of the most common countermeasures against traffic congestion and it has been implemented in several countries around the world. London, Stockholm and Singapore are the most significant example – cities where the congestion charging was introduced. The objective of this measure varies as the case may be. In general, though, it concerns either the reduction of demand in critical network sections, or the fund – raising. Furthermore, various undesirable impacts of the vehicular traffic on vital issues such as air pollution, noise pollution and road crashes, could be moderated by the implementation of road pricing with the concurrent restraint of demand. Despite the above advantages, the introduction of this measure may have impacts on the remaining road network and bring about social and economic differentials. The benefit analysis and the problems arising from the potential implementation of this measure, constitutes a matter of investigation for the evaluation of its future effectiveness.

In recent years, given the continuously increment of traffic demand in the inner city and around the city center, the necessity of research on the subject of road user price charging in the centre of Athens, has arose. The current situation in Athens – the ring bound and the partial surveillance of illegal parking – definitely indicates that there are more direct and fast instruments to confine the traffic demand, but as long as they are not sufficient, urban tolls may provide the government with a useful alternative tool.

The objective of this work was to evaluate effects of the implementation of road pricing on the road system of Athens. In this context, a macroscopic analysis of the road network was conducted by means of a simulation dynamic model, and the resultant qualitative and quantitative outputs were used in order to hold an overall review of the potential use of this measure.

In this work, the followed methodology is summarised in the creation of the network model that contains the supply data, and the study of its dynamic interactions with the demand model. The first step was to form the network model by digitizing the traffic zones and the main routes of Athens, via the Google Earth software. The traffic zones were determined based on the boundaries of Attica' s municipalities, except for the municipality of Athens that was designed based on the boundaries of the seven municipality districts, as it gathers significant traffic and consists the major zone that is affected by the measure. The outcome of the digitization was converted in a geographic information system file (G.I.S.) via the ArcGIS software. The data - file contained the coordinates, names and lengths of the main roads, as long as the coordinates, names and areas of the traffic zones. Afterwards, the file was imported in the VISUM software system for transport planning. The rules of management and operation of the road network, such as capacities, allowed motions with the corresponding capacities and speed limits, were then defined in the software environment. The necessity of some interventions came along in order to best address the current situation of the network.

The demand model rested on the record of total daily transfers with passenger cars within the municipalities, which was obtained by the Development Study of Subway (1996), and was properly adjusted to represent the current traffic demand. The record of total daily transfers was distributed in demand per hour, with the use of adjustment factors for every hour of the day.

Subsequent to the above, an analysis of the dynamic interactions between the supply and the demand model was made. The analysis was conducted with the function of dynamic traffic assignment, and particularly with the function of *Dynamic User Equilibrium*. The advantage of this procedure is that it enables the modeling of the spill – back phenomenon in the upstream links. That means that the capacities of upstream points that cause congestion, go down in order to avoid exceeding the maximum storage capacities of the links. Moreover, the route choice model may implement either a deterministic approach that charges the

routes with the lowest generalised cost, a stochastic approach that charges the routes with the lowest anticipated cost, or finally a combination of them.

As the network model of Athens was fully defined, the step that followed was the preparation of the scenarios concerning the study of urban tolls measure. The charge zone was set corresponding to the current ring limits of the ring. The charge was considered constant for the validity period of the measure, and the collection of the tolls (at the entrance of the charge zone) was assumed to be independent of the time and distance travelled within the zone. A sensitivity analysis was conducted for the price of the urban toll and the total level of demand. For the various scenarios that were examined, different data for the analysis period were obtained, that demonstrate the qualitative and quantitative characteristics of the effects of urban tolls imposition.

Results indicated that the traffic demand was significantly increased in the adjacent roads of the charge zone, a fact that was also observed at the main center roads, especially in peak demand periods, concluding to congestion problems in new network spots. The time interval of the hour preceding the beginning of the charge, developed considerable increase of traffic flow inside the charge zone, and led to a peak, higher than the previous case. The traffic condition inside the charge zone was improved and the demand was confined, as long as its repercussions. The outcomes of this research remark that a high percentage of passengers will have to use alternative routes in order to serve the necessary transits. This fact has an effect on the configuration of transits and brings about the necessity of alternative routes outside the charge zone, with a potential cause of congestion in several areas.

Finally, there are some restraints in the present work, such as the lack of the mode choice in the model, and for this reason further research is suggested, in order to come to a more detailed and accurate context of evaluation of the long – term effects of road pricing, or other similar countermeasures.

Keywords: Dynamic traffic assignment, Traffic congestion, Transport planning, Simulation, Urban tolls

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενική Επισκόπηση

Τα τελευταία σαράντα χρόνια οικονομικοκοινωνικές μεταβολές έχουν διαδραματιστεί στην Ελλάδα. Η μετάβαση από την αγροτική παραγωγή στην βιομηχανική είχε σαν αποτέλεσμα τη μετακίνηση εργατικού δυναμικού από την επαρχία στα μεγάλα αστικά κέντρα και κυρίως την Αθήνα.

Αρχικά (1960), οι βιομηχανίες εγκαταστάθηκαν στον χώρο γύρω από το κέντρο της Αθήνας που σε συνδυασμό με την ανάγκη στέγασης του εργατικού δυναμικού οδήγησε στην εξάπλωση της πόλης προς Βορρά και Νότο. Στα τέλη της δεκαετίας του εξήντα, η Αθήνα έχει πλέον μετατραπεί σε μεγάλο βαθμό σε επιτελικό κέντρο και κέντρο παροχής υπηρεσιών προκαλώντας την απομάκρυνση της βιομηχανίας προς την περιφέρεια της πόλης (βιομηχανικές ζώνες) και τη συσσώρευση των υπηρεσιών στο κέντρο της πόλης. Η μαζική παραγωγή και η χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου αλλάζει τελείως τη μορφή της πόλης αφού δίνεται πλέον η δυνατότητα μετάβασης σε οποιοδήποτε σημείο της πόλης οποιαδήποτε στιγμή. Ο διαχωρισμός ανάμεσα στον τόπο εργασίας και στον τόπο κατοικίας σε συνδυασμό με την χρήση ιδιωτικών αυτοκινήτων ευνοούν την εξάπλωση της πόλης προς περιοχές που είναι πιο αραιοδομημένες από το κέντρο (προάστια) και προσφέρουν καλύτερη ποιότητα ζωής στους κατοίκους (Σιόλας, 2005).

Τα τελευταία χρόνια λόγω των τεχνολογικών και οικονομικών εξελίξεων η βιομηχανική παραγωγή έχει μειωθεί σε μεγάλο βαθμό και η πλειοψηφία των εργαζομένων απασχολείται πλέον στον τομέα παροχής υπηρεσιών (τριτογενής τομέας). Οι υπηρεσίες κεντρικού χαρακτήρα παραμένουν συγκεντρωμένες στο ευρύτερο κέντρο της πόλης ενώ στα προάστια αναπτύχθηκαν υπηρεσίες τοπικού και πολλές φορές υπερτοπικού χαρακτήρα.

Αποτέλεσμα της διασποράς των χρήσεων γης στην πόλη είναι η ανάγκη μετακίνησης του πληθυσμού. Η ανάγκη αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός τεράστιου κυκλώματος κυκλοφοριακής ροής που εξυπηρετείται από το ιδιωτικό αυτοκίνητο και τα δημόσια μέσα μεταφοράς. Βασικά χαρακτηριστικά των μετακινήσεων είναι ότι έχουν κόστος (χρόνος, χρήματα, ατυχήματα, περιβαλλοντικές επιπτώσεις) και εξαρτώνται άμεσα από τις δυνατότητες (χωρητικότητα) του μεταφορικού συστήματος. Η συγκέντρωση της ζήτησης για μετακίνηση κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών στιγμών έχει σαν αποτέλεσμα η ζήτηση να υπερβαίνει τη χωρητικότητα του συστήματος (προσφορά) και να δημιουργούνται φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης με άμεση συνέπεια την αύξηση του κόστους της μετακίνησης.

Βάσει μελετών του Ε.Μ.Π., έχει υπολογιστεί ότι σε καθημερινή βάση στο Λεκανοπέδιο πραγματοποιούνται πάνω από 8 εκατ. μετακινήσεις, με προοπτική ως το 2012 να φτάσουν τα 10 εκατομμύρια. Από αυτές, πάνω από το 48 % γίνονται με Ι.Χ. και 10,3 % με ταξί. Υπολογίζεται ότι ο Αθηναίος κάνει κατά μέσο όρο 9 διαδρομές την εβδομάδα με το ιδιωτικό του αυτοκίνητο, όταν Πορτογάλοι, Ολλανδοί και Βέλγοι περιορίζονται σε δύο και οι Ιταλοί μόνο σε τέσσερις. Έχει εκτιμηθεί πως είναι το μέσον που προτιμά το 45 % των Αθηναίων για να κάνει την καθημερινή διαδρομή σπίτι – δουλειά – σπίτι (Ελευθεροτυπία, 21/ 09/ 09). Η αυξημένη χρήση του γίνεται ακόμα πιο εμφανής από το γεγονός ότι η Αθήνα, με 650 Ι.Χ. ανά 1.000 κατοίκους, κατατάσσεται στις υψηλές θέσεις του πίνακα ιδιοκτησίας στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Βυθούλας, 2008). Ιδιαίτερα ανησυχητικό είναι ότι τα περισσότερα κυκλοφορούντα Ι.Χ. στις ώρες αιχμής, αφορούν μετακινήσεις ενός ατόμου. Η μέση πληρότητα μόλις φτάνει τα 1,2 άτομα ανά όχημα, που σημαίνει ότι στην πλειονότητά τους μεταφέρουν μόνο τον οδηγό τους.

Υπολογίζεται ότι τα περίπου 14.000 ταξί, που μετακινούνται σε 24ωρη βάση στο λεκανοπέδιο και διανύουν πολλά χιλιόμετρα, επιβαρύνοντας τους κεντρικούς δρόμους με κυκλοφορία που αντιστοιχεί σε επιπλέον 160.000 Ι.Χ. Είναι το μέσο που προτιμούν για τις μετακινήσεις τους πάνω από 600.000 άτομα την ημέρα, επιβατική κίνηση που ελάχιστα

υπολείπεται από τους κατά μέσο όρο μεταφερόμενους με το σύγχρονο δίκτυο του μετρό. Να σημειωθεί ότι στην Αθήνα αναλογούν 35 ταξί ανά 10.000 κατοίκους, όταν στο Παρίσι είναι μόνο 15 (Σ.Ε.Σ., 08/ 04/ 2009). Με αυτή την συνεχή χρήση των Ι.Χ., και την ανάδειξη των ταξί σε ημιεπίσημο συγκοινωνιακό φορέα, δεν είναι τυχαίο που η μέση ταχύτητα κίνησης στην εντός, αλλά κυρίως στην εκτός δακτυλίου περιοχή, έχει μειωθεί πάνω από 30 % την τελευταία δεκαπενταετία. Παρά τη σταδιακή λειτουργία της Αττικής οδού, που ολοκληρώθηκε το 2004, το 35 % των οχημάτων που κυκλοφορούν στο κέντρο είναι διερχόμενα με προορισμό κάποιο άλλο σημείο του λεκανοπεδίου (Ελευθεροτυπία, 21/ 09/ 09).

Το κέντρο της Αθήνας έλκει μεγάλο αριθμό μετακινήσεων δεδομένου το σύνολο των υπηρεσιών που βρίσκονται σε αυτό. Οι μετακινήσεις αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα την κυκλοφοριακή συμφόρηση των δρόμων που βρίσκονται γύρω και μέσα σε αυτό δημιουργώντας έτσι δύσκολες συνθήκες από άποψη ατμοσφαιρικής ρύπανσης και ηχορύπανσης. Με βάση στοιχεία του Συλλόγου Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων, η ταχύτητα κίνησης στους κεντρικούς οδικούς άξονες της πόλης μειώνεται κάθε χρόνο κατά περίπου 5 % έχοντας σαν αποτέλεσμα τη συνεχή αύξηση του χρόνου μετακίνησης και την εμφάνιση καταστάσεων κυκλοφοριακού κορεσμού στο 55 % του συνόλου των κεντρικών αξόνων. Μελέτες του Ε.Μ.Π. έχουν δείξει ότι σε περιοχές που βρίσκονται γύρω από το κέντρο και σε αυτό, το 39 % της διανυόμενης απόστασης των οχημάτων γίνεται σε συνθήκες κορεσμού και μάλιστα το 35 % σε κατάσταση παρατεταμένης ακινησίας (Ελευθεροτυπία, 21/ 09/ 09).

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι ο τομέας των μεταφορών αποτελεί έναν κύριο παράγοντα της σύγχρονης οικονομίας αφού οι μετακινήσεις έχουν κόστος και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της οικονομικής δραστηριότητας της πόλης, υπολογίζεται ότι αντιστοιχεί στο 10 % του Α.Ε.Π. (πηγή Ελευθεροτυπία, 21/ 09/ 09). Με δεδομένη την συνεχή αύξηση της ζήτησης για μετακίνηση, θα έπρεπε αντίστοιχα να αυξάνεται και η προσφορά για μετακίνηση έτσι ώστε να μην υπάρχει δυσανάλογη αύξηση του κόστους μετακίνησης. Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντα εφικτό λαμβάνοντας υπόψη το σημαντικό κόστος της κατασκευής νέων έργων υποδομής αλλά και το γεγονός της μη ύπαρξης της δυνατότητας κατασκευής άλλων βελτιωτικών έργων σε ορισμένες περιπτώσεις. Η ανάγκη μείωσης των κυκλοφοριακών φόρτων των οχημάτων που μετακινούνται στην πόλη αλλά και συγκεκριμένα στο κέντρο είναι αναγκαία, με στόχο την βελτίωση της ζωής και της μετακίνησης σε αυτό.

Σαν μέτρο για τον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από την κυκλοφορία των οχημάτων στο κέντρο, εφαρμόστηκε το 1982 το μέτρο του δακτυλίου. Σαν δακτύλιος ορίστηκε μία ζώνη γύρω από το κέντρο, μέσα στην οποία επιτρέπεται να κινούνται τις καθημερινές από τις 7 π.μ. έως τις 8 μ.μ. μόνο συγκεκριμένα οχήματα. Το κριτήριο βάσει του οποίου είναι επιτρεπτή η κίνηση εντός της ζώνης του δακτυλίου είναι ο λήγοντας αριθμός της πινακίδας κυκλοφορίας κάθε οχήματος. Στην περίπτωση των οχημάτων με λήγοντα αριθμό μονό επιτρέπεται η κυκλοφορία τους εντός δακτυλίου τις μονές ημερολογιακές μέρες του μήνα αντίστοιχα ισχύει για τα λήγοντα σε ζυγό. Το μέτρο του δακτυλίου εφαρμόζεται έως σήμερα, ωστόσο την πρώτη χρονιά που εφαρμόστηκε ο αριθμός των ιδιωτικών οχημάτων που κυκλοφορούσαν στην Αττική ήταν περίπου 430.000 ενώ σήμερα ξεπερνούν σε αριθμό τα 2.5 εκατομμύρια, ακολουθώντας συνεχώς αυξητική τάση (6,5 %) τη στιγμή όπου ο πληθυσμός της πόλης αυξάνει μόνο κατά 0,46 %. Οι περιορισμοί στην κυκλοφορία θεωρούνται η βασική αιτία που σήμερα το 43 % των οικογενειών διαθέτει δύο ή και περισσότερα αυτοκίνητα, ακυρώνοντας τα όποια οφέλη του μέτρου. Σήμερα, αναλογεί σε κάθε οικογένεια παραπάνω από ένα Ι.Χ., για την ακρίβεια 1.08. Υπολογίζεται ότι, παρά την οικονομική στενότητα και την άνοδο των τιμών στα καύσιμα, η κυκλοφορία στο κέντρο της πρωτεύουσας συνεχίζει να αυξάνεται κατά 10 % τον χρόνο, με αποτέλεσμα την κυκλοφοριακή συμφόρηση τις ώρες αιχμής στους βασικούς οδικούς άξονες του (Ελευθεροτυπία, 21/ 09/ 09).

Η μειωμένη αποτελεσματικότητα του μέτρου του δακτυλίου στον περιορισμό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της Αθήνας, οδήγησε στην λήψη νέων μέτρων προς αυτήν την κατεύθυνση. Συγκεκριμένα, τον Αύγουστο του 2009, στο πλαίσιο ενός εθνικού σχεδίου για την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα μεγάλα αστικά κέντρα, αποφασίσθηκε η λήψη μέτρων για την ανανέωση του στόλου των παλαιάς τεχνολογίας ιδιωτικών οχημάτων με λιγότερο ρυπογόνα οχήματα, νέας τεχνολογίας. Τα μέτρα αυτά συμπεριλαμβάνουν την

δυνατότητα απόσυρσης των παλαιών Ι.Χ. και την πριμοδότηση της αντικατάστασής τους έως το 2012. Επιπλέον, ο τρόπος υπολογισμού των τελών κυκλοφορίας των οχημάτων γίνεται πλέον βάσει όχι μόνον των κυβικών, αλλά και των χρόνων κυκλοφορίας του οχήματος, αυξάνοντας έτσι την τιμή των τελών κυκλοφορίας στα οχήματα παλαιάς γενιάς. Η αύξηση αυτή του λειτουργικού κόστους συντήρησης των οχημάτων παλαιάς γενιάς, έχει σαν στόχο οι μετακινούμενοι να επωμιστούν οι ίδιοι το περιβαλλοντικό κόστος των μετακινήσεων τους. Ωστόσο, το μέτρο της αύξησης των τελών κυκλοφορίας έχει δημιουργήσει αντιδράσεις από τους μετακινούμενους, θεωρώντας ότι τα χαμηλά οικονομικά στρώματα που αδυνατούν να αποσύρουν και να αντικαταστήσουν τα οχήματά τους πλήττονται.

Στο πλαίσιο του ίδιου σχεδίου, έχει ορισθεί η εφαρμογή του μέτρου πράσινου δακτυλίου στην Αθήνα από την 1^η Σεπτεμβρίου του 2011. Το μέτρο του πράσινου δακτυλίου περιλαμβάνει την επιβολή περιορισμών στην κυκλοφορία των οχημάτων. Συγκεκριμένα, ορίστηκε μία περιοχή, τα όρια της οποίας συμπίπτουν με τα όρια του δακτυλίου που εφαρμόζεται σήμερα. Τα κριτήρια βάσει των οποίων θα επιτρέπεται η κυκλοφορία εντός του νέου δακτυλίου, είναι το έτος κυκλοφορίας των οχημάτων καθώς και σε ορισμένες περιπτώσεις ο λήγοντας αριθμός της πινακίδας κυκλοφορίας των οχημάτων. Τα οχήματα με πολύ υψηλές εκπομπές ρύπων (κυκλοφορία πριν το 1995) θα μπορούν να εισέλθουν σε αυτόν μόνο τις ώρες που δεν θα ισχύουν οι περιορισμοί κυκλοφορίας. Τα οχήματα που εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα λιγότερο από 140 g/ km, τα λεγόμενα καθαρά οχήματα (κυκλοφορία μετά το 2004), θα μπορούν να εισέλθουν στο δακτύλιο οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Για τα οχήματα που κυκλοφόρησαν μεταξύ των ετών 1995 – 2004, θα ισχύει το κριτήριο του λήγοντα αριθμού όπως εφαρμόζεται και σήμερα. Η περιβαλλοντική αποτίμηση της εφαρμογής του εθνικού σχεδίου, αναφέρει ότι αναμένεται 25 % μείωση των εκπομπών οξειδίων του αζώτου και σωματιδίων και 35 % των εκπομπών μονοξειδίου του άνθρακα και υδρογονανθράκων (Αιτιολογική έκθεση προσθήκης τροπολογίας, 2009).

Το μέτρο του πράσινου δακτυλίου αναμένεται να επιφέρει βελτίωση στις περιβαλλοντικές συνθήκες στην ευρύτερη περιοχή εντός των ορίων του αλλά και της πόλης. Οι κυκλοφοριακές συνθήκες εντός του δακτυλίου αρχικά θα βελτιωθούν με την εφαρμογή του μέτρου, ωστόσο στα επόμενα έτη οι κυκλοφοριακές συνθήκες αναμένεται να επανέλθουν στα σημερινά ή και σε δυσχερέστερα ακόμα επίπεδα. Επομένως, η συνεχώς αυξανόμενη κίνηση των οχημάτων στην πόλη της Αθήνας και συγκεκριμένα στο κέντρο της, αποτελεί ένα κύριο πρόβλημα της πόλης και θα πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Από τα παραπάνω δεδομένα γίνεται αντιληπτό ότι θα πρέπει να μελετηθούν και να υλοποιηθούν προτάσεις που θα έχουν σαν στόχο τη βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών στο κέντρο της πόλης και όχι μόνο. Η πλέον βιώσιμη και προτεινόμενη λύση στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης είναι η ανάπτυξη του δικτύου των δημοσίων μέσων μεταφοράς τη πόλης. Ωστόσο, θα πρέπει να μελετηθεί και η πιθανή επιβολή άλλων μέτρων συμπληρωματικά ως προς αυτήν τη λύση. Ένα πιθανό μέτρο αποτελεί και η επιβολή χρέωσης για χρήση του οδικού δικτύου (αστικά διόδια), ώστε να εφαρμοσθούν περιορισμοί στην κυκλοφορία οχημάτων με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους μετακίνησης, κατευθύνοντας μέρος των μετακινούμενων αρχικά στην επιλογή εναλλακτικών διαδρομών, και στη συνέχεια άλλων μέσων μετακίνησης. Ωστόσο, θα πρέπει να μελετηθεί η επίπτωση ενός τέτοιου μέτρου τόσο από την άποψη της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος, όσο και από τις οικονομικές και κοινωνικές του απόψεις για να κριθεί εάν είναι σκόπιμη, και αν ναι υπό ποιες προϋποθέσεις, η εφαρμογή του.

1.2. Σκοπός Διπλωματικής Εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αρχικά η προσομοίωση του συγκοινωνιακού μοντέλου της πόλης της Αθήνας και στη συνέχεια η διερεύνηση των δυναμικών επιπτώσεων της επιβολής χρέωσης χρήσης του οδικού δικτύου του κέντρου της πόλης.

Ο σκοπός της προσομοίωσης του συγκοινωνιακού μοντέλου είναι η αξιοποίησή του για την μελέτη και την ανάλυση των μετακινήσεων που πραγματοποιούν οι χρήστες του καθώς και η εξαγωγή ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών. Οι μετακινήσεις μελετώνται μακροσκοπικά ώστε να μπορούν να εξαχθούν πληροφορίες που αφορούν το σύνολο του δικτύου και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των τμημάτων του. Η ανάλυση του φαινομένου της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ προσφοράς και ζήτησης για μετακίνηση, αποτελεί βασικό σκοπό της δημιουργίας του συγκοινωνιακού μοντέλου. Η ζήτηση για μετακίνηση αποτελεί δυναμικό μέγεθος με χρονική μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας, αντίθετα με την προσφορά του συστήματος που συνήθως παραμένει σταθερή. Η δυναμική αλληλεπίδραση των δύο μεγεθών έχει άμεση επίδραση στις κυκλοφοριακές συνθήκες που επικρατούν στο σύστημα μεταφορών. Η δημιουργία του μοντέλου έχει σαν σκοπό την εύρεση, την πρόβλεψη και την αναπαράσταση των κυκλοφοριακών συνθηκών του δικτύου και των προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η δημιουργία του συγκοινωνιακού δικτύου της Αθήνας έχει σαν στόχο τον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν σε διάφορα σημεία αυτού και την εύρεση τρόπων αντιμετώπισής τους, ώστε το σύστημα να είναι λειτουργικό για τους μετακινούμενους. Επομένως, η δημιουργία του συγκοινωνιακού μοντέλου έχει σαν στόχο την χρησιμοποίησή του για την μελέτη και εύρεση τρόπων μεγιστοποίησης ή αύξησης της υπάρχουσας χωρητικότητας του συστήματος, που να καθιστούν λειτουργικό το σύστημα.

Η επιβολή χρέωσης χρήσης συγκεκριμένου τμήματος του οδικού δικτύου της πόλης (αστικά διόδια) αποτελεί ένα μέτρο περιορισμού της κυκλοφορίας των οχημάτων σε μία περιοχή της πόλης, που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο τα τελευταία χρόνια σε πολλές πόλεις του κόσμου (Λονδίνο, Στοκχόλμη, Όσλο κ.α.). Ωστόσο, η επιβολή ενός τέτοιου μέτρου διαφοροποιεί κατά πολύ το υπάρχον σύστημα μεταφορών μίας πόλης και θα πρέπει να μελετηθεί διεξοδικά ως προς την αναγκαιότητα και τον τρόπο εφαρμογής του, ώστε να έχει τα μέγιστα συγκοινωνιακά και κοινωνικά οφέλη. Οι συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης αποτελούν ένα συχνό φαινόμενο στο οδικό δίκτυο της Αθήνας, ειδικότερα στο κέντρο της πόλης που αποτελεί προορισμό πολλών μετακινήσεων. Η επιβολή του μέτρου των αστικών διοδίων στο κέντρο της πόλης αποτελεί μία λύση που θα μπορούσε να συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση των παραπάνω προβλημάτων. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση των δυναμικών επιπτώσεων και των ωφελειών που θα έχει η εφαρμογή του παραπάνω μέτρου στο συνολικό σύστημα μεταφορών της πόλης και την περιοχή του κέντρου ειδικότερα. Για την πραγματοποίηση αυτής της ανάλυσης απαιτείται η χρήση του συγκοινωνιακού μοντέλου της πόλης που έχει αναπτυχθεί, καθώς και η χρήση ενός δυναμικού μοντέλου καταμερισμού ισορροπίας. Σκοπός της εργασίας είναι η παρακολούθηση δυναμικών χαρακτηριστικών του συστήματος μεταφορών για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, που αφορούν ποιοτικούς και ποσοτικούς δείκτες των μετακινήσεων πριν την επιβολή του μέτρου (υπάρχουσα κατάσταση) καθώς και μετά την επιβολή αυτού, ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί μία αξιολόγηση βάσει των ωφελειών του μέτρου έναντι των δυσμενών επιπτώσεων που επιφέρει η εφαρμογή αυτού.

1.3. Μεθοδολογία – Υλοποίηση

Μετά την οριστικοποίηση των στόχων της διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση στη διεθνή και εγχώρια βιβλιογραφία για την αναζήτηση και εύρεση δημοσιεύσεων και συγγραμμάτων που σχετίζονται με την παρούσα εργασία.

Αρχικά, κρίθηκε σκόπιμη η διερεύνηση θεμάτων που έχουν σαν στόχο τη δημιουργία και παρουσίαση ενός γενικού θεωρητικού υποβάθρου σχετικά με τα θέματα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία. Για το λόγο αυτό, γίνεται μία βιβλιογραφική αναφορά στο σχεδιασμό των συστημάτων μεταφορών καθώς και στις αρχές και τις μεθόδους που αφορούν τη χρέωση χρήσης οδικών τμημάτων. Επίσης, παρουσιάζεται συνοπτικά η δομή και η λειτουργία του λογισμικού VISUM (Έκδοση 9.5), της PTV AG, που χρησιμοποιήθηκε για τη

δημιουργία και την ανάλυση του συγκοινωνιακού μοντέλου της Αθήνας, καθώς και στον αλγόριθμο δυναμικού καταμερισμού που χρησιμοποιήθηκε.

Η δημιουργία του ολοκληρωμένου μοντέλου δικτύου έγινε τμηματικά με τη χρήση διάφορων λογισμικών προγραμμάτων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση της μορφής του μοντέλου (ζώνες, σύνδεσμοι, κόμβοι) με τη χρήση του λογισμικού Google Earth. Το αποτέλεσμα της ψηφιοποίησης μετατράπηκε σε αρχείο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Π.Σ.) εφαρμόζοντας τον κατάλληλο μετασχηματισμό των συντεταγμένων των αντικειμένων του δικτύου, ώστε να διατηρηθούν αναλλοίωτα τα μήκη και οι σχετικές θέσεις τους. Για την μετατροπή αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά AutoCAD Map της AutoDesk και ArcGIS της Esri. Τα αρχεία GIS που προέκυψαν εισήχθησαν στο VISUM όπου με τη συμπλήρωση των κανόνων διαχείρισης και λειτουργίας του δικτύου (επιτρεπτές κινήσεις, όρια ταχύτητας, χωρητικότητες κλπ), ολοκληρώθηκε η δημιουργία του μοντέλου δικτύου (προσφοράς) της πόλης.

Για την ολοκλήρωση της δημιουργίας του συγκοινωνιακού μοντέλου της πόλης, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο ζήτησης των μετακινήσεων σε επίπεδο δήμων, ώστε να μελετηθεί η δυναμική αλληλεπίδραση προσφοράς και ζήτησης. Το μοντέλο ζήτησης που δημιουργήθηκε βασίστηκε στο μητρώο μετακινήσεων που υπολογίστηκε κατά τη μελέτη ανάπτυξης του Μετρό το 1998.

Ο καταμερισμός των μετακινήσεων στο οδικό δίκτυο πραγματοποιήθηκε βάσει ενός αλγορίθμου δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας (Dynamic User Equilibrium). Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε αναπτύχθηκε από το πανεπιστήμιο της Ρώμης και την εταιρία PTV AG και λαμβάνει υπόψη του τη χρονική μεταβλητότητα της προσφοράς και της ζήτησης.

Για τη διερεύνηση των δυναμικών επιπτώσεων της επιβολής χρέωσης χρήσης του οδικού δικτύου του κέντρου της πόλης, θεωρήθηκε ότι η χρέωση θα γίνεται κατά την είσοδο στην περιοχή χρέωσης και θα είναι σταθερή για όλη την περίοδο χρέωσης. Τα όρια της περιοχής χρέωσης θεωρήθηκαν ότι είναι ίδια με τα υπάρχοντα όρια του δακτυλίου. Τα σενάρια διαφορετικής χρέωσης που επιλέχθηκαν και οι επιπτώσεις των οποίων μελετήθηκαν, αφορούν τιμή χρέωσης εισόδου ίση με 3 και 5 € αντίστοιχα.

Τα δεδομένα του συστήματος μεταφορών που παρατηρήθηκαν για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων σχετικά με την εφαρμογή των αστικών διοδίων, αφορούν δυναμικά μεγέθη του συστήματος όπως φόρτοι συνδέσμων, οχηματοώρες, οχηματοχιλιόμετρα κ.α.

1.4. Διάρθρωση Εργασίας

Έχοντας παρουσιάσει τους στόχους της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά την υλοποίησή της, ακολουθεί μία συνοπτική παρουσίαση του περιεχομένου των κεφαλαίων που ακολουθούν.

Κεφάλαιο 2

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση της θεωρίας του σχεδιασμού των συστημάτων μεταφορών. Παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες και αρχές του σχεδιασμού των μεταφορών, η διαδικασία του σχεδιασμού, οι βασικές αρχές προτυποποίησης των συστημάτων μεταφορών, καθώς και η κλασική προσέγγιση προτυποποίησης των μεταφορικών συστημάτων – το μοντέλο των 4 βημάτων.

Κεφάλαιο 3

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση της θεωρίας των αστικών διοδίων. Παρουσιάζεται η οικονομική θεωρία που διέπει τη χρέωση χρήσης του οδικού τμήματος, οι βασικοί στόχοι της εφαρμογής του ως μέτρο, καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά των διάφορων τρόπων υλοποίησής του.

Κεφάλαιο 4

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η δομή και η λειτουργία του λογισμικού VISUM. Παρουσιάζονται τα μοντέλα προσφοράς και ζήτησης μετακίνησης με τα χαρακτηριστικά τους, καθώς και τα μοντέλα επιδράσεων του προγράμματος.

Κεφάλαιο 5

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η δομή και η λειτουργία του αλγόριθμου δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας που χρησιμοποιήθηκε. Παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που λαμβάνονται υπόψη κατά τον καταμερισμό, καθώς και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του.

Κεφάλαιο 6

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του συγκοινωνιακού μοντέλου της Αθήνας, όπως και του μοντέλου καταμερισμού που χρησιμοποιήθηκε. Επίσης, παρουσιάζονται τα σενάρια που αναπτύχθηκαν για την μελέτη των επιπτώσεων των αστικών διοδίων.

Κεφάλαιο 7

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των σεναρίων, στο συγκοινωνιακό μοντέλο που έχει αναπτυχθεί. Επίσης, πραγματοποιείται μία αξιολόγηση των σεναρίων, καθώς και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή τους.

Κεφάλαιο 8

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται μία σύνοψη της διπλωματικής εργασίας και της διαδικασίας που ακολουθήθηκε, και παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή. Τέλος, γίνεται μία κριτική αξιολόγηση της διπλωματικής εργασίας και παρουσιάζονται διάφορες μελλοντικές εξελίξεις σε θέματα που μπορούν να ερευνηθούν και σχετίζονται άμεσα με την παρούσα διπλωματική εργασία.

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

2.1. Η Προσφορά και η Ζήτηση στον Τομέα των Μεταφορών

Οι έννοιες της προσφοράς και της ζήτησης αποτελούν βασικές έννοιες της οικονομικής θεωρίας. Η χρησιμοποίηση των παραπάνω εννοιών σε τομείς που αποτελούν μέρος της συνολικής οικονομίας, με σκοπό την ανάλυση τους, αποτελεί σύνηθες φαινόμενο. Ωστόσο, τα κρίσιμα μεγέθη που παρατηρούνται και μελετώνται είναι διαφορετικά σε κάθε τομέα και θα πρέπει να ανάγονται με προσοχή σε όρους προσφοράς και ζήτησης. Στον τομέα των μεταφορών, η χρησιμοποίησή τους γίνεται με σκοπό την μελέτη και ανάλυση της αλληλεπίδρασης της ανάγκης για μετακίνηση σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή (ζήτηση) προς την χωρητικότητα / κυκλοφοριακή ικανότητα του μεταφορικού συστήματος (προσφορά). Η ζήτηση για μετακίνηση πρέπει να σημειωθεί ότι είναι απορρέουσα και όχι αυτοσκοπός, αφού προκύπτει σαν ανάγκη της επιθυμίας μετακίνησης από ένα σημείο του χώρου σε ένα άλλο και επομένως διαφοροποιείται από την βασική έννοια της ζήτησης για ένα αγαθό στην οικονομική θεωρία (Hensher and Button, 2000).

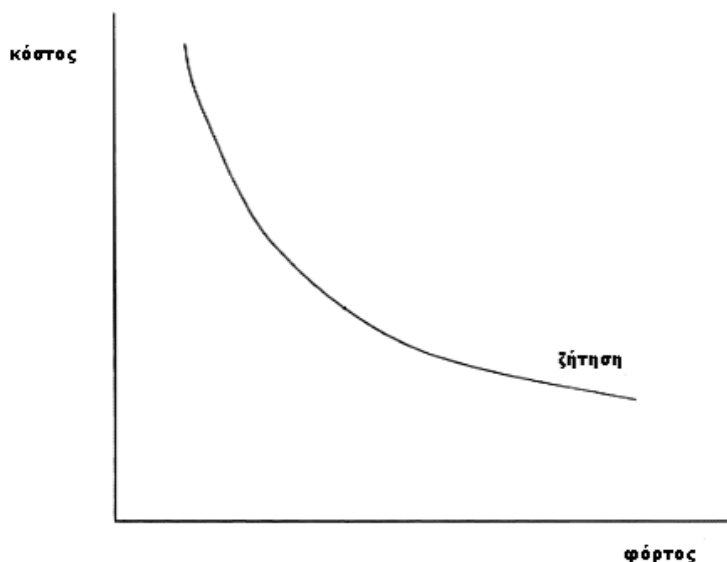
Στην οικονομική θεωρία η ανάλυση της προσφοράς και της ζήτησης για ένα αγαθό γίνεται χρησιμοποιώντας τις έννοιες του χρηματικού κόστους και την ποσότητα του αγαθού. Στον τομέα των μεταφορών οι έννοιες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση, είναι το κόστος της μετακίνησης καθώς και ο αριθμός των μετακινήσεων. Η έννοια του κόστους της μετακίνησης αποτελεί άθροισμα των τιμών κάποιων επιμέρους χαρακτηριστικών της μετακίνησης. Τα χαρακτηριστικά αυτά που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό του κόστους μπορεί να διαφέρουν για κάθε μετακινούμενο, ωστόσο τα βασικά χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψη είναι ο χρόνος διαδρομής, το άμεσο χρηματικό κόστος κίνησης (καύσιμα, διόδια) καθώς και το έμμεσο χρηματικό κόστος (αξία χρόνου μετακινούμενου). Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά συνθέτουν την έννοια του γενικευμένου κόστους μετακίνησης το οποίο και χρησιμοποιείται στην ανάλυση των μεταφορών. Το γενικευμένο κόστος για να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση της προσφοράς και της ζήτησης βάσει της οικονομικής θεωρίας, θα πρέπει να εκφραστεί στις ανάλογες μονάδες με το χρηματικό κόστος ενός αγαθού. Επομένως, το γενικευμένο κόστος μετατρέπεται σε χρηματικές μονάδες (Hensher and Button, 2000).

2.1.1. Χαρακτηριστικά της ζήτησης για μετακίνηση

Η αιτία που πραγματοποιείται μια μετακίνηση είναι η συμμετοχή του μετακινούμενου σε μία δραστηριότητα η οποία δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί από την θέση στην οποία βρίσκεται (κυρίως κατοικία). Από τον παραπάνω ορισμό γίνεται αντιληπτό ότι η κατανομή των διαφορετικών δραστηριοτήτων (εργασία, καταστήματα, διασκέδαση κλπ) στον χώρο είναι αυτή η οποία καθορίζει την ζήτηση για μετακίνηση. Η ανάλυση της χωρικής διάστασης της ζήτησης γίνεται με τον διαχωρισμό της ευρύτερης περιοχής μελέτης σε επιμέρους ζώνες και την κωδικοποίηση των μεταφορικών δικτύων που υπάρχουν. Η χωρική κατανομή της ζήτησης για μετακίνηση μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα συντονισμού και κυκλοφοριακής συμφόρησης που έχουν επιπτώσεις στην ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

Η ζήτηση για μετακίνηση αντικατοπτρίζει την ανάγκη μετάβασης από ένα σημείο του χώρου σε ένα άλλο. Ωστόσο, η πραγματοποίηση ή μη της μετακίνησης, αξιολογείται από τον κάθε χρήστη ο οποίος λαμβάνει υπόψη του το γενικευμένο κόστος της μετακίνησης αλλά και την αναγκαιότητα της πραγματοποίησής της. Επομένως, η ζήτηση για μετακίνηση διαφοροποιείται σημαντικά κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και κατά τη διάρκεια της εβδομάδας και εξαρτάται άμεσα από τον σκοπό της μετακίνησης (μετακίνηση προς δουλειά, καταστήματα, ψυχαγωγία κλπ) αλλά και από τον τύπο της μετακίνησης (ιδιωτικές,

εμπορευματικές μεταφορές). Βασικό ρόλο στη διαφοροποίηση της ζήτησης, διαδραματίζουν όμως και τα δημογραφικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού όπως το εισόδημα, το μέγεθος της οικογένειας, η ιδιοκτησία αυτοκινήτου και άλλα. Τα δημογραφικά χαρακτηριστικά καθορίζουν εν μέρει το γενικευμένο κόστος της μετακίνησης για κάθε μετακινούμενο και επομένως παίζουν σημαντικό ρόλο στην ζήτηση. Επίσης, σημαντικό ρόλο στη διαφοροποίηση της ζήτησης παίζει η σημασία της ταχύτητας και της συχνότητας των μετακινήσεων για τον μετακινούμενο.



Διάγραμμα 2. 1: Η καμπύλη ζήτησης για μετακίνηση

Η ζήτηση για μετακίνηση απορρέει από την επιθυμία των ανθρώπων να ταξιδεύσουν με σκοπό την ικανοποίηση μίας ανάγκης τους (εργασία, ψυχαγωγία, εκπαίδευση κλπ) στον προορισμό τους. Επομένως, η μετακίνηση δεν αποτελεί σκοπό των ανθρώπων αλλά αποτελεί το μέσο για την μετάβαση στο σημείο όπου μπορεί να πραγματοποιηθεί η ικανοποίηση κάποιων αναγκών τους.

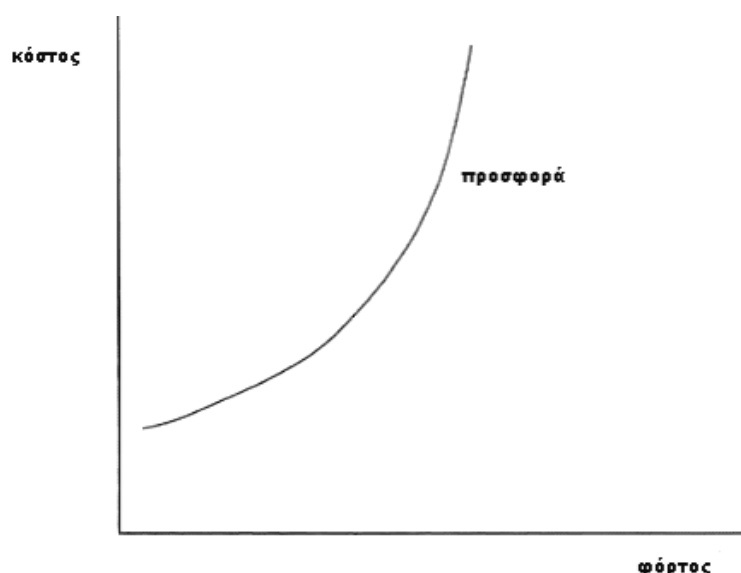
Η ζήτηση για μετακίνηση παρουσιάζει υψηλή διαφοροποίηση κατά τη διάρκεια της ημέρας, της εβδομάδας και της εποχής, επομένως κατά τον προσδιορισμό - ανάλυση της ζήτησης δεν μπορεί να μην ληφθεί υπόψη η χρονική μεταβλητότητα του μεγέθους. Η ζήτηση για μετακίνηση κατά την διάρκεια συγκεκριμένων χρονικών περιόδων (ώρα αιχμής, εποχιακή αιχμή) παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση με αποτέλεσμα η ζήτηση να υπερβαίνει την προσφορά και να δημιουργούνται φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Σε αντίθεση, κάποιες χρονικές στιγμές η ζήτηση για μετακίνηση είναι ιδιαίτερα χαμηλή με αποτέλεσμα η προσφορά να υπερκαλύπτει την ζήτηση και να παρουσιάζονται συνθήκες ελεύθερης ροής στο μεταφορικό σύστημα.



Διάγραμμα 2. 2: Η διαφοροποίηση της ζήτησης και η σχέση της με τη λειτουργική ικανότητα του συστήματος (Βυθούλας Π., 2008)

2.1.2. Χαρακτηριστικά της προσφοράς για μετακίνηση

Το πρώτο βασικό χαρακτηριστικό που διακρίνει την προσφορά είναι το γεγονός ότι αποτελεί υπηρεσία και όχι αγαθό. Επομένως, η αποθήκευση του και η χρησιμοποίησή του σε περιόδους με μεγαλύτερη ζήτηση δεν είναι πιθανή. Η υπηρεσία της προσφοράς εάν δεν χρησιμοποιηθεί την στιγμή και στο μέρος όπου είναι διαθέσιμη χάνει το όφελος της. Για την αποδοτική αξιοποίηση των πόρων απαιτείται όσο το δυνατόν ακριβέστερη εκτίμηση της ζήτησης για μετακίνηση, έτσι ώστε η προσφερόμενη υπηρεσία να σχεδιασθεί για να καλύπτει τις συγκεκριμένες ανάγκες της ζήτησης.



Διάγραμμα 2. 3: Η καμπύλη προσφοράς (χωρητικότητας) για μετακίνηση

Πολλά από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων μεταφορών απορρέουν από τη φύση τους σαν υπηρεσία. Ένα σύστημα μεταφοράς αποτελείται από την υποδομή, τα οχήματα που το χρησιμοποιούν καθώς και κάποιους κανόνες χρήσης (σύστημα διαχείρισης) που επιτρέπουν την κίνηση ανθρώπων και αγαθών στο σύστημα. Η υποδομή και τα οχήματα συνήθως ανήκουν / διαχειρίζονται από διαφορετικούς φορείς / εταιρείες / φυσικά πρόσωπα. Εξαιρέση αποτελεί το σιδηροδρομικό δίκτυο. Ο διαχωρισμός μεταξύ κατασκευαστή των υποδομών και παροχέα της τελικής υπηρεσίας των μεταφορών δημιουργεί ορισμένες ιδιαίτερα πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ των εμπλεκόμενων (κυβέρνηση, κατασκευαστικές εταιρείες, διαχειριστές συστήματος, χρήστες κλπ).

Η διάταξη της υποδομής παίζει σημαντικό ρόλο στην προσφορά, αφού η σωστή διάταξη των οδών και των βοηθητικών έργων (π.χ. ανισόπεδοι κόμβοι) έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της λειτουργικής ικανότητας του συστήματος. Η υποδομή είναι αυστηρά μοναδοποιημένη, δηλαδή δεν μπορεί να κατασκευαστεί μισός σιδηροδρομικός σταθμός. Ωστόσο, η ανάπτυξη της υποδομής μπορεί να πραγματοποιηθεί βαθμιαία έτσι ώστε να εναρμονίζεται με την αντίστοιχη αύξηση της ζήτησης.

Οι επενδύσεις στον τομέα της υποδομής των μεταφορών αποτελούν έργα με μεγάλο χρόνο υλοποίησης και αυξημένο κόστος. Τα δύο παραπάνω χαρακτηριστικά παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές σε αστικούς χώρους όπου η διάταξη του χώρου οδηγεί σε περιορισμούς. Οι επενδύσεις τέτοιας μορφής αποτελούν σημαντική πολιτική απόφαση αφού συμβάλλουν στην ανάπτυξη του τόπου, βελτιώνουν το επίπεδο εξυπηρέτησης και επομένως ωφελούν το κοινωνικό σύνολο. Ωστόσο, η δημιουργία των υποδομών έχουν σαν αποτέλεσμα πολλές φορές, επιπτώσεις στις οποίες μέρος του κοινωνικού συνόλου να αντιδρά. Τέτοιες επιπτώσεις μπορεί να είναι αναγκαστική απαλλοτρίωση ιδιωτικών εκτάσεων, περιβαλλοντικές επιπτώσεις και προσωρινές επιπτώσεις στην κυκλοφοριακή ικανότητα του συστήματος. Η αποτελεσματική κατανομή των διαθέσιμων πόρων στον τομέα της υποδομής

αυξάνει τα οφέλη, επομένως ο σωστός σχεδιασμός, η ανάλυση και η έρευνα πριν την υλοποίηση κάποιου έργου αποτελούν απαραίτητα στοιχεία.

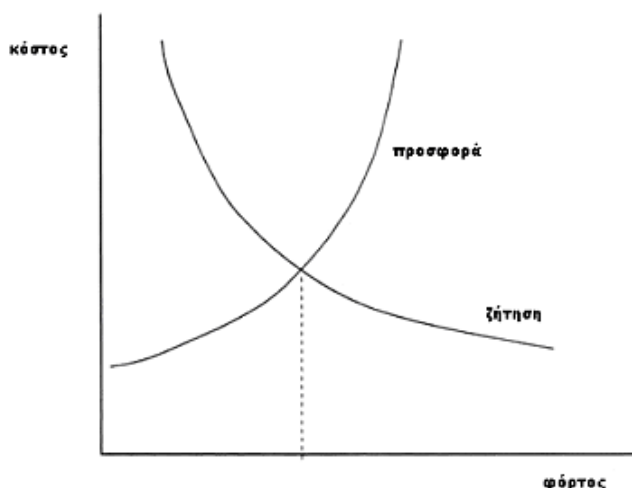
Το τεράστιο κόστος που συνεπάγεται η δημιουργία μίας νέας υποδομής δημιουργεί και το ερώτημα του ποιος πρέπει να επωμιστεί αυτό το κόστος. Η οικονομική θεωρία αναφέρει ότι κάθε ένας που δέχεται μία υπηρεσία ή ένα αγαθό πρέπει να χρεώνεται αντίστοιχα βάσει της χρησιμότητας που λαμβάνει από αυτό. Επομένως, σύμφωνα με αυτή, οι χρήστες πρέπει να χρεώνονται για την χρήση της νέας υποδομής άμεσα (διόδια). Όμως, οι χρήστες θεωρούν ότι χρεώνονται ήδη μέσω της φορολογίας στα οχήματα και στα καύσιμα και επομένως η χρησιμοποίηση των νέων τμημάτων της υποδομής θα έπρεπε να είναι ελεύθερη.

Ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της προσφοράς είναι η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση εμφανίζεται όταν η ζήτηση προσεγγίζει ή υπερβαίνει την χωρητικότητα/ κυκλοφοριακή ικανότητα του συστήματος. Το άμεσο αποτέλεσμα του παραπάνω φαινομένου, είναι ο χρόνος διαδρομής να αυξάνεται πολύ πάνω από τον μέσο χρόνο που αντιστοιχεί σε συνθήκες χαμηλής ζήτησης. Η είσοδος ενός επιπρόσθετου οχήματος στην υποδομή, δημιουργεί επιπλέον καθυστέρηση στους χρήστες. Η επίδραση αυτή είναι μεγαλύτερη σε συνθήκες αυξημένης κυκλοφοριακής ροής. Το αποτέλεσμα αυτής της επίδρασης εκφράζεται σαν εξωτερικό αποτέλεσμα της συμφόρησης, αφού το αποτέλεσμα της συμφόρησης δεν το επωμίζεται ο επιπλέον χρήστης που το δημιουργεί αλλά οι υπόλοιποι που ακολουθούν. Το κόστος της δημιουργίας συμφόρησης θεωρείται ότι πρέπει να χρεώνεται στα οχήματα άμεσα με τη χρήση ηλεκτρονικών διοδίων, έτσι ώστε η επιλογή της χρησιμοποίησης κάποιου τμήματος της υποδομής να είναι ποιο συνετή από τον κάθε χρήστη ξεχωριστά. Η περίπτωση αυτή συναντάται στα κεντρικά αστικά τμήματα των υποδομών.

2.1.3. Αλληλεπίδραση προσφοράς και ζήτησης

Η ανάλυση ενός συστήματος μεταφορών θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση της προσφοράς και της ζήτησης για μετακίνηση. Τα μεταφορικά συστήματα έχουν περιορισμένη χωρητικότητα, επομένως η ζήτηση για μετακίνηση και η λειτουργική τους ικανότητα καθορίζουν το επίπεδο εξυπηρέτησης που προσφέρουν. Καθώς η ζήτηση αυξάνεται, το επίπεδο εξυπηρέτησης μειώνεται. Καθώς όμως μειώνεται το επίπεδο εξυπηρέτησης, μειώνεται και η ζήτηση για μετακίνηση. Η μείωση της ζήτησης για μετακίνηση έχει όμως σαν αποτέλεσμα την βελτίωση του επιπέδου εξυπηρέτησης που οδηγεί σε αύξηση της ελκυστικότητας του κ.ο.κ.

Επομένως, για τον σωστό σχεδιασμό και ανάλυση ενός μεταφορικού συστήματος, απαιτείται ανάλυση της δυναμικής αλληλεπίδρασης της προσφοράς και της ζήτησης για μετακίνηση.



Διάγραμμα 2. 4: Η θέση ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης

Ο ρόλος του σχεδιασμού των μεταφορών είναι να εξασφαλίσει ότι η ζήτηση για μεταφορά ανθρώπων και αγαθών, με διαφορετικούς σκοπούς μετακίνησης, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους της ημέρας ή του χρόνου, με τη χρήση διαφορετικών μεταφορικών μέσων, ικανοποιείται δεδομένου ενός μεταφορικού συστήματος με συγκεκριμένη χωρητικότητα. Το μεταφορικό σύστημα αποτελείται από το σύνολο της υποδομής του, από το σύστημα διαχείρισης του (κανόνες οδήγησης, σηματοδοτημένοι κόμβοι κ.α.) καθώς και από τα μεταφορικά μέσα και τους χρήστες τους που το χρησιμοποιούν.

Για να είναι δυνατή η μελέτη της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η θέση ισορροπίας μεταξύ των δύο μεγεθών, απαιτείται η εύρεση των παραγόντων που επιδρούν σε κάθε μέγεθος.

Θεωρώντας ένα σύνολο τιμών για τον φόρτο (V) που εξυπηρετεί το σύστημα, σε κάθε τιμή αντιστοιχεί και μία τιμή για την ταχύτητα (S) που μπορεί να αναπτυχθεί στο σύστημα, δεδομένης της χωρητικότητας/ λειτουργικής ικανότητας του συστήματος (C) που προκύπτει για ένα συγκεκριμένο σύστημα διαχείρισης (M). Σε γενικές γραμμές, μπορεί να θεωρηθεί ότι η ταχύτητα εξαρτάται μόνο από τον φόρτο των οχημάτων, την χωρητικότητα του συστήματος και από το σύστημα διαχείρισης που χρησιμοποιείται, δηλαδή :

$$S = f(V, C, M) \quad (2.1)$$

Σαν ταχύτητα θεωρείται ένας γενικός δείκτης του επιπέδου εξυπηρέτησης (LOS) που παρέχει το σύστημα. Αναλυτικότερα, ο δείκτης αυτός καθορίζεται από την ταχύτητα των οχημάτων ή τον χρόνο διαδρομής τους, τον χρόνο αναμονής για την χρησιμοποίηση του μέσου καθώς και τον χρόνο που μετάβασης έως το μέσο. Η χωρητικότητα/ λειτουργική ικανότητα του συστήματος (C), εξαρτάται από το σύνολο των επενδύσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στον τομέα των υποδομών (E) καθώς και από το σύστημα διαχείρισης (M) που εφαρμόζεται, δηλαδή :

$$C = f(E, M) \quad (2.2)$$

Θεωρώντας ότι η ζήτηση για μετακίνηση εκφράζεται με το μέγεθος του φόρτου των οχημάτων (V) που χρησιμοποιούν το σύστημα σε μία δεδομένη χρονική στιγμή, η τιμή του φόρτου εξαρτάται άμεσα από την χωρική κατανομή των δραστηριοτήτων (A) και την ταχύτητα/ επίπεδο εξυπηρέτησης (S) που επιτυγχάνεται την δεδομένη χρονική στιγμή, δηλαδή :

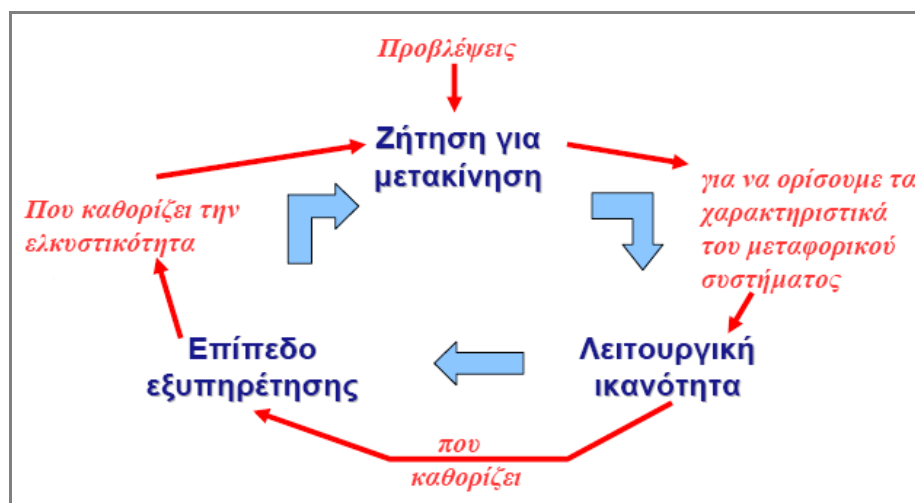
$$V = f(S, A) \quad (2.3)$$

Η προσιτότητα μίας δραστηριότητας στον χώρο, και επομένως η κατανομή της (A), εξαρτάται από την δυνατότητα πρόσβασης σε αυτή που έχει ο μετακινούμενος. Επομένως, εξαρτάται από την ταχύτητα/ επίπεδο εξυπηρέτησης (S) του συστήματος, δηλαδή :

$$A = f(S) \quad (2.4)$$

Από την παραπάνω ανάλυση των χαρακτηριστικών που επιδρούν στα μεγέθη της προσφοράς και της ζήτησης για μετακίνηση, προκύπτει ότι τα μεγέθη αυτά είναι μεταξύ τους αλληλένδετα. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα/ επίπεδο εξυπηρέτησης (S), οι φόρτοι του δικτύου (V) καθώς και η χωρική κατανομή των δραστηριοτήτων (A) αλληλεπιδρούν μεταξύ τους συνεχώς. Βραχυπρόθεσμα, η κατάσταση ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης προκύπτει από την δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ ταχύτητας/ επίπεδο εξυπηρέτησης (S) και του φόρτου του δικτύου (V). Η λογική που διέπει την βραχυπρόθεσμη κατάσταση ισορροπίας είναι ότι οι μετακινούμενοι προσπαθούν να επιλέξουν κάποια διαδρομή, είτε μεταβάλλοντας την διαδρομή που ακολουθούν στο χώρο (δίκτυο), είτε μεταβάλλοντας, εάν αυτό είναι δυνατό, την χρονική περίοδο της μετακίνησης. Σε επόμενο στάδιο στην βραχυπρόθεσμη περίοδο, η ισορροπία μπορεί να επιτευχθεί και με αλλαγή του τόπου εργασίας.

Μακροπρόθεσμα, η κατάσταση ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης προκύπτει από την δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ ταχύτητας/ επίπεδο εξυπηρέτησης (S), του φόρτου του δικτύου (V) και της χωρικής κατανομής - προσιτότητα των δραστηριοτήτων (A). Η λογική που διέπει την μακροχρόνια κατάσταση ισορροπίας είναι ότι οι μετακινούμενοι είναι διατεθειμένοι να αλλάξουν τον τόπο κατοικίας τους έτσι ώστε να υπάρχει για αυτούς καλύτερη προσιτότητα στις χωρικές δραστηριότητες που επιθυμούν, και επομένως καλύτερο επίπεδο εξυπηρέτησης για τις μετακινήσεις τους και συνεπώς μικρότεροι φόρτοι στο μέρος του δικτύου που χρησιμοποιούν. Αυτή η μακροπρόθεσμη δυναμική, έχει σαν αποτέλεσμα την μεταβολή στην χωρική κατανομή του πληθυσμού και επομένως μετά από κάποιο χρονικό διάστημα την μετάβαση πάλι στην βραχυπρόθεσμη δυναμική.



Διάγραμμα 2. 5: Η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ προσφοράς και ζήτησης (Βυθούλας Π., 2008)

Η πρόβλεψη και η διαχείριση της εξέλιξης των καταστάσεων ισορροπίας στον χρόνο, αποτελεί βασικό αντικείμενο του σχεδιασμού των μεταφορών, με στόχο την μεγιστοποίηση του κοινωνικού οφέλους. Ωστόσο, η παραπάνω διαδικασία αποτελεί ένα ιδιαίτερα σύνθετο πρόβλημα το οποίο απαιτεί την προτυποποίηση των καταστάσεων ισορροπίας έτσι ώστε να συμβάλει στην κατανόηση της διαδικασίας εξέλιξης του μεταφορικού συστήματος και να βοηθήσει την ανάπτυξη και εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης (M), και επενδυτικών προγραμμάτων (E).

2.2. Διαδικασία Ορθολογικού Σχεδιασμού

Η εξυπηρέτηση της υφιστάμενης και της μελλοντικής ζήτησης για μετακίνηση, αποτελεί το επίκεντρο του τομέα του σχεδιασμού των μεταφορών. Η συλλογή πληροφοριών που αφορούν την απόδοση του μεταφορικού συστήματος, ο προσδιορισμός του υφιστάμενου και του μελλοντικού επιπέδου εξυπηρέτησης και ο προσδιορισμός λύσεων αποτελούν αναπόσπαστα μέρη της διαδικασίας αυτής. Ιστορικά, η διαδικασία του σχεδιασμού που ακολουθήθηκε και συνεχίζει μέχρι σήμερα να ακολουθείται, είναι αυτή του ορθολογικού σχεδιασμού (Διάγραμμα 2.6).

2.2.1. Ορισμός στόχων

Στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας, προσδιορίζονται οι στόχοι της μελέτης, που είναι η εξυπηρέτηση της υφιστάμενης και της μελλοντικής ζήτησης για μετακίνησης.



Διάγραμμα 2. 6: Η δομή της διαδικασίας του ορθολογικού σχεδιασμού

2.2.2. Εντοπισμός προβλημάτων

Στο στάδιο αυτό, εντοπίζονται τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων προβλημάτων των συστημάτων μεταφορών καθώς και γίνεται πρόβλεψη πιθανών μελλοντικών προβλημάτων και των χαρακτηριστικών τους. Για τον εντοπισμό των υφιστάμενων προβλημάτων, απαιτούνται παρατηρήσεις και μετρήσεις κυκλοφοριακών μεγεθών ώστε να προσδιοριστούν τα προβλήματα του συγκοινωνιακού δικτύου και τα χαρακτηριστικά τους. Για την πρόβλεψη μελλοντικών προβλημάτων απαιτείται ο εντοπισμός θέσεων στο δίκτυο που αναμένεται να συγκεντρώνουν μεγάλη ζήτηση στο μέλλον, καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτών των θέσεων (φόρτοι, καθυστερήσεις, διάρκεια προσπέλασης θέσης κ.α.).

2.2.3. Γένεση εναλλακτικών λύσεων

Στο στάδιο της γένεσης εναλλακτικών λύσεων, προσδιορίζονται οι τρόποι αντιμετώπισης των συγκοινωνιακών προβλημάτων που εμφανίζονται στο σύστημα μεταφοράς. Τα συγκοινωνιακά προβλήματα δημιουργούνται από την δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης για μετακίνηση και συγκεκριμένα όταν η ζήτηση πλησιάζει ή υπερβαίνει την προσφορά. Η αντιμετώπιση των προβλημάτων γίνεται είτε λαμβάνοντας μέτρα αύξησης της προσφοράς είτε μέτρα μείωσης της ζήτησης. Η ζήτηση όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, αναφέρεται σε φόρτο οχημάτων.

Με δεδομένο ότι μεγάλο μέρος της ζήτησης καλύπτεται από οχήματα ιδιωτικής χρήσης (Ι.Χ.), είναι εμφανές ότι αν αναπτυχθούν και προωθηθούν τα μέσα μαζικής μεταφοράς (Μ.Μ.Μ.), θα υπάρξει μία αλλαγή στις προτιμήσεις των μετακινούμενων, οι οποίοι θα επιλέξουν να πραγματοποιήσουν τις μετακινήσεις τους, σε μεγαλύτερο ποσοστό από ότι προηγουμένως, με τα Μ.Μ.Μ.. Η μείωση του αριθμού των Ι.Χ. που χρησιμοποιούν το δίκτυο, θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του φόρτου των οχημάτων (ζήτηση) και επομένως την κάλυψη της χωρίς φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Η ανάπτυξη και η προώθηση των Μ.Μ.Μ. αποτελεί την πλέον αποτελεσματική μέθοδο αντιμετώπισης συγκοινωνιακών προβλημάτων για αειφόρο ανάπτυξη.

Η λήψη μέτρων διαχείρισης της ζήτησης έχει σαν στόχο την μείωση της ζήτησης ή την κατανομή της σε μη κυκλοφοριακά φορτισμένες χρονικές περιόδους. Η μείωση της ζήτησης

μπορεί να επιτευχθεί εφαρμόζοντας περιορισμούς στην κυκλοφορία των οχημάτων σε ορισμένες περιοχές (π.χ. δακτύλιος) ή με την επιβολή χρέωσης για χρήση συγκεκριμένου οδικού δικτύου (διόδια), το τελευταίο μέτρο αποτελεί και το αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η κατανομή της ζήτησης σε μη κυκλοφοριακά φορτισμένες περιόδους μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση κλιμακωτών ωραρίων εργασίας ή μπορεί να είναι αποτέλεσμα των περιορισμών στην κυκλοφορία και της επιβολής χρέωσης που μπορεί να έχουν επιβληθεί.

Άλλη μέθοδος αντιμετώπισης των συγκοινωνιακών προβλημάτων είναι η λήψη μέτρων με στόχο την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος (προσφορά) έτσι ώστε να εξυπηρετεί την υπάρχουσα και την μελλοντική ζήτηση για μετακίνηση. Η χωρητικότητα του συστήματος εξαρτάται από την υποδομή και το σύστημα διαχείρισης και επομένως οποιαδήποτε προσπάθεια αύξησής της, περιλαμβάνει παρεμβάσεις σε αυτά τα δύο.

Η λήψη μέτρων ανάπτυξης της υποδομής του μεταφορικού συστήματος, προϋποθέτει την κατασκευή νέων έργων υποδομής καθώς και την αναβάθμιση των υπαρχόντων. Η υποδομή (δίκτυο), αποτελείται από τους συνδέσμους (οδοί) και τους κόμβους, οπότε οποιοδήποτε μέτρο ανάπτυξής της έχει σαν στόχο την αύξηση των κυκλοφοριακών φόρτων που αυτά εξυπηρετούν και επομένως την αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος.

Η λήψη μέτρων σχετικά με το σύστημα διαχείρισης έχει σαν στόχο την μεγιστοποίηση της χρησιμοποίησης της υφιστάμενης χωρητικότητας του συστήματος. Αυτό, επιτυγχάνεται ελαχιστοποιώντας τους παράγοντες που μειώνουν την κυκλοφοριακή ικανότητα του συστήματος (π.χ. απαγόρευση στάσης και στάθμευση επί της οδού, γρήγορη αντιμετώπιση ατυχημάτων κ.α.), την εφαρμογή κυκλοφοριακών ρυθμίσεων (μονοδρομήσεις, απαγόρευση αριστερών στροφών κ.α.) καθώς και την χρησιμοποίηση της τεχνολογίας (προηγμένα συστήματα σηματοδότησης, συστήματα πληροφόρησης και καθοδήγησης οδηγών κ.α.).

Για κάθε εναλλακτική λύση που θα αναπτυχθεί, θα πρέπει να γίνουν προβλέψεις των κυκλοφοριακών φόρτων και του επιπέδου εξυπηρέτησης που θα προκύψουν από την υλοποίηση της πρότασης, έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί αξιολόγηση των εναλλακτικών λύσεων. Οι εναλλακτικές λύσεις μπορούν να συνδυάζουν τους τρόπους αντιμετώπισης που παρουσιάστηκαν παραπάνω, σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα αυτός ο συνδυασμός είναι επιτακτικός όταν αφορά παρεμβάσεις μεγάλης έκτασης και υπερτοπικής σημασίας.

2.2.4. Αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων

Στο στάδιο της αξιολόγησης των εναλλακτικών λύσεων που έχουν διερευνηθεί, ορίζεται ο τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος που μελετάται. Η αξιολόγηση γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα οφέλη και το κόστος κάθε εναλλακτικής. Τα οφέλη είναι η βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών και επομένως η μείωση του κόστους μετακίνησης (χρόνος, λειτουργικά έξοδα) που επωμίζεται ο χρήστης. Επίσης, στα οφέλη συνυπολογίζονται και άλλες παράμετροι όπως η μείωση των ατυχημάτων, η μείωση των εκπομπών αερίων, η βελτίωση του επιπέδου ζωής σε περιοχές γύρω από την περιοχή παρέμβασης κ.α.. Το κόστος κάθε εναλλακτικής λύσης ορίζεται από το κόστος χρήσης (χρόνος, λειτουργικά έξοδα, διόδια/ κόμιστρο), τις οικονομικοκοινωνικές επιπτώσεις που έχει η εφαρμογή κάθε πρότασης, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις καθώς και το κόστος κατασκευής (υλοποίησης) και συντήρησης της.

Από το στάδιο της αξιολόγησης προκύπτει εκείνη η λύση η οποία μεγιστοποιεί το κοινωνικό όφελος και καλύπτει τους στόχους που έχουν τεθεί στο πρώτο στάδιο.

2.2.5. Εφαρμογή σχεδίου και παρακολούθηση εφαρμογής

Η εφαρμογή της λύσης που επιλέχθηκε απαιτεί την χρηματοδότηση τους για την κάλυψη του κόστους υλοποίησης της. Το κόστος κατασκευής έργων υποδομής είναι ιδιαίτερα μεγάλο

και η κάλυψη του γίνεται είτε με συμβάσεις παραχώρησης είτε με χρηματοδότηση. Η χρηματοδότηση ενός έργου μπορεί να γίνει με τα ίδια κεφάλαια του αναδόχου, με κρατική συμμετοχή καθώς και με δάνεια από τράπεζες. Μετά την υλοποίηση της λύσης απαιτείται η παρακολούθηση της εφαρμογής της έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν πιθανές δυσλειτουργίες και παράγοντες που δεν είχαν ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό. Επίσης, παρακολουθείται η εφαρμογή της λύσης για να κριθεί κατά πόσο ικανοποιούνται τα κριτήρια που είχαν τεθεί στο πρώτο στάδιο του σχεδιασμού.

2.3. Μοντέλα Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού

Το μεταφορικό σύστημα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αποτελείται από το σύνολο της υποδομής του, το σύστημα διαχείρισής του, τα μεταφορικά μέσα και τους χρήστες του. Με δεδομένη τη συνεχή αύξηση της κινητικότητας των χρηστών του, η ανάγκη για συνεχή βελτίωση της υποδομής και του συστήματος διαχείρισής του, είναι επιτακτική. Η αναζήτηση και η εύρεση προτάσεων που μπορούν να οδηγήσουν σε αυτήν τη βελτίωση, δημιουργεί το ζήτημα της αξιολόγησης της χρησιμότητάς τους. Η χρησιμότητα κάθε εναλλακτικής λύσης προκύπτει από την ποσοτική διερεύνηση των επιπτώσεων της υλοποίησής της, η οποία πραγματοποιείται σε όρους κόστους-ωφελείας, λαμβάνοντας όμως υπόψη και άλλα κριτήρια (περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ασφάλεια κ.α.). Η ανάγκη για ποσοτική διερεύνηση των επιπτώσεων, απαιτεί την μαθηματική προτυποποίηση των συστημάτων μεταφορών και επομένως την δημιουργία κάποιων μοντέλων συγκοινωνιακού σχεδιασμού.

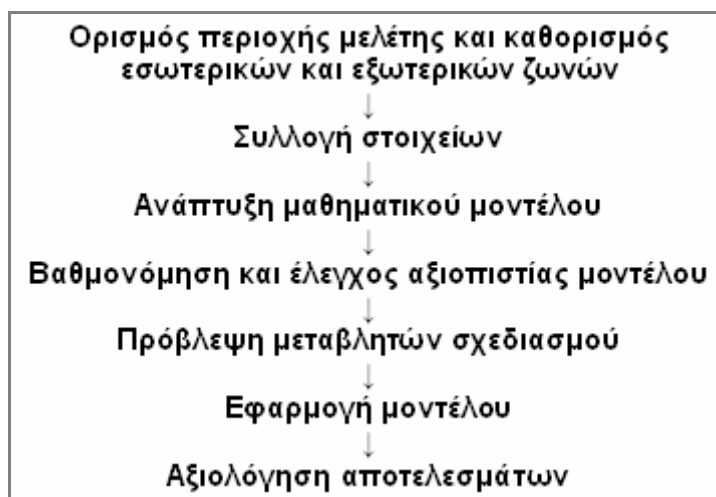
Τα μοντέλα συγκοινωνιακού σχεδιασμού αποτελούνται από σειρά μαθηματικών σχέσεων που χρησιμοποιούνται με στόχο την αναπαράσταση των επιλογών που κάνουν οι μετακινούμενοι όταν ταξιδεύουν (ανθρώπινη συμπεριφορά). Οι επιλογές των μετακινούμενων επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως τα προσωπικά χαρακτηριστικά τους (ηλικία, εισόδημα, ιδιοκτησία Ι.Χ.), τα χαρακτηριστικά της μετακίνησης (σκοπός, αριθμός μετακινούμενων μαζί) και τα χαρακτηριστικά των επιλογών (προορισμός, διαδρομή, μέσο μετακίνησης και τα χαρακτηριστικά τους). Η ανάπτυξη των μοντέλων βασίζεται σε υποθέσεις (συχνά απλουστευτικές) και περιορίζεται από το σύνολο των στοιχείων που είναι διαθέσιμα (έτος βάσης). Η μορφή των μοντέλων καθορίζεται και οι παράμετροι/ συντελεστές τους υπολογίζονται, έτσι ώστε να ταιριάζουν στα υφιστάμενα στοιχεία του έτους βάσης.

Κατά την διαδικασία ανάπτυξης των μοντέλων κρίνεται απαραίτητο να γίνουν κάποιες παραδοχές. Η βασική παραδοχή που γίνεται είναι ότι οι σχέσεις που προσδιορίστηκαν, ισχύουν και παραμένουν σταθερές στο μέλλον. Τα μοντέλα υπολογίζουν προβλέψεις λαμβάνοντας υπόψη τους την εξέλιξη των παραγόντων / μεταβλητών που περιλαμβάνουν. Εάν το μοντέλο που έχει αναπτυχθεί δεν παρουσιάζει ευαισθησία σε μία συγκεκριμένη πολιτική / πρόγραμμα ή χαρακτηριστικό του συστήματος, η πρόβλεψη των επιπτώσεων της συγκεκριμένης πολιτικής / προγράμματος ή των μεταβολών κάποιου χαρακτηριστικού, δεν θα είναι δυνατή.

Η ανάγκη για προτυποποίηση του σχεδιασμού των μεταφορών έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση μίας γενικής διαδικασίας ανάπτυξης μοντέλων, η οποία έχει προκύψει από μακροχρόνια έρευνα και πειραματισμούς. Η γενική αυτή δομή ανάπτυξης μοντέλων του σχεδιασμού των μεταφορών έχει προκύψει από την πρακτική που ακολουθήθηκε κατά την δεκαετία του '60 και έχει παραμείνει λίγο πολύ αμετάβλητη παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στη διαμόρφωση των μεθόδων, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών (Βυθούλας, 2008). Η γενική αυτή δομή παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.7.

2.3.1. Ορισμός περιοχής μελέτης και καθορισμός εσωτερικών και εξωτερικών ζωνών

Αρχικά, η προσέγγιση της προτυποποίησης γίνεται με την εύρεση της περιοχής που επηρεάζεται από το έργο που μελετάται (περιοχή μελέτης) και τον καθορισμό ενός συστήματος ζωνών. Το ζωνικό σύστημα καθορίζεται έτσι ώστε οι χωρικές ενότητες που θα



Διάγραμμα 2. 7: Η γενική δομή της διαδικασίας ανάπτυξης μοντέλων συγκοινωνιακού σχεδιασμού

προκύψουν να χρησιμοποιηθούν για την ενοποίηση των πρωτογενών στοιχείων και την ανάλυση τους στα πλαίσια ανάπτυξης του μοντέλου. Σε περιπτώσεις μεγάλου ποσοστού διερχόμενης κυκλοφορίας (αστικός χώρος), θα πρέπει το ζωνικό σύστημα να είναι αρκετά λεπτομερές, έτσι ώστε πιθανές αλλαγές των μετακινήσεων να μπορούν να αναπαρασταθούν από το μοντέλο. Γενικά, οι ζώνες θα πρέπει να έχουν συμβατότητα με την διοικητική διαίρεση.

2.3.2. Συλλογή στοιχείων

Στη συνέχεια, απαιτείται η συλλογή στοιχείων σχεδιασμού που περιγράφουν την μορφή και την συμπεριφορά του υπάρχοντος συστήματος κάτω από ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών συνθηκών. Η αξιοπιστία του μοντέλου και των προβλέψεων εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα αυτών των στοιχείων. Τα στοιχεία αυτά συλλέγονται έτσι ώστε να γίνει διερεύνηση της συμπεριφοράς των μετακινούμενων και να προκύψει ο μηχανισμός της γένεσης των μετακινήσεων, αλλά και των επιλογών που αυτοί κάνουν. Τα στοιχεία περιλαμβάνουν, τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά κάθε ζώνης της περιοχής μελέτης και τα χαρακτηριστικά των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται, στο έτος που γίνεται η δειγματοληψία (έτος βάσης). Τα στοιχεία που συλλέγονται, χρησιμοποιούνται για την δημιουργία μίας βάσης δεδομένων για το έτος βάσης, η οποία θα περιλαμβάνει τον πίνακα Προέλευσης – Προορισμού, τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά κάθε ζώνης, τα χαρακτηριστικά όλων των μεταφορικών συστημάτων καθώς και κυκλοφοριακές μετρήσεις σε οδικά τμήματα.

2.3.3. Ανάπτυξη μαθηματικού μοντέλου

Στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας ανάπτυξης μοντέλων του σχεδιασμού των μεταφορών, γίνεται ο προσδιορισμός του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της δομής του μαθηματικού μοντέλου (απλό ή σύνθετο), των συναρτησιακών σχέσεων (γραμμικές ή μη), και των μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και ο τρόπος που θα εισαχθούν αυτές στο μοντέλο. Οι δύο πιθανές μορφές της δομής του μοντέλου, παρουσιάζονται παρακάτω.

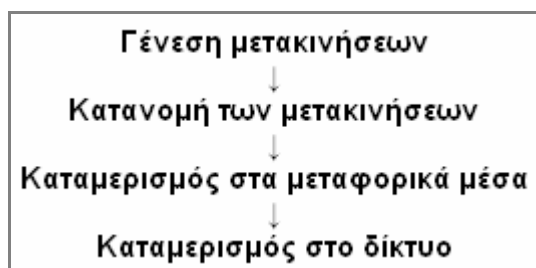
$$Y = f(X, \theta) \quad \text{στατική μορφή (απλή)} \quad (2.5)$$

$$Y(t) = f(Y(t-1), X(t), \theta) \quad \text{δυναμική μορφή (σύνθετη)} \quad (2.6)$$

όπου Y οι προβλέψεις των επιλογών των μετακινούμενων, θ οι συντελεστές που προσδιορίζονται στο στάδιο της βαθμονόμησης και X οι μεταβλητές του μεταφορικού συστήματος.

Στα στατικά μοντέλα η κατάσταση ενός συστήματος την χρονική στιγμή t , εκφράζεται σαν συνάρτηση των τιμών που έχουν οι μεταβλητές που το περιγράφουν την συγκεκριμένη χρονική στιγμή t . Στα δυναμικά μοντέλα, η κατάσταση του συστήματος την χρονική στιγμή t , εκφράζεται συναρτήσει των τιμών που έχουν οι μεταβλητές που το περιγράφουν την συγκεκριμένη χρονική στιγμή t , καθώς και της διαχρονικής εξέλιξης του συστήματος και των μεταβλητών που περιγράφουν αυτήν την εξέλιξη.

Τα στοιχεία της βάσης δεδομένων για το έτος βάσης χρησιμοποιούνται στο κλασικό πρότυπο των μεταφορών, που έχει τη μορφή μίας ακολουθίας τεσσάρων υποπροτύπων και είναι γνωστό σαν το μοντέλο των τεσσάρων βημάτων. Η ακολουθία αυτή έχει σαν στόχο την αναπαράσταση των επιλογών που κάνουν οι μετακινούμενοι, οι επιλογές αυτές αφορούν την απόφαση αν θα πραγματοποιήσουν μία μετακίνηση για κάποιο σκοπό, ποιος θα είναι ο προορισμός τους, τι μέσο θα χρησιμοποιήσουν καθώς και ποια διαδρομή ακολουθήσουν. Το μοντέλο των τεσσάρων βημάτων παρουσιάζεται παρακάτω.



Διάγραμμα 2. 8: Το μοντέλο των τεσσάρων βημάτων

Γένεση των μετακινήσεων

Τα στοιχεία της βάσης δεδομένων του έτους βάσης, εισάγονται καταρχάς στο μοντέλο της γένεσης των μετακινήσεων έτσι ώστε να υπολογιστεί ο αριθμός των μετακινήσεων που ξεκινούν από κάθε ζώνη (παραγόμενες μετακινήσεις) και ο αριθμός των μετακινήσεων που καταλήγουν σε κάθε ζώνη (ελκόμενες μετακινήσεις). Ο αριθμός των γενόμενων μετακινήσεων εξαρτάται από τις χρήσεις γης που υπάρχουν σε κάθε ζώνη, καθώς και από τα οικονομικοκοινωνικά χαρακτηριστικά κάθε ζώνης.

Κατανομή των μετακινήσεων

Το επόμενο βήμα είναι η κατανομή των γενόμενων μετακινήσεων που έχουν προκύψει από το προηγούμενο βήμα. Το μοντέλο της κατανομής προσομοιώνει την επιλογή του προορισμού που κάνει ένας μετακινούμενος. Υπολογίζει πόσες από τις μετακινήσεις που παράγονται σε μία ζώνη, θα καταλήξουν σε κάθε ζώνη της περιοχής μελέτης, δηλαδή προσδιορίζει από πού ξεκινούν και που καταλήγουν τα ταξίδια. Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας παράγει τον πίνακα (ή μητρώο) Προέλευσης – Προορισμού μεταξύ κάθε ζεύγους ζωνών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή των μετακινήσεων περιλαμβάνουν το μέγεθος και τις χρήσεις γης σε κάθε ζώνη, και το κόστος μετακίνησης από την ζώνη προέλευσης στην ζώνη προορισμού.

Καταμερισμός στα μεταφορικά μέσα

Το στάδιο του καταμερισμού αναπαριστά την επιλογή του μεταφορικού μέσου που επιλέγεται για τις μετακινήσεις. Το μοντέλο του καταμερισμού στα μεταφορικά μέσα χρησιμοποιεί τα στοιχεία που αφορούν την απόδοση των μεταφορικών συστημάτων και τα το

επίπεδο εξυπηρέτησης που αυτά παρέχουν. Επίσης, χρησιμοποιεί και τον πίνακα των συνολικών μετακινήσεων μεταξύ κάθε ζεύγους Π – Π (προέλευσης – προορισμού), που έχουν υπολογιστεί από το προηγούμενο στάδιο, και υπολογίζει έναν πίνακα Π – Π για κάθε μέσο, δηλαδή υπολογίζει τον αριθμό των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται με κάθε μέσο του συστήματος. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον καταμερισμό στα μεταφορικά μέσα είναι τα χαρακτηριστικά των μέσων, τα χαρακτηριστικά των μετακινούμενων (εισόδημα, ηλικία, ιδιοκτησία Ι.Χ.), η προσιότητα των μέσων και το είδος του ταξιδιού.

Καταμερισμός στο δίκτυο

Το τελευταίο στάδιο του κλασικού μοντέλου των τεσσάρων βημάτων, προσομοιώνει την επιλογή της διαδρομής που επιλέγει να ακολουθήσει ο κάθε μετακινούμενος. Το μοντέλο του καταμερισμού στο δίκτυο φορτίζει τα δίκτυα των διαφορετικών μεταφορικών συστημάτων, με τους αντίστοιχους πίνακες Π – Π που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο στάδιο. Τα δεδομένα που απαιτούνται για τον καταμερισμό στο δίκτυο είναι, η αναπαράσταση του οδικού δικτύου με ένα χάρτη κόμβων – συνδέσμων, η επιλογή των συναρτήσεων από τις οποίες θα προκύπτουν οι χρόνοι διαδρομής για κάθε σύνδεσμο του δικτύου και οι πίνακες Π – Π για κάθε μέσο έτσι ώστε να φορτιστεί το δίκτυο. Ο καταμερισμός γίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών διαδρομών που μπορούν να ακολουθήσουν οι μετακινούμενοι, και τελικά υπολογίζονται οι φόρτοι και οι καθυστερήσεις σε κάθε τμήμα του μεταφορικού δικτύου κάθε μέσου.

Κριτική του μοντέλου των τεσσάρων βημάτων

Οι αποφάσεις όσον αφορά τα ταξίδια, δεν λαμβάνονται πάντα σύμφωνα με την ακολουθία την οποία υιοθετεί το μοντέλο των τεσσάρων βημάτων. Επιπλέον, το μοντέλο εστιάζει σε περιορισμένο αριθμό επιλογών. Η σύγχρονη άποψη υιοθετεί την ανάγκη ανάλυσης ενός ευρύτερου φάσματος επιλογών των μετακινούμενων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που ένας μετακινούμενος αντιμετωπίζει συνεχώς αυξανόμενη κυκλοφοριακή συμφόρηση, μπορεί να επιλέξει να τροποποιήσει την διαδρομή που ακολουθεί, το μέσο που χρησιμοποιεί, την χρονική περίοδο της μετακίνησης, τον προορισμό του, και την συχνότητα των μετακινήσεων, συνδυάζοντας μετακινήσεις με διαφορετικούς σκοπούς. Επιπλέον, άλλες πιο σύνθετες επιλογές είναι διαθέσιμες μακροπρόθεσμα όπως η αλλαγή τόπου εκπλήρωσης κάποιων ανάγκης (κατοικία, εργασία, αγορές κ.α.).

Ένα σημαντικό θέμα στο κλασικό μοντέλο των τεσσάρων βημάτων αφορά την σταθερότητα των τιμών των διαφόρων μεταβλητών που υπολογίζονται στα διάφορα στάδια του μοντέλου. Κατά το στάδιο της κατανομής των μετακινήσεων, υπολογίζονται κάποιοι χρόνοι διαδρομής για κάθε ζεύγος Π – Π έτσι ώστε να προσδιοριστεί το κόστος μετακίνησης και να εφαρμοστεί η κατανομή των μετακινήσεων. Το αποτέλεσμα της κατανομής των μετακινήσεων χρησιμοποιείται στο επόμενο στάδιο, του καταμερισμού στα μεταφορικά μέσα και προκύπτουν οι βάσεις δεδομένων των μετακινήσεων με κάθε μέσο, για κάθε ζεύγος Π – Π. Οι βάσεις αυτές εισάγονται στην συνέχεια στο μοντέλο καταμερισμού στο δίκτυο από όπου και προκύπτουν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και οι νέοι χρόνοι διαδρομής για κάθε σύνδεσμο και επομένως για κάθε διαδρομή στο χώρο. Είναι προφανές ότι οι αρχικά προσδιορισμένοι χρόνοι διαφέρουν από τους μετέπειτα υπολογισμένους. Για αυτό τον λόγο, απαιτείται η εφαρμογή επαναληπτικής διαδικασίας όπου οι χρόνοι που προκύπτουν από τον καταμερισμό στο δίκτυο, εισάγονται στο δεύτερο στάδιο, το στάδιο της κατανομής και επιλύονται τα μοντέλα από την αρχή έως ότου επιτευχθεί μία ισορροπία των τιμών του χρόνου μετακίνησης ανάμεσα στα στάδια.

Παρά την έντονη κριτική που δέχεται, το κλασικό μοντέλο των τεσσάρων βημάτων, παρέχει ένα σημείο αναφοράς και σύγκρισης με τις εναλλακτικές μορφές μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί. Το κλασικό μοντέλο αποτελεί ουσιαστικά το πλαίσιο, πάνω στο οποίο αναπτύχθηκαν και ερευνήθηκαν όλα τα μεταγενέστερα μοντέλα (Βυθούλκας, 2008).

2.3.4. Εξέλιξη των συγκοινωνιακών μοντέλων

Η εξέλιξη στην έρευνα σε θέματα προτυποποίησης του σχεδιασμού των μεταφορών έχει βελτιώσει την αξιοπιστία των συγκοινωνιακών μοντέλων, τα οποία είναι πιο σύνθετα στη δομή τους από το κλασικό πρότυπο και δεν μπορούν εύκολα να αντιστοιχηθούν με την διαδικασία που ακολουθείται από αυτό. Τα βασικά χαρακτηριστικά της εξέλιξης αυτής είναι ότι έγινε στροφή προς μεθόδους ανάλυσης που αναπαριστούν την συμπεριφορά των μετακινούμενων, με σημαντικό ορόσημο την χρήση και προσαρμογή της θεωρίας της μεγιστοποίησης της ωφέλειας σε θέματα προτυποποίησης των επιλογών που κάνουν οι μετακινούμενοι. Η αναγνώριση της δυναμικής συμπεριφοράς των μεταφορικών συστημάτων, με στόχο την αναπαράσταση της διαχρονικής εξέλιξής τους και όχι για συγκεκριμένους χρονικούς ορίζοντες (στατική ανάλυση). Επίσης, η τεράστια ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών που έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια, έχει σαν αποτέλεσμα την υιοθέτηση μεθόδων μαθηματικής προσομοίωσης με στόχο την επίλυση προβλημάτων που παλαιότερα δεν ήταν εφικτή (Βυθούλκας, 2008).

2.3.5. Βαθμονόμηση και έλεγχος αξιοπιστίας του συγκοινωνιακού μοντέλου

Μετά το στάδιο της ανάπτυξης του συγκοινωνιακού μοντέλου, η γενική μορφή του μπορεί να θεωρηθεί ότι θα εκφράζεται από μία σειρά σχέσεων της μορφής :

$$Y = f(X, \theta) \quad (2.7)$$

όπου Y οι εκτιμήσεις των επιλογών των μετακινούμενων (φόρτοι, επιλογή μέσου κ.α.), X οι μεταβλητές του μεταφορικού συστήματος και θ οι συντελεστές τους.

Η βαθμονόμηση ενός μοντέλου είναι η διαδικασία με την οποία προσδιορίζονται οι τιμές των συντελεστών (θ), που περιλαμβάνονται στις μαθηματικές σχέσεις που αποτελούν το συγκοινωνιακό μοντέλο. Οι τιμές αυτές αντικατοπτρίζουν την επίδραση που έχει κάθε μεταβλητή του μεταφορικού συστήματος στις επιλογές των μετακινούμενων και συνεπώς στα κυκλοφοριακά μεγέθη. Οι βέλτιστες τιμές των συντελεστών είναι εκείνες για τις οποίες τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι όσο το δυνατό πλησιέστερα στα κυκλοφοριακά μεγέθη που έχουν μετρηθεί.

Μετά το στάδιο της βαθμονόμησης, ακολουθεί ο έλεγχος αξιοπιστίας/ εγκυρότητας του μοντέλου όπου ελέγχεται η ικανότητα του μοντέλου να αναπαριστά μία πραγματική κατάσταση χρησιμοποιώντας στοιχεία διαφορετικά από αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμησή του. Επειδή τα συγκοινωνιακά μοντέλα βασίζονται σε διαστρωματικά στοιχεία (cross sectional data), δηλαδή σε στοιχεία από διαφορετικά στρώματα του πληθυσμού που συλλέγονται την ίδια χρονική στιγμή, συχνά όλα τα στοιχεία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου. Το στάδιο του ελέγχου της αξιοπιστίας παραλείπεται θεωρώντας ότι η βαθμονόμηση του μοντέλου εγγυάται την καλή προσαρμογή των αποτελεσμάτων του στις παρατηρήσεις, γεγονός που εξασφαλίζει την αξιοπιστία των εκτιμήσεων. Από μελέτες πριν και μετά (before and after studies) την εφαρμογή παρεμβάσεων σε συστήματα μεταφορών, προκύπτει ότι ο έλεγχος αξιοπιστίας θα πρέπει να βασίζεται σε στοιχεία που δεν χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της βαθμονόμησης των παραμέτρων του μοντέλου. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να ελεγχθεί στατιστικά η εγκυρότητα των εκτιμήσεων των επιλογών και να προσδιοριστεί ένα διάστημα εμπιστοσύνης γύρω από αυτές.

2.3.6. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού

Μετά την βαθμονόμηση και την επικύρωση της εγκυρότητας του μοντέλου στο έτος βάσης, όπου πραγματοποιήθηκε η πλειοψηφία των εργασιών δειγματοληψίας και ανάλυσης, θα

πρέπει να εφαρμοσθεί σε έναν ή περισσότερους ορίζοντες σχεδιασμού. Για κάθε ένα από τους μελλοντικούς χρονικούς ορίζοντες, θα πρέπει να γίνουν προβλέψεις των μεταβλητών σχεδιασμού, δηλαδή των επιλογών των μετακινούμενων (φόρτοι, χρόνοι διαδρομής κ.α.). Αυτό, απαιτεί προβλέψεις για τα μελλοντικά μεγέθη και τη χωρική κατανομή των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, όπως πληθυσμός, απασχόληση, χρήσεις γης, εμπορικές, οικονομικές δραστηριότητες κ.α. Από τα παραπάνω στοιχεία, θα δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων με τις τιμές των μεταβλητών στον χρονικό ορίζοντα που έχει οριστεί. Ωστόσο, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη εναλλακτικών λύσεων και σεναρίων που να περιγράφουν τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών συστημάτων που θα αξιολογηθούν καθώς και εναλλακτικά σενάρια σχετικά με την εξέλιξη των κοινωνικοοικονομικών μεγεθών της περιοχής μελέτης. Τα παραπάνω στοιχεία συνθέτουν την βάση δεδομένων των βασικών χαρακτηριστικών του συστήματος μεταφοράς, για κάθε εναλλακτική λύση, για συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα.

2.3.7. Εφαρμογή του μοντέλου

Στο στάδιο της εφαρμογής του μοντέλου, χρησιμοποιούνται οι διαμορφωμένες βάσεις δεδομένων του μελλοντικού σχεδιασμού για κάθε εναλλακτική λύση και σενάριο, που έχουν προκύψει από το προηγούμενο στάδιο. Οι βάσεις αυτές εισάγονται στο πρότυπο των τεσσάρων βημάτων από όπου και προκύπτουν οι εκτιμήσεις για τα κυκλοφοριακά μεγέθη, όπως φόρτοι, καθυστερήσεις, χρόνοι αναμονής κ.α., που περιγράφουν την κατάσταση του συνολικού μεταφορικού συστήματος.

Αρχικά, οι μελλοντικές χρήσεις γης και τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, εισάγονται στο μοντέλο γένεσης των μετακινήσεων που υπολογίζει τις μελλοντικές παραγόμενες και ελκόμενες μετακινήσεις από κάθε ζώνη. Αυτές οι προβλεπόμενες μελλοντικές μετακινήσεις καθώς και τα μελλοντικά χαρακτηριστικά των μεταφορικών συστημάτων, προσδιορίζουν τον χρόνο και το κόστος της μετακίνησης μεταξύ κάθε ζεύγους Π – Π, εισάγονται στο μοντέλο της κατανομής των μετακινήσεων που υπολογίζει τον μελλοντικό πίνακα Π – Π για την περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια, ο μελλοντικός πίνακας Π – Π των μετακινήσεων, τα μελλοντικά χαρακτηριστικά των διαφορετικών μεταφορικών συστημάτων και τα μελλοντικά κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των μετακινούμενων, εισάγονται στο μοντέλο καταμερισμού στα μέσα που υπολογίζει τον μελλοντικό πίνακα Π – Π των μετακινήσεων που θα πραγματοποιούνται με το κάθε μεταφορικό μέσο. Τέλος, ο μελλοντικός πίνακας Π – Π των μετακινήσεων με κάθε μέσο και τα χαρακτηριστικά του μελλοντικού μεταφορικού συστήματος, εισάγονται στο μοντέλο του καταμερισμού στο δίκτυο. Το μοντέλο υπολογίζει τους μελλοντικούς κυκλοφοριακούς φόρτους και επίπεδο εξυπηρέτησης που προσφέρει το κάθε μεταφορικό σύστημα για κάθε σενάριο και λύση ξεχωριστά.

2.3.8. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Έχοντας εφαρμόσει το μοντέλο των τεσσάρων βημάτων, αφού έχουν πρώτα αναπτυχθεί κάποια πιθανά μελλοντικά σενάρια και εναλλακτικές λύσεις σχετικά με τα μεταφορικά συστήματα και τις δραστηριότητες που προβλέπεται να εξυπηρετήσουν, στη συνέχεια γίνεται μία αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της υλοποίησης για κάθε ένα από αυτά. Η αξιολόγηση κάθε σεναρίου και λύσης, περιλαμβάνει την ποσοτική διερεύνηση των επιπτώσεων της υλοποίησής της, η οποία πραγματοποιείται σε όρους κόστους - ωφελείας, λαμβάνοντας όμως υπόψη και άλλα κριτήρια (περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ασφάλεια κ.α.).

Το στάδιο της αξιολόγησης συμπίπτει και με το αντίστοιχο στάδιο της διαδικασίας του ορθολογικού σχεδιασμού. Τα αποτελέσματα κάθε σεναρίου και εναλλακτικής λύσης, συγκρίνονται με τους στόχους που είχαν τεθεί στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας του ορθολογικού σχεδιασμού των μεταφορών και κρίνεται αν είναι σκόπιμη ή όχι η υλοποίησή

τους. Η διαδικασία της συγκριτικής αξιολόγησης όλων των εναλλακτικών λύσεων τελικά προσδιορίζει το σχέδιο ανάπτυξης του μεταφορικού συστήματος, τις κατευθύνσεις της πολιτικής των μεταφορών και το πρόγραμμα επενδύσεων στις μεταφορές. Ο προσδιορισμός των παραπάνω έχει σαν στόχο την ικανοποίηση της ζήτησης για μετακίνηση την περιοχή μελέτης, την ικανοποίηση των στόχων και των περιορισμών καθώς και την μεγιστοποίηση της καθαρής ωφέλειας όπως έχει οριστεί στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας του ορθολογικού σχεδιασμού.

3. ΤΟ ΜΕΤΡΟ ΤΗΣ ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ

3.1. Εισαγωγικά

Η κυκλοφοριακή συμφόρηση αποτελεί ένα από τα κυριότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα μεγάλα αστικά κέντρα. Η κυκλοφοριακή συμφόρηση, όπως έχει αναφερθεί, προκύπτει όταν η ζήτηση για μετακίνηση σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές υπερβαίνει την χωρητικότητα του συστήματος, με αποτέλεσμα την αδυναμία εξυπηρέτησης των μετακινούμενων. Η αύξηση της χωρητικότητας του συστήματος αποτέλεσε αρχικά τον τρόπο αντιμετώπισης του προβλήματος, με την δημιουργία νέων έργων υποδομών. Ωστόσο, η χωρητικότητα του συστήματος έχει φτάσει τα τελευταία χρόνια στην μέγιστη τιμή της και επιπλέον αύξηση της δεν είναι δυνατή. Η λήψη μέτρων διαχείρισης της ζήτησης αποτελεί επιτακτική ανάγκη έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Το μέτρο της επιβολής χρέωσης για τη χρήση συγκεκριμένου μέρους του αστικού οδικού δικτύου, αποτελεί ένα από τα πλέον διαδεδομένα μέτρα διαχείρισης της ζήτησης που χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια.

3.2. Η Οικονομική Θεωρία της Χρέωσης για τη Χρήση των Αστικών Οδών

Οι θεμελιώδεις οικονομικές αρχές της επιβολής χρέωσης για τη χρήση του οδικού δικτύου, βασίζονται στην νεοκλασική προσέγγιση της μικροοικονομίας, γνωστή και ως θεωρία της οριακής υποκατάστασης. Η βασική αρχή της είναι ότι κάθε καταναλωτής επιθυμεί την μεγιστοποίηση της ωφέλειας που προκύπτει από την κατανάλωση ενός προϊόντος, για δεδομένους διαθέσιμους πόρους. Αυτό σημαίνει ότι κάθε καταναλωτής έχει μία προθυμία να πληρώσει για ένα προϊόν, και αυτή του η προθυμία καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του εμπορεύματος. Από την διαφοροποίηση της προθυμίας του κάθε καταναλωτή προκύπτει η λειτουργία της ζήτησης, όπου η πραγματική ζήτηση προκύπτει συναρτήσει του κόστους του προϊόντος. Το κόστος του προϊόντος εξαρτάται από την ποσότητα παραγωγής του και βάσει αυτής προκύπτει η προσφορά. Θεωρώντας την ύπαρξη υγιούς ανταγωνισμού στην αγορά, η θεωρία της οριακής υποκατάστασης ορίζει, ότι η βέλτιστη οικονομική τιμή χρέωσης του προϊόντος είναι εκείνη η οποία το κόστος παραγωγής της τελευταίας μονάδας προϊόντος (οριακό κόστος) ισούται με την τιμή που διατίθεται ο καταναλωτής να πληρώσει (οριακό έσοδο) (Whittles, 2003).

Στην απλή περίπτωση, ο παραγωγός του προϊόντος είναι αυτός που προσδιορίζει την τιμή του προϊόντος. Αρχικά, η παραγωγή περισσότερων μονάδων προϊόντος έχει σαν αποτέλεσμα το οριακό κόστος παραγωγής να μειώνεται και αν υπάρχει αντίστοιχη ζήτηση για την προσφερόμενη ποσότητα ο παραγωγός να την παράγει αν αυτό είναι δυνατό. Από την παραπάνω διαδικασία ωφελούνται και οι παραγωγοί αλλά και οι καταναλωτές. Ωστόσο από ένα σημείο παραγωγής και πάνω το κόστος παραγωγής μίας επιπρόσθετης μονάδας προϊόντος είναι μεγαλύτερο από το οριακό κόστος παραγωγής της προηγούμενης μονάδας.

Ο παραγωγός συνεχίζει να παράγει το προϊόν έως ότου το οριακό κόστος παραγωγής ισούται με το οριακό έσοδο (βέλτιστη τιμή), δηλαδή το σημείο εκείνο πέρα από το οποίο ο παραγωγός δεν έχει πλέον όφελος, αλλά ζημιιά από την παραγωγή επιπρόσθετου προϊόντος (Μάρσαλ, 1890). Η επίδραση της θεωρίας του οριακού κόστους στην παραγωγή χρησιμοποιήθηκε από τον Pigou (1920) και επεκτάθηκε στην γενική περίπτωση του οριακού κόστους πέρα από τις τιμές των αγαθών και των υπηρεσιών. Εάν η υπηρεσία είναι η επέκταση ενός δρόμου, η θεωρία οριακής υποκατάστασης μπορεί να προσδιορίσει την βέλτιστη τιμή χρέωσης για χρήση αυτού του δρόμου, όπου η προθυμία των μετακινούμενων να πληρώσουν είναι ίσο με το κόστος της προσφοράς (κατασκευής). Την θεωρία αυτή ανέπτυξε ο Knight (1924), όπου αναγνώρισε ότι σε συνθήκες συμφόρησης, το κόστος της

παροχής χώρου ώστε ένα επιπρόσθετο όχημα να κινηθεί, ξεπερνά το μέσο κόστος χρήσης. Δηλαδή, όταν ένα επιπλέον όχημα προστεθεί σε στιγμή αυξημένης κίνησης, θα έχει σαν αποτέλεσμα να μειώσει τη μέση ταχύτητα κίνησης των οχημάτων που ακολουθούν και έτσι το οριακό κόστος της ύπαρξης ενός επιπρόσθετου οχήματος είναι μεγαλύτερο από ότι πριν.

Όταν το δίκτυο βρίσκεται σε κατάσταση συμφόρησης, ο Knight επεσήμανε ότι το κόστος μετακίνησης θα πρέπει να αυξάνεται, ώστε να αντικατοπτρίζει το νέο οριακό κόστος. Σε αυτήν την περίπτωση, το σύστημα θα ήταν οικονομικά ορθό, αφού οι μετακινούμενοι θα επέλεγαν να πραγματοποιήσουν την μετακίνηση, εάν το νέο κόστος μετακίνησης το οποίο συμπεριλαμβάνει το κόστος συμφόρησης είναι εντός της τιμής του κόστους που προτίθενται να επωμισθούν. Ωστόσο, εάν οι μετακινούμενοι δεν επωμίζονται το κόστος της συμφόρησης, θα προκύψουν θέματα αναποτελεσματικότητας του δικτύου αφού ορισμένοι μετακινούμενοι θα πάρουν την απόφαση πραγματοποίησης μιας μετακίνησης χωρίς να έχει συμπεριληφθεί στο κόστος αυτής, το κόστος συμφόρησης.

Με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω, η οικονομική θεωρία της χρέωσης για τη χρήση του οδικού δικτύου, χρησιμοποιείται για να υποστηριχτεί ότι οι οδηγοί θα πρέπει να χρεώνονται συναρτήσει του πόσο χρησιμοποιούν τους δρόμους, ώστε να καλυφθεί από αυτούς και το οριακό εξωτερικό κόστος της μετακίνησης και να υπάρχει αποδοτικό σύστημα όπου για την βέλτιστη τιμή χρέωσης θα αντιστοιχεί και η βέλτιστη τιμή της χωρητικότητας του συστήματος. Σαν εξωτερικό κόστος της μετακίνησης ορίζεται εκείνο το κόστος το οποίο δεν επωμίζονται άμεσα αυτοί που το προκαλούν αλλά οι υπόλοιποι μετακινούμενοι ή μέρος της κοινωνίας.

Η κυκλοφορία των οχημάτων δημιουργεί τέσσερα κύρια κόστη στην κοινωνία, το κόστος των ατυχημάτων, το κόστος της μόλυνσης του περιβάλλοντος, το κόστος της ζημιάς του δικτύου και το κόστος συμφόρησης. Κόστη τα οποία θα πρέπει να αποδοθούν στους χρήστες ώστε να είναι οικονομικά ορθή και αποδοτική η λειτουργία του συστήματος μεταφορών (Newbery, 2000).

Η ύπαρξη ενός οχήματος στο δίκτυο, αυξάνει την πιθανότητα οι υπόλοιποι μετακινούμενοι να εμπλακούν σε κάποιο ατύχημα. Η πιθανότητα ύπαρξης ατυχήματος είναι ανάλογη με την απόσταση που διανύει κάθε όχημα καθώς και με το σύνολο των οχημάτων που κυκλοφορούν. Το μέγεθος του κόστους των ατυχημάτων έχει εκφραστεί, ότι μπορεί να είναι ίσο με το μέγεθος του συνολικού κόστους των άλλων τριών κοστών στην κοινωνία μαζί (Newbery, 1998). Ο προσδιορισμός του εξαρτάται από την αξία που δίνεται σε κάθε ζωή ανθρώπου που χάνει τη ζωή του ή τραυματίζεται όταν εμπλέκεται σε ατύχημα.

Το κόστος της μόλυνσης του περιβάλλοντος από την εκπομπή ρυπογόνων αερίων το αντιλαμβάνονται οι μετακινούμενοι σε μικρότερο βαθμό και κυρίως οι κάτοικοι των περιοχών γύρω από οδούς με υψηλή συγκέντρωση κυκλοφορίας οχημάτων. Σε σημεία του δικτύου όπου εμφανίζονται φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης, οι εκπομπές ρύπων είναι ιδιαίτερα υψηλές με αποτέλεσμα την υποβάθμιση του περιβάλλοντος της γύρω περιοχής. Η μόλυνση που προκαλεί κάθε όχημα εξαρτάται άμεσα από την απόσταση που διανύει καθώς και από την κυκλοφορία των υπόλοιπων οχημάτων στο δίκτυο. Το κόστος της μόλυνσης του περιβάλλοντος που προκαλεί ο κάθε μετακινούμενος καλύπτεται με την επιβολή φορολογίας στα καύσιμα. Έτσι, ο κάθε μετακινούμενος χρεώνεται μέσω της φορολογίας ανάλογα με τα πόσα καύσιμα καταναλώνει και συνεπώς πόσους ρύπους προκαλεί.

Το κόστος της ζημιάς του δικτύου εξαρτάται άμεσα από το βάρος των οχημάτων που το χρησιμοποιούν. Η κυκλοφορία οχημάτων μεγάλου βάρους, κυρίως που μεταφέρουν αγαθά, έχει σαν αποτέλεσμα το οδόστρωμα να καταπονείται και με την πάροδο του χρόνου να μειώνεται η ποιότητά του που έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την μείωση της λειτουργικής ικανότητας και της οδικής ασφάλειας της οδού. Επομένως, κάθε όχημα συμβάλλει αναλογικά με τις μετακινήσεις που πραγματοποιεί και το βάρος του, στη ζημιά του δικτύου και θα πρέπει το κόστος της ζημιάς και της αποκατάστασης να καλύπτεται από τους μετακινούμενους. Το κόστος αυτό, καλύπτεται με φόρους κατά την αγορά και τη διάρκεια ζωής των οχημάτων (τέλη κυκλοφορίας).

Το κόστος της συμφόρησης αντιστοιχεί στο κόστος που προκαλείται στους μετακινούμενους από την είσοδο επιπρόσθετων οχημάτων στο δίκτυο. Το κόστος αυτό αντικατοπτρίζει τη μείωση της ταχύτητας των οχημάτων και επομένως την αύξηση του

χρόνου διαδρομής και συνεπώς του άμεσου κόστους των μετακινήσεων. Επιπλέον, το κόστος συμφόρησης συνδέεται άμεσα και με τα υπόλοιπα κοινωνικά κόστη και επιδρά στις τιμές αυτών.

Πέρα από τις τέσσερις κύριες κατηγορίες κοστών που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπάρχουν και άλλα κόστη που δημιουργούνται στην κοινωνία σαν αποτέλεσμα των μετακινήσεων. Για παράδειγμα, το κοινωνικό κόστος της έλλειψης χώρων στάθμευσης. Ωστόσο, η κάλυψη αυτού του κόστους δεν μπορεί να συνδεθεί άμεσα με την υλοποίηση ενός πιο αποδοτικού συστήματος μεταφορών με την επιβολή της χρέωσης για χρήση του οδικού δικτύου.

Από την παραπάνω ανάλυση του κόστους, συμπεραίνεται ότι μέρος του εξωτερικού κόστους καλύπτεται από τους μετακινούμενους μέσω της φορολογίας των καυσίμων και των οχημάτων. Ωστόσο, το κόστος αυτό δεν το αντιλαμβάνονται άμεσα, θεωρώντας το σαν κάτι δεδομένο (πάγια έξοδα) και μη ικανό να διαφοροποιήσει τον τρόπο επιλογής πραγματοποίησης μιας μετακίνησης ή τη διαδρομή ή το μέσο μετακίνησης, στις περισσότερες περιπτώσεις. Το μέρος του εξωτερικού κόστους το οποίο είναι πιο δύσκολο να καλυφθεί μέσω της φορολογίας, είναι το κόστος συμφόρησης. Αυτό συμβαίνει γιατί η τιμή του μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και εξαρτάται άμεσα από την κυκλοφορία των υπόλοιπων οχημάτων στο δίκτυο. Δηλαδή, σε περιπτώσεις χαμηλής κυκλοφορίας οχημάτων, το κόστος συμφόρησης είναι μηδενικό σε αντίθεση με χρονικές στιγμές υψηλής ζήτησης για μετακίνηση. Το κόστος συμφόρησης, μπορεί να θεωρηθεί ότι ισούται με το κόστος του επιπρόσθετου χώρου που απαιτείται για να κινηθούν τα επιπλέον οχήματα ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα συμφόρησης.

Επομένως, η επιβολή χρέωσης για κάλυψη αυτού του κόστους θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική κατάσταση μεταξύ προσφοράς και ζήτησης για μετακίνηση. Η βέλτιστη τιμή χρέωσης για την κάλυψη αυτού του κόστους, είναι εκείνη η οποία θα επιφέρει το σύστημα σε κατάσταση ισορροπίας μακροχρόνια ,πριν το σημείο συμφόρησης. Επομένως, για την βέλτιστη τιμή χρέωσης, αντιστοιχεί μία βέλτιστη τιμή της χωρητικότητας του συστήματος όπου οι συνθήκες κυκλοφορίας δεν φτάνουν τα επίπεδα συμφόρησης. Ο μετακινούμενος με αυτό τον τρόπο λαμβάνει υπόψη του κατά τη διαδικασία επιλογής πραγματοποίησης ή μη της μετακίνησης, της επιλογής της διαδρομής, καθώς και της επιλογής του μέσου, το οριακό εξωτερικό κόστος της μετακίνησης (που πρέπει να καλύψει άμεσα), και επομένως το σύστημα είναι πιο αποδοτικό από οικονομικής άποψης, αφού ο κάθε μετακινούμενος επωμίζεται το συνολικό κόστος που προκαλεί η μετακίνησή του.

3.3. Στόχοι Επιβολής Χρέωσης

Η εφαρμογή του μέτρου της χρέωσης χρήσης οδικού δικτύου, δεν αποτελεί από μόνη της στόχο. Μπορεί όμως να αποτελέσει ένα αποδοτικό και λειτουργικό μέτρο για την επίτευξη κάποιων πιθανών στόχων. Η αξιολόγηση και η επιλογή των διαφορετικών τύπων χρέωσης θα πρέπει να γίνεται ανάλογα με τους στόχους που έχουν τεθεί. Η ύπαρξη περισσότερων του ενός στόχου που καθορίζουν και δικαιολογούν την επιβολή του μέτρου της χρέωσης είναι πιθανή. Το μέτρο της χρέωσης μπορεί να εφαρμοσθεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, όπου ο κάθε τρόπος μπορεί να διαφοροποιείται έντονα στην μορφή του από τους υπόλοιπους και η εφαρμογή του να έχει διαφορετικές επιπτώσεις (Verhoef, 2008).

Η οικονομική επιστήμη, δεν μπορεί να προσδιορίσει λύσεις στο θέμα του προσδιορισμού των πλέον κατάλληλων στόχων για κάθε πολιτική, συμπεριλαμβανομένης και της πολιτικής του τομέα μεταφορών. Ωστόσο, η οικονομική επιστήμη μπορεί να παίξει βασικό ρόλο στην αναζήτηση και εύρεση του πλέον αποδοτικού τρόπου για την επίτευξη των στόχων, με την χρησιμοποίηση των λιγότερων δυνατών πόρων (Verhoef, 2008).

Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι οι στόχοι μπορούν να τεθούν και με διαφορετικό βαθμό προτεραιότητας, και έτσι η διαδικασία της αξιολόγησης του κάθε πιθανού μέτρου να γίνεται βάσει των προτεραιοτήτων αυτών. Οι κατηγορίες στόχων που αναλύονται στη συνέχεια έχουν τεθεί από τον Whittles (2003).

3.3.1. Οικονομική αποδοτικότητα στο σύστημα μεταφορών

Βασικός στόχος του μέτρου της χρέωσης χρήσης είναι να επωμίζεται ο κάθε μετακινούμενος το πραγματικό κόστος που προκαλεί η μετακίνηση του. Με αυτόν τον τρόπο, το σύστημα θα γίνει πιο αποδοτικό από οικονομικής άποψης αλλά και λειτουργικής, αφού θα πραγματοποιούνται μόνο οι μετακινήσεις που οι μετακινούμενοι μπορούν να καλύψουν το συνολικό τους κόστος.

3.3.2. Μείωση κυκλοφοριακής συμφόρησης

Η επιβολή χρέωσης για τη χρήση του αστικού οδικού δικτύου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε το κόστος μετακίνησης που επωμίζονται οι οδηγοί να συμπεριλαμβάνει το κόστος της συμφόρησης που προκαλούν στους υπόλοιπους μετακινούμενους. Με αυτόν τον τρόπο αναμένεται να υπάρχει μείωση της ζήτησης για μετακίνηση και επομένως μείωση των φαινομένων συμφόρησης, αφού κάποιιοι μετακινούμενοι θα επιλέξουν να μην πραγματοποιήσουν ένα ταξίδι ή να χρησιμοποιούσαν διαφορετικό μέσο γι' αυτό. Ωστόσο, η επιβολή χρέωσης σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου της πόλης μπορεί μειώσει τα φαινόμενα συμφόρησης σε αυτό, αλλά να έχει σαν αποτέλεσμα να διοχετευθεί η κυκλοφορία σε άλλους περιφερειακούς δρόμους και τη δημιουργία φαινομένων κυκλοφοριακής συμφόρησης σε αυτούς. Αυτό μπορεί να είναι πλεονέκτημα, αν θεωρείται ότι οι δρόμοι που διοχετεύεται η κυκλοφορία, μπορούν να εξυπηρετήσουν τη ζήτηση σε ικανοποιητικό βαθμό. Στην περίπτωση που αυτό δεν είναι εφικτό, αποτελεί μειονέκτημα και το σύστημα εξακολουθεί να έχει προβλήματα συμφόρησης και μη αποδοτικότητας, έχοντας απλά μετατοπιστεί η υψηλή συγκέντρωση οχημάτων σε άλλα σημεία του δικτύου.

3.3.3. Χρήσεις γης

Η ικανότητα της τροποποίησης της ζήτησης που έχει η επιβολή χρέωσης, δίνει τη δυνατότητα να μπορεί να διαδραματίσει συμπληρωματικό ρόλο ο σχεδιασμός των μεταφορών, στον καθορισμό των χρήσεων γης. Η επιβολή χρέωσης για την είσοδο σε μία συγκεκριμένη ζώνη, σε συνδυασμό με την μη επιβολή χρέωσης σε κάποια άλλη γειτονική ζώνη, μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την μετεγκατάσταση κάποιων δραστηριοτήτων που βρισκόντουσαν εντός της ζώνης χρέωσης, σε σημεία περιφερειακά των ορίων της ζώνης χρέωσης. Αυτό, θα έχει σαν αποτέλεσμα την μετατόπιση κάποιων σημείων έλξης των μετακινήσεων σε νέες θέσεις και την συγκέντρωση ζήτησης σε αυτές. Με τον καθορισμό των χρήσεων γης μπορεί να καθοδηγηθεί αυτή η μετεγκατάσταση των δραστηριοτήτων και επομένως να καθοδηγηθεί και αναλόγως η κυκλοφορία των οχημάτων σε οδούς ικανές να εξυπηρετήσουν την ζήτηση.

3.3.4. Προσβασιμότητα

Η επιβολή χρέωσης, για την είσοδο σε μία περιοχή της πόλης, βελτιώνει την προσβασιμότητα και την προσπελασιμότητα της. Αυτό σημαίνει ότι οι μετακινούμενοι με υψηλή αξία χρόνου θα προτιμήσουν να εισέλθουν στην περιοχή χρέωσης με το όχημα τους ώστε να μειώσουν τον χρόνο διαδρομής και έτσι, με το ίδιο ή και με μικρότερο κόστος μετακίνησης σε σχέση με πριν, θα έχουν πραγματοποιήσει την μετακίνηση. Ωστόσο, οι μετακινούμενοι που δεν θα επιλέξουν να εισέλθουν στην ζώνη χρέωσης γιατί το κόστος αυτό αυξάνει σε μεγάλο βαθμό το κόστος μετακίνησης τους, και πρέπει να πραγματοποιήσουν την μετακίνηση, οδηγούνται στην αλλαγή διαδρομής ή την αλλαγή μέσου. Η αλλαγή μέσου, τις περισσότερες φορές, έχει σαν αποτέλεσμα την στροφή των μετακινούμενων στα μέσα μαζικής μεταφοράς (Μ.Μ.Μ.). Με δεδομένο ότι τα Μ.Μ.Μ. δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν

όλους τους μετακινούμενους στον ίδιο βαθμό, καθώς και ότι η αλλαγή διαδρομής θα έχει σαν συνέπεια την αύξηση του χρόνου διαδρομής, συμπεραίνουμε ότι το κόστος μετακίνησης για ορισμένους θα αυξηθεί σε σχέση με πριν την επιβολή χρέωσης. Από τα παραπάνω προκύπτει ένα θέμα άνισης μεταχείρισης, αφού βελτιώνεται η προσβασιμότητα και η προσπελασιμότητα της περιοχής για ορισμένους και δυσχεραίνει για άλλους.

3.3.5. Οικονομική ανάπτυξη

Σε περιοχές στις οποίες η πρόσβαση, προς και από αυτές βελτιώνεται, θεωρείται ότι η οικονομική δραστηριότητα βελτιώνεται. Η βελτίωση αυτή επιτυγχάνεται γιατί οι επιχειρήσεις που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές, πλέον απευθύνονται σε μεγαλύτερο εύρος καταναλωτών. Ωστόσο, η επιβολή χρέωσης μπορεί να οδηγήσει και σε αντίθετα αποτελέσματα αφού για ορισμένους καταναλωτές η προσβασιμότητα της περιοχής δυσχεραίνει και αποθαρρύνονται από αυτό.

3.3.6. Περιβαλλοντική βελτίωση

Η μείωση της ζήτησης στο δίκτυο μίας περιοχής, έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα την μείωση της εκπομπής ρύπων καθώς και της ηχορύπανσης από τα διερχόμενα αυτοκίνητα. Αυτό συμβαίνει γιατί μειώνονται τα φαινόμενα συμφόρησης, κατά την διάρκεια των οποίων η εκπομπή ρύπων και η ηχορύπανση, αυξάνονται δραματικά. Ωστόσο, θα πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα έτσι ώστε η πιθανή διοχέτευση μέρους της κυκλοφορίας των οχημάτων σε οδούς εκτός της περιοχής χρέωσης, να μην έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον των περιοχών γύρω από αυτές. Δηλαδή, να μην πραγματοποιείται βελτίωση των περιβαλλοντικών συνθηκών μίας περιοχής εις βάρος κάποιας άλλης.

3.3.7. Οδική ασφάλεια

Η μείωση της ζήτησης για κυκλοφορία σε οδικά τμήματα που επιβάλλεται χρέωση, έχει σαν αποτέλεσμα την βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών που επικρατούν σε αυτά. Θεωρείται, ότι όσο καλύτερες κυκλοφοριακές συνθήκες επικρατούν, τόσο καλύτερο είναι και το επίπεδο της οδικής ασφάλειας της οδού. Ωστόσο, η διοχέτευση μέρους της κυκλοφορίας σε πιθανούς μη κατάλληλους δρόμους, έχει αποδειχτεί ότι προκαλεί μείωση της οδικής ασφάλειας του συστήματος. Η ενδεχόμενη αλλαγή του μέσου μετακίνησης, όπως ποδήλατο, μοτοσικλέτα, περπάτημα κ.α., μπορεί να αυξήσει τον αριθμό των ατυχημάτων που συνδέονται με τα αντίστοιχα μέσα. Τέλος, η μείωση της ζήτησης μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των ταχυτήτων ροής, αλλά αυτό μάλλον δεν θα οδηγήσει σε μεγαλύτερα προβλήματα στις κεντρικές περιοχές με πολύ έντονη συμφόρηση.

3.3.8. Ισότητα

Το θέμα της ισότητας στον τομέα των μεταφορών, αποτελεί ιδιαίτερα δύσκολο θέμα για να προσδιοριστεί με ακρίβεια. Η λογική που το διέπει είναι ότι όλοι οι μετακινούμενοι και μη πρέπει να έχουν ίδια δικαιώματα και υποχρεώσεις και να αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο. Επομένως, σύμφωνα με την οικονομική θεωρία, ο κάθε μετακινούμενος θα πρέπει να καλύπτει το οριακό εξωτερικό κόστος που προκαλεί, όσο και αν είναι αυτό. Ωστόσο, το θέμα της χρέωσης δημιουργεί ταυτόχρονα και ανισότητες, γιατί η χρέωση για την κάλυψη του οριακού κόστους, γίνεται με την επιλογή κάποιων προκαθορισμένων χρηματικών αντιτίμων, αντίτιμα τα οποία ορισμένοι δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να καλύπτουν σε καθημερινή βάση. Επομένως, μέρος των μετακινούμενων αποκλείεται από την χρήση του

οδικού τμήματος που επιβάλλεται χρέωση για την χρήση του. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αύξηση του κόστους μετακίνησης των αποκλεισμένων, αφού επιλέγουν άλλη διαδρομή ή μέσο με μεγαλύτερο κόστος, και την μείωση του κόστους για αυτούς που έχουν την δυνατότητα να καλύψουν το αντίτιμο αυτό, αφού με το ίδιο ή μικρότερο κόστος σε σχέση με πριν, πραγματοποιούν την μετακίνηση. Η επιβολή του μέτρου επομένως ωφελεί συγκεκριμένα τμήματα του πληθυσμού, έναντι κάποιων άλλων. Από τα παραπάνω, φανερώνεται η λεπτότητα και η δυσκολία της αντιμετώπισης της αρχής της ισότητας στον τομέα των μεταφορών.

3.3.9. Συγκέντρωση κεφαλαίων και χρηματοδότηση υποδομών

Το μέτρο της επιβολής χρέωσης χρήσης οδικού δικτύου, εξ ορισμού περιλαμβάνει την μεταφορά χρημάτων από τους χρήστες των οδών, στον διαχειριστή του δικτύου. Η μεταφορά αυτή είναι και ο κύριος λόγος που το μέτρο έχει μικρή αποδοχή από τους μετακινούμενους.

Η συγκέντρωση κεφαλαίων μέσω του μέτρου της χρέωσης, για την χρηματοδότηση του τομέα των υποδομών των μεταφορών, μπορεί να αποτελέσει βασικό στόχο της εφαρμογής του. Στην πραγματικότητα, για ένα δημόσιο διαχειριστή του οδικού δικτύου, η χρηματοδότηση των υποδομών του συστήματος μεταφορών μπορεί να αποτελέσει έναν ενδιάμεσο στόχο επειδή η αύξηση της χωρητικότητας που θα πραγματοποιηθεί με την χρηματοδότηση, αποτελεί βασικό μέτρο υλοποίησης του στόχου της οικονομικής αποδοτικότητας του συστήματος. Ένα σύστημα θεωρείται αποδοτικό όταν διασφαλίζει την εξυπηρέτηση όλων των πιθανών μετακινήσεων. Η συνηθισμένη μέθοδος αξιολόγησης των επενδύσεων στον τομέα των υποδομών, είναι η ανάλυση της σύγκρισης κόστους ωφέλειας. Για παράδειγμα, η βασική αρχή της κοινωνικής αποδοχής μίας επένδυσης είναι τα κοινωνικά οφέλη να υπερτερούν του κοινωνικού κόστους. Εντούτοις, για λόγους πολιτικής, διαχείρισης και κοινωνικούς, η χρηματοδότηση των υποδομών του συστήματος μεταφορών αποτελεί έναν λογικό στόχο του μέτρου της επιβολής χρέωσης χρήσης οδικού δικτύου.

Αρχικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει λόγος να μελετηθεί η λήψη αποφάσεων σχετικά με τα μέτρα της χρέωσης χρήσης και της χρηματοδότησης, βασιζόμενοι στην ύπαρξη αλληλεξάρτησης μεταξύ τους. Τα δύο αυτά μέτρα μπορούν κάλλιστα να μελετηθούν και να αξιολογηθούν μεμονωμένα και όχι ως αλληλένδετα. Ωστόσο, υπάρχουν αμοιβαίες αλληλεξαρτήσεις που δεν μπορούν να μην ληφθούν υπόψη. Η βέλτιστη χωρητικότητα του συστήματος θα επιτευχθεί μόνο με την επιβολή κάποιου βέλτιστου χρηματικού κόστους.

Η θεωρητική οικονομική άποψη υποστηρίζει ότι τα έσοδα που θα προκύψουν από την επιβολή χρέωσης, αντιστοιχούν στο κόστος παροχής επιπρόσθετου χώρου για την κίνηση των οχημάτων. Επομένως, υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις, τα έσοδα από την επιβολή της θεωρητικά βέλτιστης τιμής χρέωσης, θα είναι επαρκή μακροπρόθεσμα ώστε να καλυφθεί το κόστος της βέλτιστης χωρητικότητας που απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης (Mohring και Harwitz, 1962). Σε αυτή την περίπτωση, το σύστημα θα είναι πλέον αυτοχρηματοδοτούμενο και η διάθεση των εσόδων που προκύπτουν από το μέτρο της χρέωσης σε άλλους τομείς πέραν των υποδομών των μεταφορών, θεωρείται ανορθόδοξη, αφού τότε για την θεωρητικά βέλτιστη τιμή χρέωσης δεν θα παρέχεται η βέλτιστη χωρητικότητα του συστήματος και θα έχει άμεσες συνέπειες στην αποδοχή του μέτρου.

Στην περίπτωση της ύπαρξης ιδιώτη διαχειριστή του οδικού δικτύου που επιβάλλεται η χρέωση, η συγκέντρωση κεφαλαίων αποτελεί τον βασικό στόχο της επιβολής χρέωσης. Το μέγεθος της χρέωσης θα προσδιοριστεί βάσει του στόχου της μεγιστοποίησης των κερδών και όχι της βέλτιστης θεωρητικά τιμής βάσει της οποίας θα προκύψει η βέλτιστη χωρητικότητα του συστήματος μακροπρόθεσμα και επομένως η οικονομική αποδοτικότητα του. Ο στόχος της μεγιστοποίησης των κερδών, τις περισσότερες φορές αντιτίθεται άμεσα στην λογική της μεγιστοποίησης του κοινωνικού οφέλους και έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλου κοινωνικού κόστους και μη αποδοχή του μέτρου (Verhoef, 2008).

Ωστόσο, τα μέτρα χρέωσης δεν θα πρέπει να συγχέονται με τα φορολογικά μέτρα, αφού οι φόροι επιβάλλονται αντίστοιχα σε όλους τους μετακινούμενους, ανεξαρτήτου διαδρομής που

ακολουθούν, ενώ η χρέωση του κόστους συμφόρησης μόνο στους μετακινούμενους που θα επιλέξουν να το επωμιστούν.

3.4. Συμβατότητα Στόχων

Οι πιθανοί στόχοι της εφαρμογής του μέτρου της χρέωσης χρήσης οδικού δικτύου που περιγράφηκαν παραπάνω, δεν είναι απαραίτητο να είναι πάντα συμβατοί μεταξύ τους, σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα μπορεί ένας στόχος αναιρεί έναν άλλο. Ο προσδιορισμός του πρωτεύοντα στόχου της εφαρμογής του μέτρου είναι απαραίτητη για μία συνεπή και ορθή σχεδίαση του τρόπου υλοποίησης του μέτρου. Επιπλέον στόχοι μπορούν να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία σχεδιασμού, έτσι ώστε να επιτευχθούν και αυτοί εν μέρει. Η σχεδίαση του τρόπου υλοποίησης του μέτρου, στην βραχυπρόθεσμη περίοδο, γίνεται λαμβάνοντας υπόψη κυρίως τον πρωτεύοντα στόχο, καθώς η εφαρμογή του μέτρου μπορεί να εμφανίζει μεγάλες ασυμβατότητες με τους υπόλοιπους στόχους (Verhoef, 2008).

Ωστόσο, μακροπρόθεσμα η ασυμβατότητα μεταξύ των στόχων αναμένεται να μειωθεί ή και να εξαλειφθεί σε μεγάλο βαθμό. Αυτό θα επιτευχθεί γιατί μακροπρόθεσμα, θεωρείται ότι το κοινωνικό κόστος τελικά θα μεγιστοποιηθεί και θα υπάρχει ένα οικονομικά αποδοτικό σύστημα μεταφορών. Το μέτρο επομένως θα έχει επιτύχει την ικανοποίηση όλων των στόχων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

3.5. Βασικά Χαρακτηριστικά Τρόπων Χρέωσης

Το μέτρο της χρέωσης χρήσης αστικού οδικού δικτύου μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Οι σημαντικότερες κατηγορίες τρόπων χρέωσης συμπεριλαμβάνουν την χρέωση της στάθμευσης (εφαρμόζεται σε πολλές πόλεις στον κόσμο), χρέωση διοδίου για την χρήση συγκεκριμένης οδού (Γαλλία - Ελλάδα), χρέωση για χρήση κλειστών λωρίδων υψηλής ταχύτητας που βρίσκονται παράλληλα σε κύριους οδούς (Η.Π.Α.), χρέωση για την είσοδο σε μία ζώνη (Σιγκαπούρη, Νορβηγία), χρέωση για είσοδο σε μία περιοχή της πόλης (Λονδίνο), χρέωση ανάλογα με την διανυόμενη απόσταση (Γερμανία) και χρέωση σε σημεία ενδιαφέροντος (γέφυρες, τούνελ κ.α.) (Verhoef, 2008).

Σε κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες, το μέγεθος της χρέωσης μπορεί να διαφοροποιείται με ποικίλους τρόπους (π.χ. ώρα, ημέρα, είδος οχήματος κ.α.), να συλλέγεται με διάφορους τρόπους (π.χ. φυσικά σημεία συλλογής διοδίων, ηλεκτρονικά μέσα συλλογής κ.α.) καθώς και τα έσοδα να αξιοποιούνται με διαφορετικούς τρόπους και κριτήρια.

Αποφασιστικό ρόλο στην επιλογή του τρόπου χρέωσης και των χαρακτηριστικών του, διαδραματίζει η επίτευξη του στόχου ή των στόχων που έχουν τεθεί. Έχοντας σαν πρωτεύοντα στόχο την αποδοτικότητα του συστήματος, το μέγεθος της χρέωσης και οι διαφοροποιήσεις στην τιμή της, παίζουν σημαντικό ρόλο σε αυτό και θα πρέπει να μελετηθούν και να προσδιοριστούν με ιδιαίτερη προσοχή. Επίσης, ο τρόπος αξιοποίησης των εσόδων από την επιβολή του μέτρου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητα του συστήματος καθώς και την αποδοχή του μέτρου από το κοινωνικό σύνολο.

Άλλος σημαντικός παράγοντας για την αποδοτικότητα και την αποδοχή του μέτρου είναι η λειτουργικότητα της εφαρμογής του. Αυτό σημαίνει ότι ο τρόπος χρέωσης θα πρέπει να εύκολος ως προς την διαχείριση, την κατανόηση και την επιβολή του. Με δεδομένη την αναγκαιότητα αναδιανομής των εσόδων του μέτρου για την αποδοτικότητα του συστήματος, κρίνεται απαραίτητο να μην απαιτείται μεγάλο μέρος των εσόδων για την κάλυψη του λειτουργικού του κόστους.

Η λήψη της απόφασης εφαρμογής του μέτρου της χρέωσης χρήσης μέρους του αστικού οδικού δικτύου, αποτελεί σημαντική πολιτική απόφαση η οποία διαμορφώνει τελείως διαφορετικά το υπάρχον αστικό σύστημα μεταφορών. Βασικό ρόλο στην λήψη αποφάσεων προς αυτήν την κατεύθυνση, παίζει η αποδοχή της αναγκαιότητας εφαρμογής του μέτρου από το κοινωνικό σύνολο. Ο παράγοντας εκείνος ο οποίος κρίνει επιτακτική την ανάγκη

λήψης τέτοιων δραστικών μέτρων, όπως είναι τα αστικά διόδια, είναι η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για μετακίνηση που έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων συμφόρησης στο δίκτυο. Επομένως, ο τρόπος επιβολής του μέτρου θα πρέπει να μπορεί να δώσει λύσεις στο παραπάνω πρόβλημα και να μην αποτελεί απλά ένα εισπρακτικό μέτρο. Η αναμενόμενη αποτελεσματικότητα του μέτρου παίζει σημαντικό ρόλο στην αποδοχή του.

Η ενημέρωση της κοινωνίας σχετικά με το μέτρο και την αναμενόμενη αποτελεσματικότητα του, έναντι άλλων εναλλακτικών προτάσεων που έχουν μελετηθεί, αποτελεί σημαντικό στοιχείο της αποδοχής. Η δημιουργία και η δημοσιοποίηση ενός συγκεκριμένου πλάνου σχετικά με τον τρόπο διαχείρισης των οικονομικών εσόδων του μέτρου, ώστε να γίνει γνωστός ο τρόπος που αναμένεται το μέτρο να ωφελήσει το σύνολο της κοινωνίας και όχι κάποιο μέρος της μόνο. Επομένως, η ενημέρωση ώστε να αντιληφθεί η κοινωνία τα αναμενόμενα οφέλη του μέτρου και να μην το συγχέει με την φορολογία, είναι απαραίτητη.

Η λήψη μέτρων ώστε να αντιμετωπιστούν δυσμενείς επιπτώσεις σε συγκεκριμένα τμήματα του πληθυσμού είναι απαραίτητη για την αποδοχή του μέτρου των αστικών διοδίων. Για παράδειγμα, θα πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα για εκείνους που θα πρέπει να πραγματοποιήσουν μετακινήσεις εντός της περιοχής χρέωσης αλλά αδυνατούν ή δεν είναι σωστό να επωμιστούν το κόστος του κόμιστρου. Τέτοιες ομάδες πληθυσμού μπορεί να είναι οι κάτοικοι που διαμένουν εντός της περιοχής χρέωσης, άτομα με ειδικές ανάγκες καθώς και κάποια άτομα χαμηλού εισοδήματος που κρίνεται απαραίτητη η είσοδος τους στην περιοχή χρέωσης. Επίσης, η εφαρμογή του μέτρου μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις και στην οικονομική δραστηριότητα εντός της περιοχής, τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα. Επομένως, ειδικά μέτρα στήριξης θα πρέπει να ληφθούν για την ενίσχυση αυτών που θεωρείται ότι θα πλήγονται άμεσα από το μέτρο (Santos and Rojey, 2004).

Η εφαρμογή του μέτρου θα περιλαμβάνει σίγουρα τη χρησιμοποίηση και την αξιοποίηση της τεχνολογίας. Ωστόσο, η χρήση της τεχνολογίας θα πρέπει να γίνεται διασφαλίζοντας ότι δεν θα προσβάλλονται τα ατομικά δικαιώματα των μετακινουμένων. Αυτό, προϋποθέτει την διατήρηση της ανωνυμίας των χρηστών και την μη καταγραφή και συλλογή προσωπικών τους δεδομένων, αλλά την καταγραφή μόνον κυκλοφοριακών δεδομένων που απαιτούνται. Επίσης, η λειτουργικότητα του μέτρου θα πρέπει να διασφαλιστεί ώστε να είναι απόλυτα κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του και να μην δημιουργούνται ασάφειες σχετικά με αυτόν, στους χρήστες.

Στα πρώτα στάδια εφαρμογής του μέτρου, η αποδοχή από το κοινωνικό σύνολο αναμένεται ότι δεν θα είναι μεγάλη και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα κοινωνικά οφέλη δεν θα είναι τόσο εμφανή και το κοινωνικό κόστος, πιθανόν να υπερισχύει αυτών. Ωστόσο, μακροπρόθεσμα τα κοινωνικά οφέλη, βάσει ενός ορθολογικού σχεδιασμού χρηματοδότησης, αναμένεται να υπερισχύσουν του κοινωνικού κόστους και να υπάρξει ευρεία αποδοχή της αναγκαιότητας εφαρμογής του μέτρου.

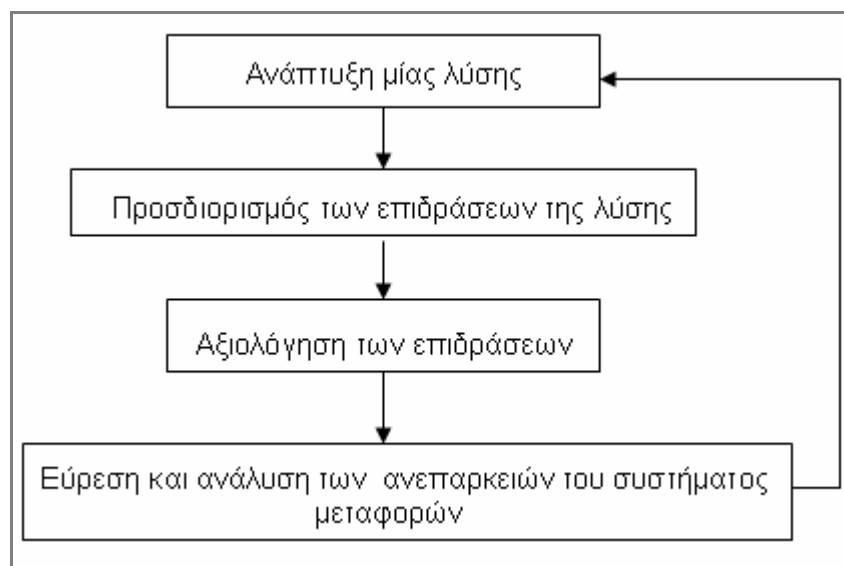
4. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ VISUM

4.1. Γενικά

Το *VISUM* έχει αναπτυχθεί και διανέμεται από την εταιρία PTV AG (Planung Transport Verkehr AG). Η έκδοση του προγράμματος η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η 9.5 και η άδεια λειτουργίας του προγράμματος ανήκει στο Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Η παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας του προγράμματος έχει βασιστεί στο εγχειρίδιο χρήσης του (*VISUM user manual*, 2006).

Το *VISUM* είναι ένα πρόγραμμα για σχεδιασμό των μεταφορών με τη βοήθεια υπολογιστή, τα οποίο έχει σαν στόχο την ανάλυση και τον σχεδιασμό ενός συστήματος μεταφορών. Ένα σύστημα μεταφορών περιλαμβάνει την προσφορά (χωρητικότητα συστήματος) για μετακίνηση με ιδιωτικά μέσα (PrT) και δημόσια μέσα (PuT), καθώς και τη ζήτηση για μετακίνηση. Το *VISUM* παρέχει τη δυνατότητα στους σχεδιαστές να αναπτύξουν διάφορα μέτρα και να μελετήσουν την επίδραση αυτών στο σύστημα μεταφορών.

Ο σχεδιασμός των μεταφορών είναι μία διαδικασία η οποία ξεκινάει με την ανάλυση και τη διερεύνηση της υπάρχουσας κατάστασης του συστήματος μεταφοράς. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατός ο εντοπισμός πιθανών ανεπαρειών του συστήματος. Η ανάλυση της υπάρχουσας κατάστασης ακολουθείται από μία διαδικασία σχεδιασμού, η οποία αποτελείται από τέσσερα στάδια.



Διάγραμμα 4. 1: Διαδικασία σχεδιασμού

Η παραπάνω διαδικασία (Διάγραμμα 4.1) ακολουθείται έως ότου βρεθεί εκείνη η λύση η οποία πληροί τους στόχους του σχεδιασμού που έχουν τεθεί.

Κατά την διαδικασία διεξαγωγής σχεδιασμού των μεταφορών με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τη χρήση του *VISUM*, η ανάλυση της κατάστασης και η διαδικασία σχεδιασμού της εργασίας, μοιράζεται μεταξύ του μελετητή και του υπολογιστή. Ο μελετητής είναι εκείνος ο οποίος αναπτύσσει και βελτιώνει τη λύση βασιζόμενος στην υπάρχουσα κατάσταση, ενώ ο υπολογιστής είναι εκείνος ο οποίος προσδιορίζει τις επιδράσεις της λύσης. Στη διαδικασία σχεδιασμού των μεταφορών με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, το σύστημα μεταφορών αναπαρίσταται με ένα μοντέλο μεταφορών, το οποίο αναπαριστά την πραγματική κατάσταση. Ο στόχος της ανάπτυξης του μοντέλου μεταφορών είναι η προετοιμασία για λήψη αποφάσεων βασιζόμενες στο μοντέλο.

Για να προσδιοριστούν οι επιδράσεις κάθε λύσης, το VISUM προσδιορίζει τις τιμές σε διάφορους δείκτες ανάλογα με την προσφερόμενη μετακίνηση, δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της λύσης. Οι δείκτες μπορεί να κατηγοριοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- δείκτες χρήστη, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ποιότητα σύνδεσης μεταξύ κυκλοφοριακών ζωνών,
- δείκτες λειτουργίας, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να ποσοτικοποιήσουν τις επιχειρησιακές και οικονομικές απαιτήσεις, για την παροχή μίας συγκεκριμένης προσφοράς για μετακίνηση με δημόσια μέσα,
- περιβαλλοντικοί δείκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να ποσοτικοποιήσουν τις επιδράσεις των ιδιωτικών οχημάτων μετακίνησης, στο περιβάλλον μίας περιοχής.

Το VISUM προσδιορίζει τις επιδράσεις της υφιστάμενης ή της σχεδιαζόμενης προσφοράς, η οποία μπορεί να περικλείει τόσο το δίκτυο των μεταφορών για τα μέσα ιδιωτικής χρήσης, όσο και το δίκτυο των δημοσίων μέσων. Ο σχεδιαστής του συστήματος υποστηρίζεται από το πρόγραμμα στην ανάπτυξη ενός σχεδίου προσφοράς, στην ανάλυση της προσφοράς και στην αξιολόγηση των μεταβλητών του δικτύου.

Βάση δεδομένων VISUM

Ένα συγκοινωνιακό μοντέλο στο VISUM αποτελείται από δεδομένα σχετικά με την προσφορά και την ζήτηση των μετακινήσεων στο δίκτυο.

Μοντέλα μελέτης επιδράσεων

Το VISUM περιλαμβάνει διάφορα μοντέλα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να προσδιοριστούν οι επιδράσεις της παρεχόμενης προσφοράς για μετακίνηση, στο σύστημα.

- Διαφορετικές διαδικασίες κατανομής της κυκλοφορίας (assignment procedures), επιτρέπουν την αντιστοίχιση της τρέχουσας ή αναμενόμενης ζήτησης για μετακίνηση, με την υπάρχουσα ή σχεδιασμένη προσφορά.
- Η ποιότητα σύνδεσης μεταξύ κυκλοφοριακών ζωνών στο δίκτυο, για κάθε σύστημα, περιγράφεται από δείκτες, οι οποίοι μπορούν να παρουσιαστούν με την μορφή μήτρων (μήτρες εμπέδησης).
- Το μοντέλο περιβαλλοντικών επιπτώσεων επιτρέπει τον προσδιορισμό της ηχορύπανσης και του επιπέδου εκπομπής ρυπογόνων αερίων από τα οχήματα, ανάλογα με την ένταση της κυκλοφορίας των οχημάτων στο υπάρχον ή σχεδιασμένο δίκτυο μεταφορών.
- Το μοντέλο λειτουργίας προσδιορίζει τις επιχειρησιακές και οικονομικές απαιτήσεις της προσφοράς μετακίνησης με δημόσιο σύστημα μεταφοράς. Η προβολή των δεδομένων στην περίοδο ανάλυσης ή στον χρονικό ορίζοντα, είναι πιθανή.

Ανάλυση της προσφοράς για μετακίνηση

Η δυνατότητα για μετακίνηση, για κάθε πιθανό τρόπο μετακίνησης (PrT ή PuT), μπορεί να εκτιμηθεί και να παρουσιαστεί σύμφωνα με διάφορα κριτήρια όπως για παράδειγμα:

- διαφοροποίηση κάποιου χαρακτηριστικού του συστήματος, υπολογισμένου για δύο διαφορετικές εναλλακτικές της μορφής του δικτύου,
- διαγράμματα ροής, τα οποία προκύπτουν από το επίπεδο ζήτησης για μετακίνηση μέσω συγκεκριμένων διαδρομών του δικτύου, σε συγκεκριμένα αντικείμενα του δικτύου (ζώνες, σύνδεσμοι, κόμβοι, σημεία στάσης),
- αξιολόγηση των φόρτων του δικτύου ανάλογα με τον τύπο της κυκλοφορίας (προέλευσης, προορισμού, ενδοζωνική, εξωζωνική, διέλευσης),
- φόρτοι στις στρέφουσες κινήσεις στους κόμβους,
- αναζήτηση γραφικά συντομότερης διαδρομής μεταξύ ζωνών ή κόμβων,

- ισόχρονοι (η απόσταση που μπορεί να διανυθεί σε ίσο χρονικό διάστημα) για την ταξινόμηση της δυνατότητας πρόσβασης σε σημεία του δικτύου, και την σύγκριση των χρόνων διαδρομής των συστημάτων μεταφοράς.

4.1.1. Πεδία εφαρμογής για θέματα σχεδιασμού των συστημάτων μεταφορών

Δημόσια συστήματα μεταφορών

- Σχεδιασμός και ανάλυση των γραμμών ΡuT του δικτύου.
- Σχεδιασμός και ανάλυση των χρονοδιαγραμμάτων λειτουργίας.
- Πρόβλεψη των απαιτήσεων σε χειριστές και οχήματα.
- Αναλύσεις κόστους – ωφέλειας.
- Παρουσίαση (γραφικά ή σε πίνακα) συγκεκριμένων χαρακτηριστικών των δημόσιων μέσων μεταφοράς (ακυρωμένα εισιτήρια, αριθμός επιβατών που επιβιβάζονται / αποβιβάζονται κ.α.).
- Αξιολόγηση και παρουσίαση του αριθμού των επιβατών και άλλων δεικτών για κάθε σύστημα, γραμμή, σύνδεσμο, στάση, χειριστή κ.α.
- Δημιουργία γραφικής παρουσίασης για να απεικονιστούν οι διάφορες σχεδιαστικές μεταβλητές.
- Δείκτες λειτουργίας για τον υπολογισμό του κόστους κάθε γραμμής.

Ιδιωτικά συστήματα μεταφορών

- Προσομοίωση της εφαρμογής μέτρων σχεδιασμού των μεταφορών, ώστε να προβλεφθούν οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και οι επιδράσεις των μέτρων.
- Πρόβλεψη των επιδράσεων της επιβολής αστικών διοδίων.
- Διαχωρισμός της ανάλυσης για κάθε μέσο ιδιωτικό σύστημα μεταφοράς (Ι.Χ., φορτηγά, ποδήλατα).
- Σύγκριση των προβλέψεων των φόρτων μεταξύ κάθε ζεύγους προέλευσης – προορισμού, με τις μετρημένες τιμές στην πραγματικότητα.
- Προσδιορισμός της ηχορύπανσης και του επιπέδου εκπομπής ρυπογόνων αερίων που προκαλείται από κάθε μέσο.

4.2. Περιγραφή Συγκοινωνιακού Μοντέλου

Το VISUM αποτελεί ένα λογισμικό σύστημα το οποίο ενσωματώνει όλα τα ιδιωτικά και τα δημόσια μέσα μετακίνησης, σε ένα ενιαίο μοντέλο. Τα δεδομένα που σχετίζονται με τις μετακινήσεις και τα σχεδιασμένα συστήματα μεταφορών, μπορούν εύκολα να διαχειριστούν από το VISUM καθώς και να ενημερωθούν. Σε αντίθεση με τα απλά συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (G.I.S.), το VISUM μπορεί να δημιουργήσει και να αξιοποιήσει, σύνθετες σχέσεις μεταξύ ενός ή περισσότερων συστημάτων μεταφορών. Με αυτόν τον τρόπο, ένα κατάλληλο συγκοινωνιακό μοντέλο μπορεί να αναπτυχθεί.

Το συγκοινωνιακό μοντέλο, συνήθως αποτελείται από ένα μοντέλο ζήτησης, ένα μοντέλο δικτύου βασισμένο στο VISUM, και διάφορα μοντέλα επιδράσεων.

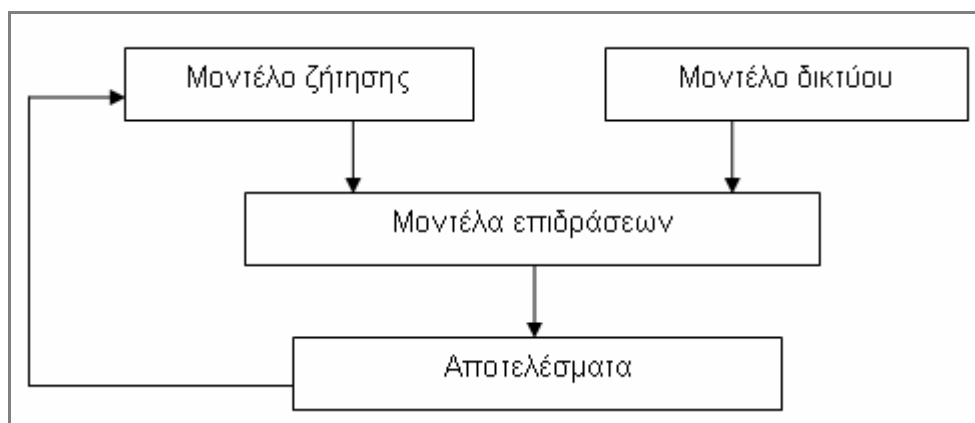
Το *μοντέλο ζήτησης* περιλαμβάνει τα δεδομένα της χρονικής μεταβολής της ζήτησης. Το VISUM έχει την δυνατότητα να προσδιορίσει και να προβλέψει τις μήτρες των μετακινήσεων μεταξύ όλων των ζευγαριών προέλευσης – προορισμού, για κάθε μέσο, για κάθε ομάδα πληθυσμού, θεωρώντας ότι τα μέλη της συμπεριφέρονται με μεγάλη ομοιογένεια μεταξύ τους.

Το *μοντέλο δικτύου* περιγράφει τα δεδομένα σχετικά με την χωρητικότητα του συστήματος μεταφορών. Αποτελείται από κυκλοφοριακές ζώνες, κόμβους, στάσεις δημοσίων μέσων

μεταφοράς, συνδέσμους και γραμμές και χρονοδιαγράμματα δημοσίων μέσων. Το VISUM παρέχει εύκολες στην χρήση τους μεθόδους, που έχουν την δυνατότητα να τροποποιούν και να ενημερώνουν τα δεδομένα του δικτύου.

Τα μοντέλα επιδράσεων χρησιμοποιούν σαν δεδομένα εισόδου, δεδομένα από το μοντέλο ζήτησης και το μοντέλο δικτύου. Το VISUM παρέχει αρκετά διαφορετικά μοντέλα επιδράσεων, ώστε να αναλυθεί και να προσδιοριστεί το υπάρχον σύστημα μεταφορών.

Το VISUM παρουσιάζει τα υπολογισμένα αποτελέσματα (γραφικά ή σε μορφή πινάκων), και επιτρέπει την γραφική ανάλυση τους. Με αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται η ανάλυση της δυνατότητας για μετακίνηση που παρέχει το σύστημα.



Διάγραμμα 4. 2: Το συγκοινωνιακό μοντέλο

Το συγκοινωνιακό μοντέλο αποτελεί, όπως και τα περισσότερα μοντέλα, μία αναπαράσταση του πραγματικού. Ο στόχος της διαδικασίας ανάπτυξης του μοντέλου είναι η ανάλυση ολόκληρου του συστήματος ή μέρος αυτού και η πραγματοποίηση προβλέψεων και εκτιμήσεων σχετικά με τις μεταβλητές που αναμένεται να έχουν επίδραση μελλοντικά στο σύστημα, έτσι ώστε να ληφθούν αποφάσεις βασιζόμενες στο μοντέλο.

4.3. Μοντέλο Δικτύου

Το μοντέλο δικτύου αναπαριστά το σύστημα μεταφορών και πρέπει να περιγράφει την χωρική και την χρονική δομή της προσφοράς. Για αυτό τον λόγο, το μοντέλο δικτύου αποτελείται από διάφορα αντικείμενα του δικτύου, τα οποία περιέχουν δεδομένα σχετικά με το δίκτυο μεταφοράς (σύνδεσμοι), τις ζώνες κυκλοφορίας και τις γραμμές και τα χρονοδιαγράμματα των δημοσίων μέσων μεταφοράς.

- Ζώνες: αποτελούν αντικείμενα τα οποία προσδιορίζουν την θέση των περιοχών στο δίκτυο, είτε βάσει των χρήσεων τους, είτε ακολουθώντας την διοικητική υποδιαίρεση (δήμοι, νομοί, δημοτικά διαμερίσματα). Αποτελούν την προέλευση και τον προορισμό των μετακινήσεων, στο δίκτυο μεταφορών.
- Κόμβοι: αποτελούν αντικείμενα τα οποία προσδιορίζουν την θέση των διασταυρώσεων των συνδέσμων, στο δίκτυο μεταφορών.
- Σύνδεσμοι: Κάθε σύνδεσμος έχει μια συγκεκριμένη κατεύθυνση κίνησης. Η αντίθετη κίνηση κάθε συνδέσμου αποτελεί ξεχωριστό αντικείμενο του δικτύου.
- Στρέφουσες κινήσεις: καθορίζουν τις επιτρεπτές στρέφουσες κινήσεις στους κόμβους και αποθηκεύουν τους χαμένους χρόνους για κάθε στρέφουσα κίνηση.
- Σύνδεσμοι κεντροειδών: συνδέουν τις ζώνες με το δίκτυο των συνδέσμων. Αναπαριστούν την απόσταση που πρέπει να καλυφθεί από το κέντρο βαρύτητας της ζώνης, έως τους κόμβους και τους συνδέσμους του δικτύου.
- Στάσεις δημοσίων συστημάτων μεταφορών: κατηγοριοποιούνται σε περιοχές στάσης και σε σημεία στάσης, που εξυπηρετούνται από γραμμές δημοσίων μέσων, και μπορούν να επιβιβαστούν και να αποβιβαστούν οι μετακινούμενοι.

- Γραμμές δημοσίων μέσων μεταφοράς: προσδιορίζουν την διαδρομή που ακολουθεί κάθε γραμμή δημόσιου μέσου μεταφοράς, το χρονοδιάγραμμα του καθώς και το σύνολο των διαδρομών του συστήματος.

Επιπλέον, το μοντέλο δικτύου μπορεί να περιλαμβάνει και τα παρακάτω:

- περιοχές καθορισμένες από τον χρήστη (π.χ. δήμοι, νομοί κ.α.), για τις οποίες οι δείκτες των PrT και PuT μπορούν να προσδιοριστούν βάσει των ορίων της περιοχής,
- άθροιση τοποθεσιών και προαιρετικοί ανιχνευτές στους συνδέσμους για προσδιορισμό της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση,
- στοιχεία διαχείρισης των οχημάτων των PuT και των χειριστών τους, όπως ωράριο λειτουργίας κ.α.,
- θέσεις ενδιαφέροντος, όπως μουσεία, σχολεία, καταστήματα κ.α.

Κάθε αντικείμενο του δικτύου περιγράφεται από τα χαρακτηριστικά του. Αυτά, κατηγοριοποιούνται σε εκείνα τα οποία εισάγονται από τον σχεδιαστή ή αυτόματα από το πρόγραμμα (input attributes), και σε εκείνα τα οποία υπολογίζονται από το πρόγραμμα (calculated attributes). Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει επιπρόσθετα χαρακτηριστικά (user - defined attributes) τα οποία μπορούν να περιέχουν επιπλέον πληροφορία ή προσωρινά δεδομένα.

Το πλήρες μοντέλο δικτύου λαμβάνει υπόψη του ξεχωριστά τους ιδιωτικούς και τους δημόσιους τρόπους μετακίνησης. Συνδυάζοντας διαφορετικούς τρόπους και μέσα μετακίνησης, ο σχεδιαστής μπορεί να καθορίσει διαφορετικά συστήματα μεταφορών. Τα ιδιωτικά συστήματα μεταφορών (PrT) εξαρτώνται από την επιτρεπόμενη ταχύτητα και την χωρητικότητα των συνδέσμων (οδών) ενώ τα δημόσια συστήματα μεταφορών (PuT) είναι άμεσα συνδεδεμένα με τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας τους.

4.3.1. Συστήματα μεταφορών

Η προσφορά για μετακίνηση συνίσταται από διάφορα συστήματα μεταφορών. Ένα σύστημα μεταφορών καθορίζεται από τον τύπο του (ιδιωτικό - PrT, δημόσιο - PuT, βοηθητικό δημόσιο - PuTAux και δημόσιο πεζών - PuTWalk) και από τα μέσα μετακίνησης (τύπο οχήματος) που αυτό χρησιμοποιεί (π.χ. Ι.Χ. , λεωφορείο, ταξί).

Τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων μεταφορών είναι:

- για τον ιδιωτικό τύπο (PrT): Ο χρόνος μετακίνησης, ο οποίος εξαρτάται από την μέγιστη ταχύτητα των μέσων που χρησιμοποιούνται, από την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα κίνησης στους συνδέσμους που χρησιμοποιούνται καθώς και από την χωρητικότητα των συνδέσμων,
- για το δημόσιο τύπο (PuT): Ο χρόνος διαδρομής των οχημάτων και οι χαμένοι χρόνοι στις στάσεις εξαρτώνται από το χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των μέσων δημόσιας μεταφοράς,
- για το δημόσιο πεζών (PuTWalk): Αυτός ο τύπος εξυπηρετεί την μοντελοποίηση των συνδέσμων μετακίνησης των πεζών.

Εισαγόμενα χαρακτηριστικά (Input attributes)

Ένα σύστημα μεταφορών καθορίζεται από τα παρακάτω εισαγόμενα χαρακτηριστικά:

- κωδικός συστήματος μεταφορών (αλφαβητικοί και αριθμητικοί χαρακτήρες),
- όνομα συστήματος μεταφορών (π.χ. το μέσο που χρησιμοποιεί),
- τύπος συστήματος μεταφορών (ιδιωτικό, δημόσιο κλπ),
- μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα των μέσων του,
- μονάδες επιβατικών αυτοκινήτων που αντιστοιχούν σε κάθε τύπο οχήματος,
- τύποι συνδέσμων που επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται από τα μέσα κάθε συστήματος μεταφορών.

4.3.2. Σύνδεση προσφοράς και ζήτησης για μετακίνηση

Η προσφορά για μετακίνηση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, συνίσταται από διάφορα συστήματα μεταφορών. Η σύνδεση της προσφοράς για μετακίνηση με την ζήτηση, γίνεται μέσω των διαφορετικών πιθανών τρόπων μετακίνησης (modes) και την ύπαρξη διαφορετικών τμημάτων ζήτησης (demand segment).

Τρόποι μετακίνησης (modes)

Οι τρόποι μετακίνησης μπορούν να συνδυάζουν περισσότερα από ένα συστήματα μεταφορών. Ο τρόπος μετακίνησης μπορεί να περιλαμβάνει είτε ένα ιδιωτικό σύστημα μεταφορών είτε περισσότερα από ένα δημόσια συστήματα μεταφορών. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η μοντελοποίηση των σύνθετων μετακινήσεων που απαιτούν περισσότερα από ένα συστήματα μεταφορών.

Τμήματα ζήτησης (demand segments)

Κάθε τμήμα ζήτησης αναφέρεται σε ένα μοναδικό τρόπο μετακίνησης. Με αυτόν τον τρόπο, τα τμήματα ζήτησης αποτελούν τον σύνδεσμο μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης για μετακίνηση. Σε κάθε τρόπο μετακίνησης μπορούν να αντιστοιχούν περισσότερα από ένα τμήματα ζήτησης, έτσι ώστε διαφορετικοί τύποι ζήτησης να μπορούν να συνδυαστούν στο συγκοινωνιακό μοντέλο.

Τα τμήματα ζήτησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διαφοροποίηση ανάμεσα σε:

- τμήματα πληθυσμού, π.χ. εργάτες μετακινούμενοι με ιδιωτικά συστήματα μεταφοράς, μαθητές μετακινούμενοι με δημόσια συστήματα μεταφορών κλπ,
- τύπους εισιτηρίου, π.χ. μηνιαίες κάρτες, εισιτήρια μίας χρήσης κλπ,
- τύπους οχημάτων, π.χ. βενζινοκίνητα, πετρελαιοκίνητα κλπ,
- σκοπό μετακίνησης, π.χ. εργασία, αναψυχή, αγορές κλπ.

Για κάθε τμήμα ζήτησης πρέπει να προσδιοριστεί και μία μήτρα ζήτησης (demand matrix) αντίστοιχα. Συνήθως, οι μήτρες ιδιωτικών συστημάτων αναφέρονται στην ζήτηση σε μονάδες επιβατικών αυτοκινήτων (M.E.A.), ενώ οι μήτρες των δημοσίων συστημάτων αναφέρονται σε μονάδες επιβατών. Για τον υπολογισμό του πίνακα Π – Π των μετακινήσεων με ιδιωτικά συστήματα, οι M.E.A. θα πρέπει να αναχθούν σε μετακινήσεις ατόμων, με τη χρήση του συντελεστή απασχόλησης των οχημάτων για κάθε τμήμα ζήτησης.

4.3.3. Αντικείμενα μοντέλου δικτύου

Το μοντέλο δικτύου αποτελείται από διάφορα αντικείμενα του δικτύου, τα οποία περιέχουν δεδομένα σχετικά με το δίκτυο μεταφοράς (σύνδεσμοι, στρέφουσες κινήσεις κ.α.) και τις ζώνες κυκλοφορίας.

Κόμβοι (nodes)

Οι κόμβοι καθορίζουν την θέση των διασταυρώσεων του οδικού δικτύου και σημεία του σιδηροδρομικού δικτύου. Αποτελούν την αρχή και το πέρας των συνδέσμων του δικτύου. Προαιρετικά, μπορεί να προσδιοριστεί το κύριο ρεύμα σε κάθε κόμβο, καθορίζοντας την κατεύθυνση της ροής με προτεραιότητα κίνησης. Το κύριο ρεύμα που έχει προτεραιότητα μπορεί να οριστεί αυτόματα από το VISUM, λαμβάνοντας υπόψη την ιεραρχία των διασταυρωμένων οδών (ranking).

Εισαγόμενα χαρακτηριστικά (Input attributes)

Ο κόμβος ως αντικείμενο καθορίζεται από τα παρακάτω εισαγόμενα χαρακτηριστικά:

- μοναδικό αριθμό κόμβου,
- κωδικό κόμβου,
- όνομα κόμβου,
- τύπο κόμβου, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την κατηγοριοποίηση των κόμβων,
- συντεταγμένες θέσης κόμβου στο χώρο (X, Y, Z),
- αριθμοί κύριων ρευμάτων που διασταυρώνονται στον κόμβο.

Σύνδεσμοι (links)

Οι σύνδεσμοι αποτελούν αντικείμενα τα οποία αναπαριστούν τα οδικά και τα σιδηροδρομικά τμήματα του δικτύου. Συνδέουν τους κόμβους, οι οποίοι αποτελούν διασταυρώσεις των ιδιωτικών συστημάτων ή σημεία στάσεων των δημοσίων. Ένας σύνδεσμος αναπαρίσταται σαν ενιαίο στοιχείο και καθορίζεται στον χώρο, από τον αριθμό των κόμβων που βρίσκεται η αρχή και το πέρας του. Οι δύο κατευθύνσεις ροής των συνδέσμων αποτελούν ξεχωριστά αντικείμενα, τα οποία μοιράζονται τον ίδιο αριθμό συνδέσμου. Για κάθε σύνδεσμο, πρέπει να ορίζονται τα συστήματα μεταφοράς που επιτρέπεται να τον χρησιμοποιούν.

Εισαγόμενα χαρακτηριστικά (Input attributes)

Ο σύνδεσμος ως αντικείμενο καθορίζεται από τα παρακάτω εισαγόμενα χαρακτηριστικά:

- μοναδικό αριθμό συνδέσμου,
- αριθμό κόμβου που βρίσκεται η αρχή του συνδέσμου,
- αριθμό κόμβου που βρίσκεται το πέρας του συνδέσμου,
- τύπο συνδέσμου,
- πραγματικό μήκος συνδέσμου,
- επιτρεπτά συστήματα μεταφορών,
- χωρητικότητα συνδέσμου σε ιδιωτικά μέσα μεταφοράς,
- επιτρεπόμενη ταχύτητα ιδιωτικών μέσων (ταχύτητα ελεύθερης ροής $v_0 - PrT$),
- χρόνοι διαδρομής δημοσίων συστημάτων μεταφορών,
- τιμή διοδίου για κάθε ιδιωτικό μέσο,
- έως τρεις αποτιμήσεις κόστους για τον υπολογισμό του κόστους των συνδέσμων των δημοσίων συστημάτων.

Τύποι συνδέσμου

Το VISUM διαθέτει 100 τύπους συνδέσμου, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως ταξινομητές δικτύου, δίνοντας έτσι την δυνατότητα να προσδιοριστούν ανάλογα με τον τύπο, πρότυπα τιμών για τα παρακάτω:

- επιτρεπτά συστήματα μεταφορών,
- ιεραρχία συνδέσμου (ranking),
- χωρητικότητα συνδέσμου σε ιδιωτικά μέσα μεταφοράς,
- επιτρεπόμενη ταχύτητα ιδιωτικών μέσων (ταχύτητα ελεύθερης ροής $v_0 - PrT$),
- επιτρεπόμενη μέγιστη ταχύτητα $v_{Max} - T_{Sys}$ για κάθε ιδιωτικό σύστημα μεταφορών,
- χρόνος διέλευσης συνδέσμου για τα δημόσια μέσα μεταφοράς $t - PuT$, ο οποίος προκύπτει από το μήκος του συνδέσμου και την ταχύτητα του συστήματος μεταφορών.

Επιτρεπτά συστήματα μεταφορών

Τα επιτρεπτά συστήματα μεταφορών κάθε συνδέσμου, περιγράφουν το είδος του συνδέσμου. Ένας σύνδεσμος μπορεί να είναι:

- μία οδός που χρησιμοποιείται από ιδιωτικά οχήματα μεταφοράς ή δημόσια μη σταθερής τροχιάς,
- σιδηροδρομική γραμμή και επομένως να χρησιμοποιείται μόνο από τρένα,

- μία οδός με γραμμές τραμ,
- μία οδός με μία μόνο κατεύθυνση κυκλοφορίας (μονόδρομος),
- ένας σύνδεσμος μεταφοράς περπατήματος μεταξύ σημείων στάσης δημοσίων μέσων.

Ο αριθμός των κυκλοφορούμενων λωρίδων ενός συνδέσμου δεν καθορίζεται σαν εισαγόμενο χαρακτηριστικό, αλλά περιγράφεται από την χωρητικότητα του συνδέσμου. Ένας σύνδεσμος πάντα υπάρχει και για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας. Προκειμένου να καθορισθεί ένας μονόδρομος, θα πρέπει τα συστήματα μεταφορών της αντίθετης κατεύθυνσης να αποκλειστούν. Οι σύνδεσμοι εκείνοι οι οποίοι επιτρέπουν την διέλευση στα ιδιωτικά συστήματα μεταφορών, λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία του καταμερισμού στο δίκτυο, των ιδιωτικών οχημάτων. Αντίθετα, οι σύνδεσμοι που επιτρέπουν την διέλευση στα δημόσια συστήματα, λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία του καθορισμού των διαδρομών και των γραμμών των δημοσίων συστημάτων. Η διαδικασία του καταμερισμού στο δίκτυο, των δημοσίων μέσων μεταφοράς, δεν βασίζεται στα δεδομένα των συνδέσμων αλλά στα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας τους.

Σχέσεις στρεφουσών κινήσεων

Οι σχέσεις στρεφουσών κινήσεων υποδεικνύουν ποιες στρέφουσες κινήσεις είναι επιτρεπτό να πραγματοποιηθούν σε κάθε κόμβο, και καθορίζουν τον χαμένο χρόνο $t_0 - PrT$ (time penalty) που απαιτείται για την πραγματοποίηση κάθε στρέφουσας κίνησης των ιδιωτικών συστημάτων μεταφορών. Για τα ιδιωτικά συστήματα μεταφορών, ο χαμένος χρόνος σε συνδυασμό με την χωρητικότητα (λειτουργική ικανότητα) της στρέφουσας κίνησης, προσδιορίζονται έτσι ώστε να περιγράφεται η επίδραση του κόμβου στην απόδοση του δικτύου. Οι σχέσεις στρεφουσών κινήσεων λαμβάνονται υπόψη κατά την διάρκεια του καταμερισμού στο δίκτυο των μέσων των ιδιωτικών συστημάτων μεταφορών. Στα δημόσια συστήματα μεταφορών, οι απαγορεύσεις στρεφουσών κινήσεων λαμβάνονται υπόψη κατά τη διάρκεια του καθορισμού των διαδρομών και των γραμμών.

Κατά τη δημιουργία ενός συνδέσμου, το πρόγραμμα παράγει όλες τις πιθανές κινήσεις στους δύο κόμβους. Κάθε στρέφουσα κίνηση περιγράφεται από τα επιτρεπτά συστήματα, την χωρητικότητά της καθώς και τον χαμένο χρόνο που απαιτείται για την πραγματοποίησή της. Τα επιτρεπτά συστήματα, καθορίζουν ποια συστήματα μεταφορών επιτρέπεται να πραγματοποιήσουν κάθε πιθανή κίνηση σε έναν κόμβο.

Εισαγόμενα χαρακτηριστικά

Μία στρέφουσα κίνηση περιγράφεται από τα παρακάτω εισαγόμενα χαρακτηριστικά:

- αριθμό κόμβου που βρίσκεται η αρχή της στρέφουσας κινήσεως,
- αριθμό κόμβου μέσω του οποίου πραγματοποιείται η στρέφουσα κίνηση,
- αριθμό κόμβου όπου βρίσκεται το πέρας της στρέφουσας κίνησης,
- επιτρεπτά συστήματα μεταφορών,
- τύπο στρέφουσας κίνησης,
- χαμένο χρόνο για την πραγματοποίηση της κίνησης $t_0 - PrT$,
- χωρητικότητα (λειτουργική ικανότητα) για ιδιωτικά συστήματα μεταφορών.

Τύποι στρεφουσών κινήσεων

Το VISUM διακρίνει 10 διαφορετικούς τύπους στρεφουσών κινήσεων, όπου οι 5 είναι προκαθορισμένοι από αυτό (αριστερή, δεξιά, ευθεία, αναστροφή, ακαθόριστη) και οι υπόλοιποι μπορούν να ορισθούν από τον χρήστη. Ο τύπος της κίνησης μπορεί να υπολογιστεί αυτόματα, λαμβάνοντας υπόψη την γεωμετρία κάθε κίνησης.

Πρότυπα στρεφουσών κινήσεων

Τα πρότυπα στρεφουσών κινήσεων χρησιμοποιούνται για τον αυτόματο καθορισμό των χαμένων χρόνων και της χωρητικότητας κάθε κίνησης, των ιδιωτικών μέσων. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τη διάκριση:

- στον τύπο του κόμβου που πραγματοποιείται η κίνηση,

- στον τύπο της κίνησης (αριστερή, δεξιά, ευθεία, αναστροφή),
- στην προτεραιότητα κίνησης που καθορίζεται ανάλογα με την ιεραρχία των οδών που διασταυρώνονται.

Χαμένος χρόνος και χωρητικότητα κινήσεως

Οι σχέσεις στρεφουσών κινήσεων παρουσιάζουν ουσιαστικά την σχέση μεταξύ της χωρητικότητας και του χρόνου διέλευσης, όπως συμβαίνει και στους συνδέσμους. Η μόνη διαφορά που εντοπίζεται, προέρχεται από το γεγονός ότι οι στρέφουσες κινήσεις δεν έχουν μήκος και ο χρόνος διέλευσης t_0 επομένως, προκύπτει από τον χαμένο χρόνο. Ο χρόνος που απαιτείται για την στρέφουσα κίνηση t_{cur} σε ένα φορτισμένο δίκτυο, εξαρτάται από την επιλεγμένη λειτουργία περιορισμού χωρητικότητας (Capacity Restraint – function) και την δυναμική σχέση μεταξύ φόρτου και χωρητικότητας της στρέφουσας κίνησης.

Ζώνες

Οι ζώνες αποτελούν την προέλευση και τον προορισμό όλων των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται στο δίκτυο. Μία ζώνη αποτελεί ένα αντικείμενο του δικτύου που αναφέρεται σε μία περιοχή, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται στο βαθμό λεπτομέρειας που έχει επιλεχθεί. Στο μοντέλο δικτύου, οι ζώνες αναπαρίστανται από το κεντροειδές τους. Βάσει αυτών, οι μετακινήσεις των πινάκων Π-Π κάθε τμήματος ζήτησης, εισέρχονται στο δίκτυο. Σε κάθε ζώνη αποδίδονται τα όρια της, που αναπαριστούν την χωρική έκταση της. Όλες οι ζώνες πρέπει να συνδέονται τουλάχιστον μέσω ενός συνδέσμου, σε έναν κόμβο του δικτύου.

Εισαγόμενα χαρακτηριστικά

Η ζώνη καθορίζεται ως αντικείμενο από τα παρακάτω εισαγόμενα χαρακτηριστικά:

- μοναδικό αριθμό ζώνης,
- όνομα ζώνης,
- τύπο ζώνης,
- συντεταγμένες θέσης κεντροειδούς στο επίπεδο (X, Y),
- αναγνωριστικό, το οποίο καθορίζει εάν η είσοδος και η έξοδος των οχημάτων από τη ζώνη διανέμονται ποσοστιαία στους συνδέσμους κεντροειδών.

Σύνδεσμοι κεντροειδών

Κάθε ζώνη θα πρέπει να συνδέεται με έναν τουλάχιστο κόμβο του δικτύου μέσω ενός συνδέσμου, ώστε οι μετακινούμενοι να μπορούν να εξέλθουν και να εισέλθουν στην ζώνη. Ο σύνδεσμος κεντροειδούς αντιστοιχίζει στις διαδρομές εισόδου και εξόδου από τη ζώνη, για τον οποίον ένα μήκος και ένας χρόνος διέλευσης προσδιορίζονται. Ένας σύνδεσμος έχει δύο διευθύνσεις οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα ιδιωτικά και δημόσια μέσα για να εισέλθουν και να εξέλθουν από την ζώνη αντίστοιχα. Ο σύνδεσμος εξόδου συνδέει το κεντροειδές της ζώνης με έναν κόμβο, ενώ ο σύνδεσμος εισόδου συνδέει έναν κόμβο με το κεντροειδές. Οι ζώνες αποτελούν την προέλευση και τον προορισμό των μετακινήσεων, και επομένως ο σύνδεσμος εξόδου αποτελεί το πρώτο μέρος των μετακινήσεων, ενώ ο σύνδεσμος εισόδου αποτελεί το τελευταίο μέρος.

Εισαγόμενα χαρακτηριστικά

Ο σύνδεσμος κεντροειδούς καθορίζεται ως αντικείμενο από τα παρακάτω εισαγόμενα χαρακτηριστικά:

- αριθμό ζώνης που συνδέεται από τον σύνδεσμο,
- αριθμό κόμβου που συνδέει τη ζώνη με το υπόλοιπο δίκτυο,
- τύπο συνδέσμου,
- κατεύθυνση συνδέσμου (O = προέλευσης, D = προορισμού),
- μήκος συνδέσμου,

- χρόνο διαδρομής εισόδου και εξόδου για τα επιτρεπτά συστήματα,
- στην περίπτωση ποσοστιαίας διανομής της κυκλοφορίας εισόδου και εξόδου, από τα ποσοστά της ζήτησης που χρησιμοποιούν το σύνδεσμο.

Ποσοστιαία διανομή της ζήτησης κυκλοφορίας των ιδιωτικών οχημάτων

Η διανομή της κυκλοφορίας των ιδιωτικών οχημάτων στους συνδέσμους προέλευσης και προορισμού, μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε ελεύθερα είτε ποσοστιαία. Στην περίπτωση της ποσοστιαίας διανομής, υπάρχουν δύο διαφοροποιήσεις. Είτε διανομή της συνολικής ζήτησης, είτε διανομή της κυκλοφορίας ανά ζεύγος προέλευσης προορισμού.

- *Ελεύθερη διανομή:* κατά τη διάρκεια της εύρεσης διαδρομής, λαμβάνεται υπόψη μόνο ο χρόνος διέλευσης του συνδέσμου και η κυκλοφορία των οχημάτων διανέμεται χωρίς επιπλέον περιορισμούς στις διαδρομές με την μικρότερη εμπέδηση κυκλοφορίας (impedance).
- *Ποσοστιαία διανομή κυκλοφορίας:* πριν την διαδικασία της εύρεσης διαδρομής, το μέρος της συνολικής κυκλοφορίας από και προς τις ζώνες, που η ζήτηση τους διανέμεται ποσοστιαία στους συνδέσμους κεντροειδών, υπολογίζεται. Από τον παραπάνω υπολογισμό προκύπτει μία εικονική χωρητικότητα για κάθε σύνδεσμο κεντροειδούς (ποσοστό \times από/ προς ζώνη συνολική κυκλοφορία), η οποία τροποποιεί την εμπέδηση κυκλοφορίας στους συνδέσμους κατά την διάρκεια του καταμερισμού στο δίκτυο. Η αντιστοιχία μεταξύ της ποσοστιαίας διανομής της κυκλοφορίας κατά τον καταμερισμό, καθώς και των προκαθορισμένων τιμών (χρόνος διέλευσης), εξαρτώνται από τον τύπο του καταμερισμού που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και από την λειτουργία περιορισμού χωρητικότητας που θα επιλεγεί. Προτιμότερη κρίνεται η επιλογή μίας “απότομης” λειτουργίας περιορισμού, έτσι ώστε η εμπέδηση κυκλοφορίας στους συνδέσμους κεντροειδών, να έχει άμεση επίδραση στην διαδικασία εύρεσης διαδρομής. Στην περίπτωση της ποσοστιαίας διανομής ανά ζεύγος Π-Π, τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από αυτά της ποσοστιαίας διανομής της συνολικής ζήτησης.

4.4. Μοντέλο Ζήτησης

Η ζήτηση για μετακίνηση αναπτύσσεται όταν ένα σύνολο από δραστηριότητες (κατοικία, εργασία, αγορές, αναψυχή), δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν σε μία μόνο τοποθεσία, και επομένως απαιτείται μετακίνηση για την ικανοποίησή τους. Η ζήτηση για μετακίνηση περιγράφεται από ένα μητρώο (πίνακας) προέλευσης – προορισμού (OD matrix).

- Κάθε στοιχείο του μητρώου αναπαριστά έναν αριθμό μετακινήσεων. Περιλαμβάνει το σύνολο των μετακινήσεων από κάθε ζώνη, προς κάθε ζώνη του δικτύου.
- Το μητρώο Π – Π αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και επομένως περιλαμβάνει τις μετακινήσεις που ξεκινούν κατά τη διάρκεια αυτού.
- Οι μετακινήσεις που περιλαμβάνονται στο μητρώο μπορούν να αντιστοιχούν είτε σε ολόκληρο το σύστημα μεταφορών, είτε σε μέρη αυτού (π.χ. ιδιωτική μετακίνηση, δημόσια κλπ), είτε σε συγκεκριμένες ομάδες πληθυσμού (π.χ. μαθητές, εργαζόμενοι κλπ), είτε σε μετακινήσεις με ίδιο σκοπό (εργασία, αναψυχή κλπ).

Η ζήτηση για μετακίνηση μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε παρατηρούμενη και σε υπολογισμένη ζήτηση, καθώς και σε παρούσα και μελλοντική.

Η παρατηρούμενη ζήτηση περιγράφει τον αριθμό των μετακινήσεων και την κατανομή αυτών σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, για ένα υπάρχον σύστημα μεταφοράς. Αναπαριστά ένα στιγμιότυπο της υπάρχουσας κυκλοφοριακής κατάστασης και δεν μπορεί πρακτικά να παραχθεί ξανά. Μία ακριβής έρευνα της υπάρχουσας ζήτησης για μετακίνηση, σε μία συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος, δεν είναι πρακτικά πιθανή να υλοποιηθεί αφού θα έπρεπε να ερωτηθούν όλοι οι μετακινούμενοι την ίδια χρονική στιγμή. Για αυτό τον λόγο, ένα τυχαίο αντιπροσωπευτικό δείγμα των μετακινούμενων ερωτάται, ώστε από αυτό να προσδιοριστεί η συνολική ζήτηση για μετακίνηση. Από αυτήν την έρευνα, προκύπτει ένα

μητρώο μετακινήσεων που αναπαριστά την ζήτηση για μετακίνηση για ένα υπάρχον σύστημα μεταφορών.

Η υπολογισμένη ζήτηση για μετακίνηση, περιλαμβάνει την πραγματοποίηση παραδοχών σχετικά με το σύνολο των μετακινήσεων και της χρονικής κατανομής αυτών. Για τον υπολογισμό της ζήτησης, χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα ζήτησης. Η υπολογισμένη ζήτηση μπορεί να διαφοροποιηθεί ανάλογα με τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται.

- Η υπολογισμένη ζήτηση αναφέρεται στο παρόν, εάν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τον υπολογισμό της περιγράφουν την υπάρχουσα κατάσταση (χρήσεις γης, δημογραφικά και οικονομικά στοιχεία, υποδομές συστήματος).
- Η προβλεπόμενη ζήτηση για μετακίνηση βασίζεται σε δεδομένα σχετικά με την μελλοντική διασπορά χρήσεων γης, την μελλοντική κατάσταση του συστήματος μεταφορών καθώς και των μετακινούμενων.

4.4.1. Χρονική κατανομή της ζήτησης

Οι μετακινήσεις μεταξύ δύο ζωνών συνήθως πραγματοποιούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η χρονική κατανομή των μετακινήσεων μέσα σε κάθε χρονικό διάστημα μίας παρατηρούμενης χρονικής περιόδου, καθορίζεται από την ώρα έναρξης και την καμπύλη κατανομής της ζήτησης στην περίοδο. Η χρονική κατανομή των μετακινήσεων υπεισέρχεται μέσω των χρονικών σειρών (time series), και χρησιμοποιείται μόνο στα μοντέλα καταμερισμού στο δίκτυο των δημοσίων συστημάτων μεταφορών καθώς και στα δυναμικά μοντέλα καταμερισμού των ιδιωτικών συστημάτων. Στα στατικά μοντέλα καταμερισμού των ιδιωτικών συστημάτων, δεν λαμβάνονται υπόψη οι χρονικές σειρές, αφού τα συγκεκριμένα μοντέλα δεν λαμβάνουν υπόψη την χρονική μεταβολή της ζήτησης κατά την διάρκεια της περιόδου ανάλυσης.

Η ώρα έναρξης καθορίζει την χρονική στιγμή και την ημέρα (στην περίπτωση ορισμού εβδομαδιαίου ή ετήσιου ημερολογίου), που αρχίζει η περίοδος στην οποία αναφέρεται το μητρώο ζήτησης. Το τέλος της περιόδου υπολογίζεται από το μήκος της καθορισμένης καμπύλης.

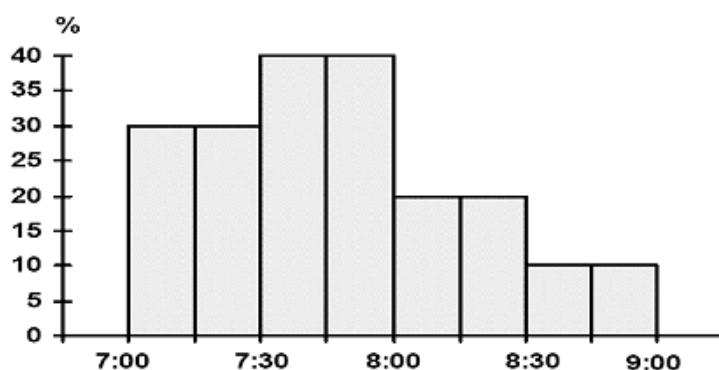
Οι χρονικές σειρές μπορούν να καθοριστούν με δύο διαφορετικούς τρόπους, είτε σαν:

- χρονική καμπύλη κατανομής ενός μητρώου μετακινήσεων,
- καμπύλη κατανομής που αποτελείται από ένα σύνολο μητρώων.

Μία χρονική σειρά καθορίζει τα ποσοστά των μετακινήσεων επί του συνόλου των μετακινήσεων, που έχουν επιθυμητή ώρα αναχώρησης μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι καμπύλες χρονικής κατανομής μπορούν να καλύπτουν περισσότερες από 24 ώρες εάν χρησιμοποιείται εβδομαδιαίο ή ετήσιο ημερολόγιο. Εξορισμού, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μία καμπύλη ομοιόμορφης κατανομής της ζήτησης κατά την διάρκεια της παρατηρούμενης περιόδου (στατικά μοντέλα). Αντί για αυτήν την μορφή, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει μία διαφορετική καμπύλη κατανομής για ολόκληρο το μητρώο. Αυτή η καθορισμένη από τον χρήστη καμπύλη, μπορεί να τροποποιηθεί για επιλεγμένα ζεύγη τύπων ζωνών προέλευσης – προορισμού, με συγκεκριμένες καμπύλες κατανομής.

Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατό να καθορισθούν διαφορετικές καμπύλες κατανομής για ζώνες με γνωστές χρήσεις γης (π.χ. αμιγής κατοικίας, εμπορικές χρήσεις), έτσι ώστε να αντικατοπτρίζονται οι διαφοροποιήσεις της κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση στην διάρκεια της ημέρας (Διάγραμμα 4.3).

Μία χρονική σειρά από μητρώα ζήτησης καθορίζει ξεχωριστό μητρώο μετακινήσεων σε κάθε χρονικό διάστημα, το οποίο αναφέρεται στην ζήτηση με επιθυμητή αναχώρηση εντός κάθε διαστήματος. Ο παραπάνω τύπος θα πρέπει να χρησιμοποιείται στην περίπτωση όπου υπάρχουν μητρώα σε ωριαία βάση. Σε αντίθεση με τις χρονικές σειρές ενός μητρώου, εδώ η χρονικά εξαρτώμενη πορεία της ζήτησης μπορεί να επιλεγθεί για κάθε μητρώο. Ωστόσο, το πλήθος των δεδομένων που απαιτούνται είναι μεγαλύτερο και επομένως οι απαιτήσεις σε υπολογιστική μνήμη αυξάνονται.



Διάγραμμα 4. 3: Παράδειγμα χρονικής κατανομής της ζήτησης σε 4 χρονικά τμήματα των 30 λεπτών (VISUM User Manual, 2006)

4.5. Μοντέλα Επιδράσεων

Η προσφορά ενός συστήματος μεταφορών μπορεί να έχει διαφορετικές επιδράσεις, οι οποίες εξαρτώνται άμεσα από τα μέτρα που ισχύουν. Συγκεκριμένα, έχει επιδράσεις στους χρήστες του συστήματος, στους διαχειριστές των δημοσίων μέσων μεταφοράς, στο ευρύτερο κοινωνικό σύνολο που ωφελείται από τις μεταφορές αλλά πληρώνει για αυτές με έμμεσους ή άμεσους τρόπους, καθώς επίσης και στο περιβάλλον το οποίο μολύνεται από τους ρύπους.

Τα μοντέλα επιδράσεων που θα αναλυθούν παρακάτω είναι τα μοντέλα επιδράσεων που αναφέρονται στους χρήστες του συστήματος (μοντέλα χρήστη), και συγκεκριμένα στους χρήστες των ιδιωτικών συστημάτων μεταφορών (PrT). Ο λόγος που τα υπόλοιπα μοντέλα δεν αναλύονται είναι ότι στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν λήφθηκαν υπόψη τα δημόσια συστήματα μεταφορών (PuT). Επίσης, τα μοντέλα επιδράσεων στο περιβάλλον δεν είναι διαθέσιμα στην άδεια του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας.

4.5.1. Μοντέλα χρήστη (User model)

Ο σκοπός των μοντέλων χρήστη είναι να προσδιοριστούν οι επιδράσεις της προσφοράς ενός συστήματος μεταφορών, στους μετακινούμενους. Σημαντικοί δείκτες για την αξιολόγηση της προσφοράς του συστήματος είναι οι δείκτες χρόνου ταξιδιού και κόστους μετακίνησης μεταξύ δύο ζωνών. Για να προσδιοριστούν οι τιμές αυτών των δεικτών απαιτείται η δημιουργία μοντέλων εκτίμησης των μετακινήσεων των χρηστών.

Οι μετακινούμενοι με ιδιωτικά μέσα επιλέγουν να ακολουθήσουν την διαδρομή εκείνη στο δίκτυο, που θεωρούν ότι έχει το μικρότερο κόστος για αυτούς. Ωστόσο, η επιλογή της διαδρομής δεν περιγράφει μόνο την χωρική πορεία της μετακίνησης αλλά περιλαμβάνει και χρονικούς περιορισμούς όπως ώρα αναχώρησης, ώρα άφιξης κλπ. Στα δυναμικά μοντέλα εκτίμησης των μετακινήσεων, ο μετακινούμενος επιλέγει να πραγματοποιήσει μία μετακίνηση την πλέον ευνοϊκή χρονική στιγμή για αυτόν. Η χρονική αυτή στιγμή εξαρτάται από την επιθυμητή ώρα αναχώρησης και άφιξης στον προορισμό της μετακίνησης, καθώς και από την κυκλοφοριακή κατάσταση του δικτύου. Επομένως, τα δυναμικά μοντέλα εκτίμησης αναφέρονται σε διαδρομές και χρόνους αναχώρησης που με τη χρήση όρων δημόσιων συστημάτων μεταφοράς, θα ονομάζονται συνδέσεις.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν την συμπεριφορά των μετακινούμενων, βασίζονται σε αλγόριθμους αναζήτησης που προσδιορίζουν τις διαδρομές μεταξύ των ζωνών. Οι αλγόριθμοι αναζήτησης συντομότερης διαδρομής όπως ονομάζονται, χρησιμοποιούνται σαν αλγόριθμοι αναζήτησης για τον προσδιορισμό της “καλύτερης” διαδρομής, που είναι η συντομότερη διαδρομή με την μικρότερη δυνατή εμπέδηση κυκλοφορίας (impedance). Η εμπέδηση μπορεί να προκύπτει από το χρόνο διαδρομής, την

απόσταση και το κόστος της μετακίνησης. Ανάλογα με τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται, προκύπτει η συντομότερη διαδρομή μεταξύ κάθε ζεύγους ζωνών. Μετά την εύρεση των συντομότερων διαδρομών, ακολουθεί η διανομή των μετακινήσεων σε αυτές (καταμερισμός στο δίκτυο). Αυτή η διαδικασία αναζήτησης και διανομής των μετακινήσεων στο δίκτυο, αποκαλείται από το πρόγραμμα σαν εντολή καταμερισμού (assignment).

Για κάθε διαδρομή μεταξύ δύο ζωνών, μπορούν να υπολογιστούν δείκτες (indicators) που να περιγράφουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της (ποιοτικοί δείκτες). Εκτός από αυτούς τους δείκτες, η εντολή καταμερισμού παράγει κυκλοφοριακούς φόρτους για τους συνδέσμους και τις στρέφουσες κινήσεις. Σε αντίθεση με τους ποιοτικούς δείκτες, οι δείκτες κυκλοφοριακού φόρτου αποτελούν έμμεσους δείκτες αφού από μόνοι τους δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της προσφοράς του συστήματος μεταφορών. Οι φόρτοι που έχουν παραχθεί χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των καθυστερήσεων στις μετακινήσεις, και επομένως του χρόνου μετακίνησης που χρησιμοποιείται κατά τον υπολογισμό των ποιοτικών δεικτών.

Οι διαδικασίες εντολών καταμερισμού στο δίκτυο, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ποιοτικών δεικτών και κυκλοφοριακών φόρτων, αποτελούν το κεντρικό εργαλείο του VISUM. Οι διαφορετικές εντολές καταμερισμού των μετακινήσεων με ιδιωτικά οχήματα που περιλαμβάνει το πρόγραμμα, θα παρουσιαστούν παρακάτω αναλυτικά.

4.5.2. Χρονικές και χωρικές διακρίσεις στα αποτελέσματα των μοντέλων

Τα αποτελέσματα των μοντέλων επιδράσεων, που προκύπτουν μετά το πέρας των υπολογισμών, είναι διαθέσιμα σαν ένας μεγάλος αριθμός δεικτών, ορισμένοι από τους οποίους αναφέρονται στις διαδρομές που επιλέχθηκαν κατά την διαδικασία της εντολής καταμερισμού, ενώ η πλειοψηφία αυτών αναφέρεται στα αντικείμενα του δικτύου (σύνδεσμοι, κόμβοι, στρέφουσες κινήσεις). Εκτός από τις παραπάνω διακρίσεις στο περιεχόμενο των δεικτών, οι περισσότεροι δείκτες μπορούν να διακριθούν σε χωρική και χρονική βάση.

Χωρική διάκριση: Περιοχές

Για την πραγματοποίηση χωρικών διακρίσεων, ο χρήστης αρχικά καθορίζει τις περιοχές. Αυτές αποτελούν αντικείμενα του δικτύου, τα οποία είναι χρήσιμα μόνο για σκοπούς ανάλυσης, και το σημαντικότερο χαρακτηριστικό τους είναι το πολύγωνο που τις ορίζει χωρικά. Προβλέπεται από το πρόγραμμα ότι οι δείκτες κυκλοφοριακού φόρτου μπορούν να προκύψουν σε μία βάση μήκους, έτσι ώστε το ποσοστό της κυκλοφορίας που καταμερίζεται σε κάθε περιοχή να μπορεί να προσδιοριστεί ξεχωριστά.

Χρονική διάκριση: Ανάλυση χρονικών διαστημάτων

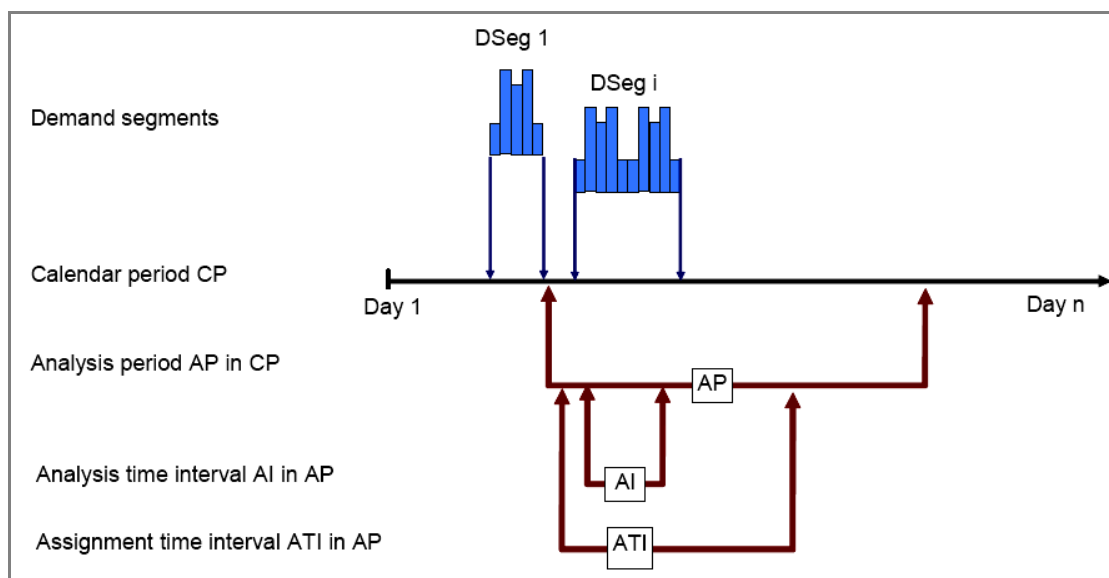
Με εξαίρεση τις στατικές εντολές καταμερισμού, όλες οι διαδικασίες εντολών βασίζονται σε μία χρονική περίοδο, συνήθως μίας ημέρας ή περισσότερων ημερών εάν χρησιμοποιείται ημερολόγιο. Στο χρονικό διάστημα της περιόδου, οι τιμές των δεικτών κυκλοφοριακού φόρτου μεταβάλλονται ανάλογα με την προσφορά και την ζήτηση για μετακίνηση.

Για την πραγματοποίηση χρονικών διακρίσεων, ο χρήστης καθορίζει τις περιόδους ανάλυσης σαν χρονικά διαστήματα εντός της μέγιστης περιόδου της μίας ημέρας. Προβλέπεται από το πρόγραμμα ότι οι δείκτες μπορούν να προκύψουν σε μία χρονική βάση, το ποσοστό της ζήτησης που αντιστοιχεί σε κάθε χρονική περίοδο μπορεί να προσδιοριστεί ξεχωριστά. Η διάκριση των δεικτών μετακίνησης που εξαρτώνται από τους συνδέσμους, βασίζεται στην επιμέρους ανάλυση των συνδέσμων.

4.5.3. Χρονικές περίοδοι ανάλυσης και προβολή αυτών

Στις εντολές καταμερισμού που αναφέρονται στις μετακινήσεις με ιδιωτικά μέσα, η προσφορά για μετακίνηση θεωρείται ότι παραμένει σταθερή στον χρόνο, σε αντίθεση με την ζήτηση η οποία μεταβάλλεται χρονικά εντός της περιόδου ανάλυσης στην περίπτωση των δυναμικών μοντέλων καταμερισμού. Προκειμένου να τοποθετηθούν οι δείκτες σε μία ενιαία χρονική μονάδα και στην συνέχεια να προβληθούν σε μεγαλύτερους χρονικούς ορίζοντες, έχουν οριστεί τρία στάδια για την ανάλυση των χρονικών περιόδων.

- *Χρονικός ορίζοντας ανάλυσης (AH):* οποιαδήποτε χρονική περίοδος (π.χ. έτος) που προκύπτει από την προβολή της περιόδου ανάλυσης.
- *Χρονική περίοδος ανάλυσης (AP):* μία χρονική περίοδος που ορίζεται τουλάχιστον σαν μία ημέρα και μέγιστα σαν μία ημερολογιακή περίοδος (π.χ. εβδομάδα, μήνας κλπ). Η περίοδος ανάλυσης πρέπει να βρίσκεται εντός της ημερολογιακής περιόδου. Οι χρονικές περίοδοι που αναφέρεται ο καταμερισμός πρέπει να βρίσκονται εντός της περιόδου ανάλυσης.
- *Χρονικό διάστημα ανάλυσης (AI):* τα διαστήματα ανάλυσης καθορίζονται από τους σχεδιαστές και αναφέρονται στην περίοδο ανάλυσης. Κάθε διάστημα ανάλυσης πρέπει να ολοκληρώνεται εντός μίας ημερολογιακής ημέρας ή της περιόδου ανάλυσης.



Διάγραμμα 4. 4: Σύνδεση διαφορετικών περιόδων ανάλυσης (VISUM User Manual, 2006)

Από την στιγμή που η ζήτηση (καθορίζοντας την ώρα έναρξης και την καμπύλη κατανομής για κάθε μητρώο) και η προσφορά για μετακίνηση παρέχονται με μία χρονική αναφορά, μπορούν να συσχετιστούν άμεσα με την περίοδο και τα διαστήματα ανάλυσης. Αντίθετα, οι συντελεστές προβολής είναι προκαθορισμένοι από τον χρήστη και είναι απαραίτητοι για την πραγματοποίηση της προβολής στον χρονικό ορίζοντα, αφού αυτό είναι απαραίτητο για τον προσδιορισμό της σημαντικότητας του χρονικού ορίζοντα.

Κατά τη διαδικασία προβολής στον χρονικό ορίζοντα ανάλυσης, οι δείκτες που αναφέρονται στην ζήτηση για μετακίνηση προβάλλονται χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές. Με αυτήν την διαδικασία λαμβάνεται υπόψη το γεγονός ότι η ζήτηση για μετακίνηση μπορεί να αποκλίνει σημαντικά από την προσφορά σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους (π.χ. σαββατοκύριακο, αργίες κλπ).

Οι συντελεστές προβολής των κυκλοφοριακών φόρτων, που έχουν προκύψει κατά τη διαδικασία καταμερισμού για συγκεκριμένη χρονική περίοδο, προσδιορίζονται ξεχωριστά για κάθε τμήμα της ζήτησης. Ο συντελεστής προβολής από το χρονικό διάστημα στην χρονική περίοδο, προσδιορίζεται βάσει της σημαντικότητας του περιεχομένου του μητρώου

μετακινήσεων ($\Pi - \Pi$) για κάθε τμήμα ζήτησης. Στην περίπτωση που το χρονικό διάστημα ανάλυσης που επιλέχθηκε κατά τον καταμερισμό, και η περίοδος ισχύς του μητρώου, αντικατοπτρίζουν πλήρως τον χρονικό ορίζοντα ανάλυσης, τότε ο συντελεστής προβολής θα ισούται με την μονάδα. Εάν το διάστημα ανάλυσης είναι μικρότερο από την περίοδο, τότε ο συντελεστής θα ισούται με την αναλογία της ζήτησης στην περίοδο με την αναλογία της ζήτησης στο διάστημα. Στην περίπτωση όπου η καμπύλη κατανομής της ζήτησης ενός τμήματος έχει προκύψει από ένα μέρος του χρονικού διαστήματος, τότε ο συντελεστής θα ισούται με την αναλογία μεταξύ της ζήτησης στην περίοδο ανάλυσης και της ζήτησης που αντιστοιχεί στην καμπύλη κατανομής της περιόδου.

4.5.4. Εντολές καταμερισμού στο δίκτυο

Το VISUM διαθέτει επτά διαφορετικές διαδικασίες καταμερισμού των μετακινούμενων με ιδιωτικά οχήματα, στο δίκτυο. Οι πρώτες πέντε αποτελούν στατικές εντολές καταμερισμού οι οποίες αγνοούν την χρονική διάσταση της ζήτησης για μετακίνηση, ενώ οι υπόλοιπες δύο λαμβάνουν υπόψη τη χρονική μεταβλητότητα της ζήτησης.

- *Incremental assignment*: η εντολή αυτή διαιρεί τη ζήτηση που περιγράφεται από το μητρώο μετακινήσεων $\Pi - \Pi$, με την χρήση μίας ποσοστιαίας βάσης, σε μερικά μητρώα. Στην συνέχεια, τα μερικά μητρώα που προκύπτουν, καταμερίζονται στο δίκτυο. Η επιλογή των διαδρομών γίνεται με μία επαναληπτική διαδικασία, λαμβάνοντας υπόψη κάθε φορά την εμπέδηση που έχει προκύψει από τον κυκλοφοριακό φόρτο του προηγούμενου βήματος.
- *Equilibrium assignment*: η εντολή αυτή βασίζεται στην αρχή του Wardrop (1952), και κατανέμει τη ζήτηση έτσι ώστε “οι χρόνοι ταξιδιού σε όλες τις διαδρομές που χρησιμοποιούνται να είναι ίσοι και μικρότεροι από τον χρόνο που θα έκανε ένα όχημα εάν ταξίδευε κατά μήκος μίας διαδρομής που δεν χρησιμοποιείται”. Η κατάσταση ισορροπίας επιτυγχάνεται με τη διαδικασία των πολλαπλών επαναλήψεων, που βασίζεται στον επαυξητικό καταμερισμό για να εντοπιστεί η αρχική λύση που απαιτείται για την έναρξη της διαδικασίας. Η διαδικασία φόρτισης των διαδρομών γίνεται σε δύο παράλληλα επαναληπτικά στάδια. Στο ένα στάδιο, δύο διαδρομές μεταξύ τους φτάνουν σε σημείο ισορροπίας μέσω της μετατόπισης οχημάτων από την μία στην άλλη. Στο δεύτερο στάδιο, ελέγχεται εάν υπάρχει κάποια πιθανή διαδρομή στο δίκτυο με μικρότερη εμπέδηση από τις προηγούμενες.
- *Equilibrium – Lohse assignment*: η εντολή καταμερισμού αυτή είναι επαναληπτική και ξεκινάει με τον καταμερισμό “όλα ή τίποτα,” όπου φορτίζεται αρχικά το δίκτυο. Οι μετακινούμενοι αποκτούν πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο διαδρομής από το τελευταίο τους ταξίδι και τις πληροφορίες αυτές τις αξιοποιούν κατά την επιλογή της διαδρομής για το επόμενο ταξίδι τους.
- *Tribut assignment*: η εντολή αυτή λαμβάνει υπόψη κατά το στάδιο του καταμερισμού, τον χρόνο και το κόστος της μετακίνησης εξίσου. Η διαδικασία επιλογής της διαδρομής μοντελοποιείται με τον καθορισμό της αξίας του χρόνου, σαν τυχαία μεταβαλλόμενη σε μία κανονική λογαριθμική κατανομή. Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη στο μοντέλο ότι για κάθε μετακίνηση, υπάρχει μία διάθεση από τους μετακινούμενους να επωμιστούν ένα συγκεκριμένο χρηματικό κόστος έτσι ώστε να μειώσουν το χρόνο ταξιδιού. Η προσέγγιση αυτή παρέχει σημαντικά καλύτερη τιμή στην ελαστικότητα μεταξύ κόστους και χρόνου μετακίνησης, σε σχέση με της προηγούμενες εντολές που χρησιμοποιούν ένα μόνο κριτήριο στις μεθόδους τους.
- *Stochastic assignment*: η εντολή αυτή λαμβάνει υπόψη το γεγονός ότι οι δείκτες κάθε διαδρομής (χρόνος, μήκος, κόστος), που είναι σχετικοί με την επιλογή διαδρομής, γίνονται αντιληπτοί από τους μετακινούμενους με βάση υποκειμενικά κριτήρια και σε ορισμένες περιπτώσεις στην βάση της ελλιπούς πληροφόρησης. Επιπλέον, η επιλογή της διαδρομής εξαρτάται από τις προσωπικές προτιμήσεις των μετακινούμενων, οι οποίες δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν. Πρακτικά, ο συνδυασμός των δύο παραπάνω φαινομένων έχει σαν αποτέλεσμα την επιλογή των διαδρομών, και βάσει της αρχής του

Wardor, θα έχει σαν αποτέλεσμα να φορτιστεί αλλά να μην βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας, αφού η επιλογή διαδρομής θα υπόκειται σε υποκειμενικά και όχι αντικειμενικά κριτήρια. Στον στοχαστικό καταμερισμό, ένας αριθμός εναλλακτικών διαδρομών υπολογίζεται, και η ζήτηση διανέμεται σε αυτές βάσει ενός μοντέλου κατανομής (π.χ. Logit).

- *Dynamic Stochastic assignment*: η εντολή αυτή διαφέρει από όλες τις υπόλοιπες διαδικασίες που αναφέρθηκαν, και αυτό ως προς τη σαφή μοντελοποίηση που πραγματοποιείται στον χρονικό άξονα. Η περίοδος καταμερισμού χωρίζεται σε επιμέρους χρονικά τμήματα, με κυκλοφοριακό φόρτο και εμπέδηση διαφορετικά για κάθε τμήμα. Για κάθε χρονικό διάστημα αναχώρησης, η ζήτηση κατανέμεται στις διαθέσιμες συνδέσεις (= διαδρομές + χρόνος αναχώρησης) βάσει ενός μοντέλου καταμερισμού όπως στην περίπτωση του στοχαστικού καταμερισμού. Με την παραπάνω μοντελοποίηση, μπορούν να παρουσιαστούν και να εκτιμηθούν φαινόμενα προσωρινής συμφόρησης του δικτύου, να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν εναλλακτικές διαδρομές που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της ημέρας, και να μπορεί να εκτιμηθεί και να παρουσιαστεί η μετατόπιση μέρους της ζήτησης εξαιτίας πιθανής αλλαγής του χρόνου αναχώρησης σε συνάρτηση πάντα με την επιθυμητή ώρα άφιξης στον εκάστοτε προορισμό.
- *Dynamic User Equilibrium (DUE) assignment*: η εντολή αυτή λαμβάνει υπόψη της τη χρονική μεταβλητότητα της ζήτησης για μετακίνηση, με τον ίδιο τρόπο που την λαμβάνει και ο δυναμικός στοχαστικός καταμερισμός. Ο αλγόριθμος καταμερισμού που χρησιμοποιείται, περιέχει ένα μοντέλο που υπολογίζει δυναμικά την επίδραση των φαινομένων συμφόρησης στην κυκλοφορία των οχημάτων (blocking back model). Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη η χρονική μεταβλητότητα χαρακτηριστικών που επιδρούν στην προσφορά του συστήματος (π.χ. διόδια) και περιλαμβάνει ένα μοντέλο επιλογής ώρας αναχώρησης. Η εντολή δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας θα περιγραφεί αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

Κάθε μία από τις εντολές που περιγράφηκαν παραπάνω, έχει δύο παραλλαγές:

- *απλή εντολή καταμερισμού (simple assignment)*, όπου μόνο ένα μητρώο ζήτησης για ένα ιδιωτικό σύστημα μεταφορών, λαμβάνονται υπόψη για τον καταμερισμό.
- *πολλαπλού βαθμού εντολή καταμερισμού (multi-class assignment)*, όπου πολλαπλά μητρώα ζήτησης, τα οποία αναφέρονται στην ζήτηση μετακίνησης περισσότερων από ένα συστημάτων μεταφορών, λαμβάνονται υπόψη ταυτόχρονα για τον καταμερισμό.

5. ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΑΤΑΜΕΡΙΣΜΟΣ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

5.1. Εισαγωγή & Πεδία Εφαρμογής

Η ποσοτική ανάλυση της κυκλοφορίας των οχημάτων στο δίκτυο με χρήση στατικών μοντέλων, αποφέρει την κυκλοφοριακή ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης για μετακίνηση, με την υπόθεση όμως της στατικότητας της ζήτησης εντός της ημέρας. Αυτό υποδεικνύει ότι οι σχετικές μεταβλητές του συστήματος (π.χ. χρόνος μετακίνησης, κόστη κλπ), θεωρούνται ότι παραμένουν σταθερές κατά την διάρκεια της περιόδου αναφοράς (συνήθως ημέρα). Μολονότι οι στατικές εντολές καταμερισμού χρησιμοποιούν μοντέλα τα οποία αναπαράγουν επιτυχημένα τα φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης στο δίκτυο και τα πρότυπα κόστους, δεν επιτρέπουν την αναπαράσταση της χρονικής μεταβλητότητας της ζήτησης και της απόδοσης του δικτύου. Το πιο σημαντικό μειονέκτημα τους είναι ότι αδυνατούν να αναπαράγουν κάποια σημαντικά δυναμικά φαινόμενα, όπως είναι ο σχηματισμός και η διασπορά των οχημάτων στις ουρές εξαιτίας του κορεσμού των οδικών τμημάτων, καθώς και η διαρροή προς τα πίσω (spill - back), που είναι το φαινόμενο της διάδοσης της ουράς ανάντη των σημείων κυκλοφοριακής συμφόρησης.

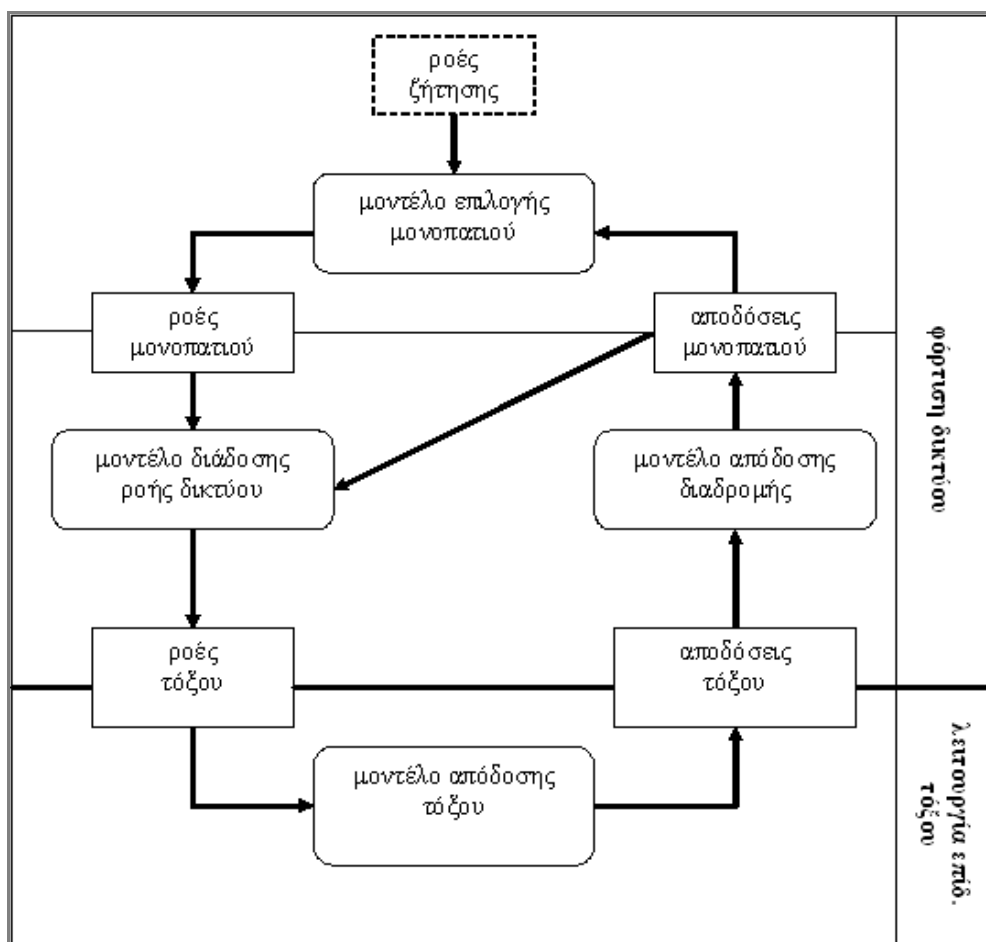
Τα μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη τους τη δυναμική κυκλοφορία εντός της ημέρας (Within-Day Dynamic Traffic Assignment, WDDTA), έχουν αναπτυχθεί για να υπερκεράσουν τους παραπάνω περιορισμούς. Ανάμεσα σε αυτά τα μοντέλα βρίσκεται και το μοντέλο δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας (DUE), που περιέχεται στο VISUM και παρέχει αρκετά νέα χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο με μεγάλη απόδοση από άποψη χρήσης υπολογιστικής μνήμης και χρόνου επεξεργασίας. Επιπλέον, το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση μεγάλων δικτύων, με μεγάλες περιόδους ανάλυσης, και είναι κατάλληλο για τα παρακάτω πεδία εφαρμογής:

- προσομοίωση κυκλοφοριακής συμφόρησης στα αστικά δίκτυα, όπου συνθήκες κορεσμού και διάδοσης της συμφόρησης σε παρακείμενους οδούς παρουσιάζονται σε μεγάλο μέρος του δικτύου, για μεγάλα χρονικά διαστήματα,
- προσομοίωση δικτύων με παροδικά φαινόμενα συμφόρησης, που έχουν σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση της διαδικασίας επιλογής διαδρομών εντός της χρονικής περιόδου ανάλυσης,
- προσομοίωση δικτύων με ύπαρξη δυναμικών μεταβλητών διαχείρισης και λειτουργίας, όπως χρονικά μεταβαλλόμενα διόδια εισόδου σε περιοχές, διαφορετικά προγράμματα σηματοδότησης κλπ,
- προσομοίωση των κυκλοφοριακών επιπτώσεων στα δίκτυα από πιθανά συμβάντα (π.χ. ατυχήματα), και διαχείριση τέτοιων καταστάσεων,
- προσομοίωση σχεδίων εκκένωσης μεγάλων αστικών περιοχών, όπου ο μικρότερος δυνατός χρόνος εκκένωσης απαιτείται.

Το μοντέλο δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας που χρησιμοποιείται, αναπτύχθηκε από την εταιρία PTV AG και το πανεπιστήμιο της Ρώμης και βασίστηκε στις έρευνες των Bellei, Gentile, Meschini και Papola. Η ανάλυση του μοντέλου που ακολουθεί βασίστηκε στο εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος (VISUM User Manual, 2006).

5.2. Επισκόπηση Μοντέλου

Σκοπός του μοντέλου είναι η ανάλυση της δυναμικής κυκλοφορίας εντός της ημέρας (WDDTA) στα τμήματα του δικτύου όπου απαιτείται η ρητή αντιμετώπιση των ουρών που σχηματίζονται κατά την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Το μοντέλο βασίζεται σε μία μακροσκοπική και χρονικά συνεχή διαμόρφωση του δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας (DUE).

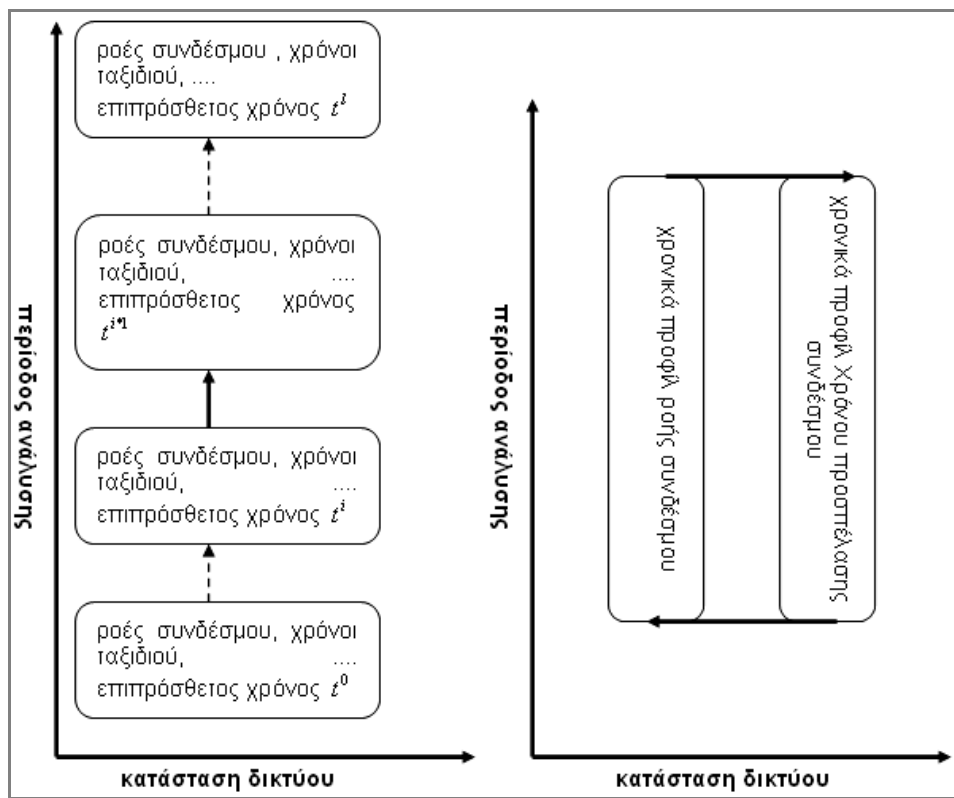


Διάγραμμα 5. 1: Πρόβλημα δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας DUE (VISUM User Manual, 2006)

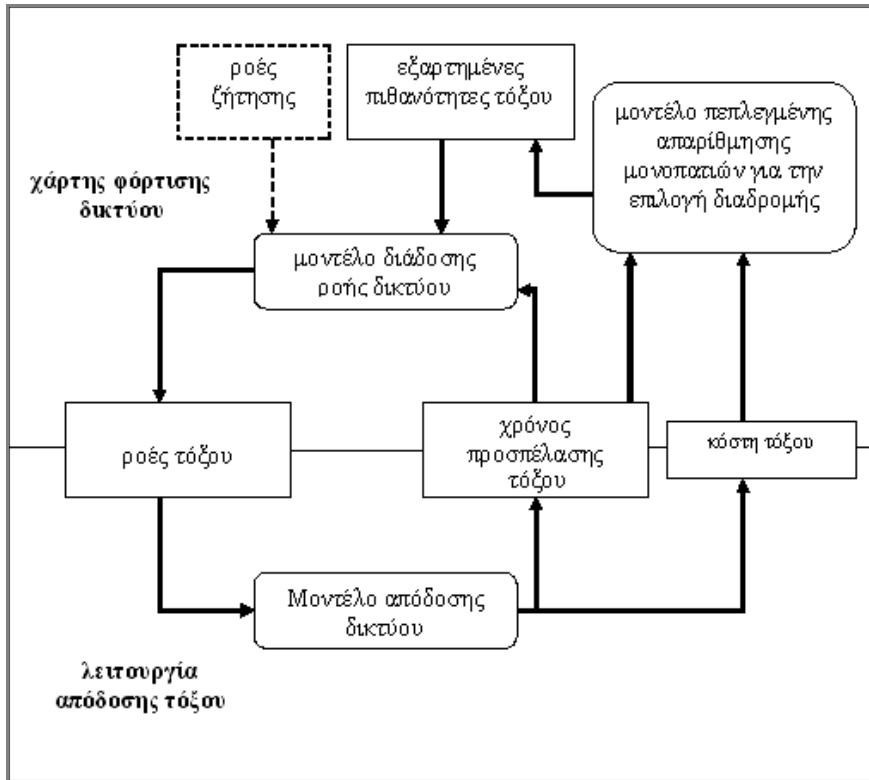
Εκτός από χρονική διάσταση, η κύρια διαφορά μεταξύ του στατικού και του δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας σχετίζεται με τους περιορισμούς συνοχής μεταξύ των μεταβλητών του μοντέλου τόξου και διαδρομής. Ενώ στη στατική περίπτωση οι περιορισμοί αυτοί περιέχουν μόνο τη χωρική διάσταση του συστήματος, στην δυναμική συμπεριλαμβάνουν και τη χρονική διάσταση. Πιο συγκεκριμένα, για δοσμένες ροές μονοπατιού, ο καθορισμός των ροών τόξου, το οποίο στην στατική περίπτωση απαιτεί μόνο το μητρώο συχνοτήτων τόξου – μονοπατιού, στην δυναμική περίπτωση συμπεριλαμβάνει επιπλέον τους χρόνους μετακίνησης στο δίκτυο. Αυτό είναι το μοντέλο διάδοσης ροής του δικτύου, το οποίο εξαρτάται από τις αποδόσεις του μονοπατιού (διαγώνιος στο Διάγραμμα 5.1).

Η παρούσα διαμόρφωση της WDDTA έχει τους εξής νεωτερισμούς σε σχέση με τις υπάρχουσες μεθόδους WDDTA:

1. Αντί για μία προσέγγιση προσομοίωσης, υιοθετεί μία προσέγγιση χρονικού προφίλ, όπου η τιμή μίας δοσμένης μεταβλητής του προβλήματος προκύπτει σαν συνάρτηση του χρόνου για ολόκληρη την περίοδο ανάλυσης, βασισμένη σε χρονικά προφίλ άλλων μεταβλητών του προβλήματος, που θεωρούνται ότι είναι σταθερά στις τωρινές τους τιμές. Αυτή η προσέγγιση απεικονίζεται εννοιολογικά στην δεξιά πλευρά του παρακάτω διαγράμματος. Έχει μία επαναληπτική φύση, όπου κάθε μεταβλητή πρέπει να υπολογιστεί ξανά έως ότου να επιτευχθεί μία σύγκλιση στις επαναληπτικές τιμές της.
2. Η διαρροή συμφόρησης προς τα πίσω (spill - back) μπορεί να μοντελοποιηθεί, με την απλή εναλλαγή μεταξύ δύο εναλλακτικών μοντέλων απόδοσης του δικτύου. Χωρίς την διαρροή προς τα πίσω, η απόδοση του τόξου (η σχέση μεταξύ των προφίλ τόξου εισροής και εκροής) εξαρτάται μόνο από τις ιδιότητες του τόξου. Με τη διαρροή προς τα πίσω, οι χωρητικότητες ανάντη των θέσεων στένωσης (bottlenecks) μειώνονται έτσι ώστε οι δυνατότητες αποθήκευσης οχημάτων (storage capacities) να μην υπερβαίνονται (διάγραμμα 5.3).



Διάγραμμα 5. 2: Επίπεδα χρονικής προσέγγισης (αριστερή πλευρά) και προφίλ χρονικής προσέγγισης (δεξιά πλευρά) στο πρόβλημα συνεχούς φόρτισης του δυναμικού δικτύου (VISUM User Manual, 2006)



Διάγραμμα 5. 3: Σύστημα καθορισμού σταθερού σημείου για την WDDTA με διαρροή συμφόρησης προς τα πίσω (VISUM User Manual, 2006)

3. Το μοντέλο επιλογής μονοπατιού μπορεί να υιοθετήσει είτε μία ντετερμινιστική άποψη, όπου φορτίζονται τα μονοπάτια με το μικρότερο αντικειμενικό κόστος, είτε μία στοχαστική άποψη, όπου οι εμπεδήσεις προκύπτουν στοχαστικά ώστε να αντικατοπτρίζουν τις υποκειμενικές αντιλήψεις των μετακινούμενων.

Αυτή η προσέγγιση έχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως:

- η συνοχή μεταξύ των ροών μονοπατιών και των ροών συνδέσμων (φόρτιση δικτύου) επιτυγχάνεται κατά την ίδια επανάληψη με την ισορροπία προσφοράς και ζήτησης, αποφεύγοντας τους “φωλιασμένους” βρόγχους (nested loops),
- μία σιωπηρή προσέγγιση των μονοπατιών δημιουργεί τις πιθανότητες επιλογής των ορθολογικών μονοπατιών, χωρίς να απαιτείται η απαρίθμηση όλων των μονοπατιών,
- ως κύριο πλεονέκτημα της προσέγγισης με χρονικό προφίλ, η χρονική περίοδος καταμερισμού μπορεί να υποδιαιρεθεί σε μεγάλα χρονικά διαστήματα (συνήθως μεταξύ 5 έως 15 λεπτών), αντί για μερικά δευτερόλεπτα, για τις προσεγγίσεις της προσομοίωσης, εξοικονομώντας έτσι χρόνο υπολογισμού και υπολογιστική μνήμη. Αυτό, επιτρέπει να ξεπεραστεί η δυσκολία επίλυσης των περιπτώσεων WDDTA σε μεγάλα δίκτυα, για μεγάλες χρονικές περιόδους ανάλυσης,
- η πολυπλοκότητα του αλγορίθμου είναι παρόμοια αυτής που ακολουθείται κατά το στατικό καταμερισμό ισορροπίας, πολλαπλασιαζόμενο με το συνολικό αριθμό των χρονικών διαστημάτων που εισάγονται.

Για τη μοντελοποίηση της διαρροής της συμφόρησης προς τα πίσω, η αλληλεπίδραση μεταξύ των ροών στα παρακείμενα τόξα διαδίδεται σε όρους χρονικά μεταβαλλόμενων χωρητικότητων εξόδου των τόξων. Η προσέγγιση τότε χρησιμοποιείται για να αναπαραχθεί το φαινόμενο της διαρροής σαν μία κατάσταση υπερκρίσιμης ροής (hypercritical flow), που είτε διαδίδεται ανάποδα από το τελικό τμήμα ενός τόξου και εκτείνεται έως το αρχικό τμήμα, είτε προέρχεται από το τελευταίο τμήμα που περιορίζει τις χωρητικότητες των τόξων που βρίσκονται στην οπίσθια ζώνη επιρροής του, και επομένως επιδράει στις καταστάσεις ροής τους.

5.3. Μαθηματικό Πλαίσιο

Επειδή η ανάλυση πραγματοποιείται σε ένα δυναμικό πλαίσιο, οι μεταβλητές του μοντέλου είναι χρονικά προφίλ, εδώ αναπαρίστανται σαν κατά τμήματα συνεχείς συναρτήσεις της χρονικής μεταβλητής τ .

Οι μετακινήσεις των χρηστών του οδικού δικτύου μοντελοποιούνται με την χρήση ενός ισχυρά προσανατολισμένου γραφήματος $G = (N, A)$, όπου N είναι το σύνολο των κόμβων και $A \subseteq N \times N$ είναι το σύνολο των τόξων. Κάθε σύνδεσμος, στρέφουσα κίνηση και σύνδεσμος κεντροειδούς, στο δίκτυο του VISUM αντιστοιχούν σε ένα τόξο. Κάθε κόμβος και ζώνη του δικτύου αντιστοιχούν σε ένα γραφικό κόμβο.

Κάθε τόξο καθορίζεται από τον κόμβο που βρίσκεται η αρχή του $TL(a)$, αναφερόμενο σαν ουρά του τόξου, και από τον κόμβο που βρίσκεται το πέρας του $HD(a)$, αναφερόμενο σαν κεφαλή του τόξου. Επομένως κάθε τόξο εκφράζεται σαν $a = (TL(a), HD(a))$. Για παράδειγμα εάν το τόξο αναπαριστά ένα σύνδεσμο, το $TL(a)$ θα αναφέρεται στον κόμβο αρχής, και το $HD(a)$ στον κόμβο πέρατος, ο σύνδεσμος. Η εμπρόσθια και η οπίσθια ζώνη επιρροής ενός κόμβου $x \in N$ καθορίζονται αντίστοιχα σαν $FS(x) = \{(x, y) \in A : x = TL(a)\}$ και $BS(x) = \{(x, y) \in A : y = HD(a)\}$. Οι ζώνες αποτελούν ένα υποσύνολο $Z \subseteq N$ των κόμβων.

Κατά την μετακίνηση από έναν κόμβο προέλευσης $o \in N$ σε έναν κόμβο προορισμού $d \in Z$, οι μετακινούμενοι λαμβάνουν υπόψη τους το σύνολο K_{od} όλων των μονοπατιών που συνδέουν το o με το d και ανήκουν στο σύνολο G . Αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η επίλυση του προβλήματος αναζήτησης και η εύρεσης της συντομότερης διαδρομής από κάθε κόμβο προέλευσης $o \in N$, προς κάθε καθορισμένο κόμβο προορισμού $d \in Z$. Το γράφημα G θεωρείται ότι είναι ισχυρά συνδεδεμένο, έτσι ώστε K_{xd} , με $x \in N \neq d \in Z$, να μην είναι άδειο.

Η τοπολογία των μονοπατιών περιγράφεται από το παρακάτω ορισμένο σύμβολο:

$A(k)$: η ενωμένη ακολουθία τόξων που αποτελούν το μονοπάτι $k \in K_{od}$, από το $o \in N$ στο $d \in Z$.

Με αναφορά στο μοτίβο ροής δικτύου οι παρακάτω συμβολισμοί υιοθετούνται:

$D^{od}(\tau)$: η ροή ζήτησης των οχημάτων που μετακινούνται από τον κόμβο $o \in N$ στον $d \in Z$, την χρονική στιγμή τ ,

$f_a(\tau)$: η ροή των οχημάτων που εισέρχονται το τόξο $a \in A$ τη χρονική στιγμή τ ,

$F_a(\tau)$: η συνολική ροή των οχημάτων που εισέρχονται το τόξο $a \in A$ τη χρονική στιγμή τ ,

$u_a(\tau)$: η εκροή οχημάτων από το τόξο $a \in A$ την χρονική στιγμή τ .

Εξ ορισμού ισχύει:

$$F_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\tau} f_a(\sigma) \cdot d\sigma \quad (5.1)$$

Για τον υπολογισμό της απόδοσης του μοντέλου, οι χρόνοι ταξιδιών εισάγονται μέσω λειτουργιών εισόδου – εξόδου, και οι παρακάτω συμβολισμοί υιοθετούνται:

$c_a(\tau)$: το κόστος της μετακίνησης μέσω ενός τόξου $a \in A$ για οχήματα που εισέρχονται σε αυτό τη χρονική στιγμή τ ,

$t_a(\tau)$: ο χρόνος εξόδου από το τόξο $a \in A$ για οχήματα που εισέρχονται σε αυτό τη χρονική στιγμή τ ,

$t_a^{-1}(\tau)$: ο χρόνος εισόδου στο τόξο $a \in A$ για οχήματα που εξέρχονται από αυτό τη χρονική στιγμή τ ,

$C_k(\tau)$: το κόστος του μονοπατιού $k \in K_{od}$, από το $o \in N$ στο $d \in Z$, για τα οχήματα που αναχωρούν από το o την χρονική στιγμή τ ,

$T_k(\tau)$: η χρονική στιγμή εξόδου από το μονοπάτι $k \in K_{od}$, από το $o \in N$ στο $d \in Z$, για τα οχήματα που αναχωρούν από το o την χρονική στιγμή τ .

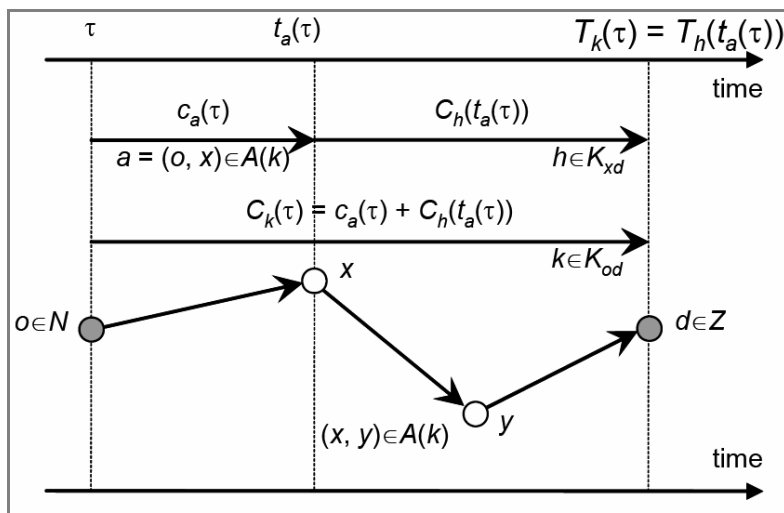
Εξαιτίας της παρουσίας χρονικά μεταβαλλόμενων κοστών, μπορεί να είναι βολικό να περιμένουν οι μετακινούμενοι στους κόμβους ώστε να εισέλθουν στο τόξο αργότερα. Στην συνέχεια, θεωρείται ότι τα οχήματα δεν επιτρέπεται να περιμένουν στους κόμβους, αλλά μονοπάτια με κύκλους μπορούν να προκύψουν. Ωστόσο, τα συντομότερα μονοπάτια περιλαμβάνουν στην καλύτερη περίπτωση έναν πεπερασμένο αριθμό κύκλων.

Εφόσον δεν επιτρέπεται η αναμονή στους κόμβους, η χρονική στιγμή εξόδου από το μονοπάτι $T_k(\tau)$ είναι το άθροισμα των επιμέρους χρόνων προσπέλασης των τόξων του μονοπατιού $A(k)$, όπου κάθε ένας από αυτούς αναφέρεται στην στιγμή που τα οχήματα εισήλθαν στο τόξο κατά την διάρκεια της μετακίνησης κατά μήκος του μονοπατιού. Επιπλέον, θεωρώντας ότι τα κόστη μονοπατιού είναι πρόσθετα σε σχέση με τα κόστη των τόξων, το κόστος $C_k(\tau)$ είναι το άθροισμα των κοστών των επιμέρους τόξων $A(k)$, κάθε ένα από τα οποία αναφέρεται στη χρονική στιγμή που εισήλθαν στο τόξο όταν διέσχιζαν το μονοπάτι. Η χρονική στιγμή εξόδου και το κόστος του μονοπατιού k μπορούν να ανακτηθούν, αντίστοιχα, με την χρήση των ακόλουθων αναδρομικών σχέσεων:

$$T_k(\tau) = T_h(t_a(\tau)) \quad (5.2)$$

$$C_k(\tau) = c_a(\tau) + C_h(t_a(\tau)) \quad (5.3)$$

όπου $a = (o, x) \in A$ το πρώτο τόξο του k , και $h \in K_{xd}$ το υπόλοιπο του μονοπατιού k (Διάγραμμα 5.4).



Διάγραμμα 5. 4: Αναδρομικές σχέσεις της χρονικής στιγμής εξόδου από το μονοπάτι, της χρονικής στιγμής εισόδου, και του κόστους (VISUM User Manual, 2006)

Ο αυστηρός κανόνας που έχει τεθεί ότι ο πρώτος που εισέρχεται στο τόξο, είναι και ο πρώτος που εξέρχεται από αυτόν (FIFO), ισχύει όταν η ακόλουθη ιδιότητα ικανοποιείται για κάθε τόξο $a \in A$:

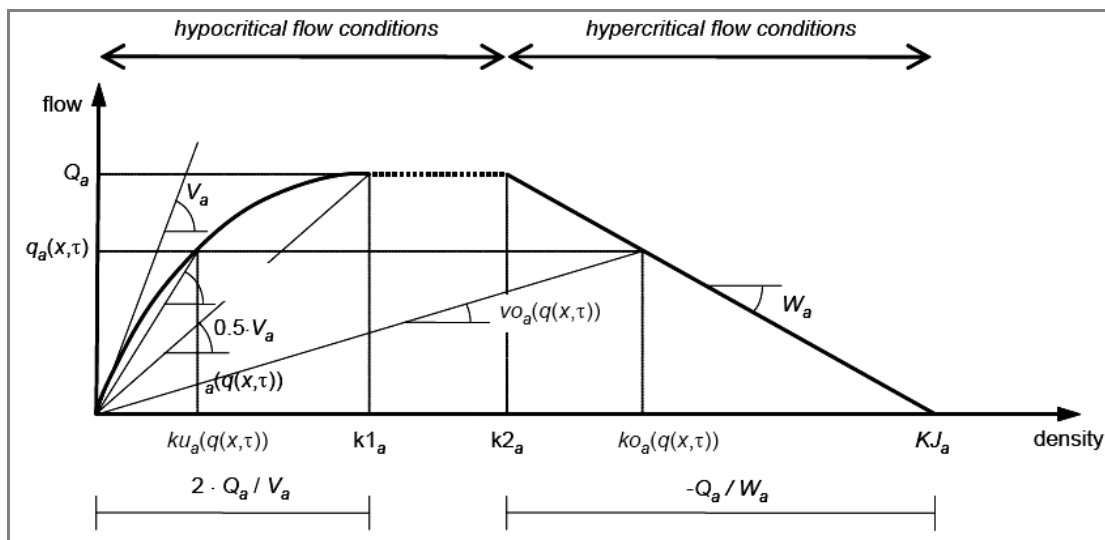
$$t_a(\tau') > t_a(\tau) \quad \text{για κάθε } \tau' > \tau \quad (5.4)$$

Η μονοτονικότητα που εκφράζεται από την (5.4) διαβεβαιώνει ότι τα χρονικά προφίλ των χρονικών στιγμών εξόδου από το τόξο είναι αναστρέψιμα. Επιπλέον, η αρχή της FIFO χρησιμοποιείται επίσης για τις χρονικές στιγμές εισόδου:

$$t_{xy}^{-1}(\tau') > t_{xy}^{-1}(\tau) \quad \text{για κάθε } \tau' > \tau \quad (5.5)$$

Κάθε τόξο $a \in A$ συνίσταται από ένα ομογενές κανάλι με δύο στενώσεις (bottlenecks) τοποθετημένες στην αρχή και στο τέλος του τόξου. Οι καταστάσεις ροής κατά μήκος του τόξου καθορίζονται στην βάση της απλοϊκής θεωρίας κινηματικών κυμάτων (Simplified Theory of Kinematic Waves - STKW), θεωρώντας ότι το κοίλο παραβολικό – τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα που απεικονίζεται στο Διάγραμμα 5.5, εκφράζει την ροή οχημάτων $q_a(x, \tau)$ σε ένα δοσμένο τμήμα x του τόξου σε στιγμιαία τ , σαν μία λειτουργία της πυκνότητας οχημάτων $k_a(x, \tau)$ στο ίδιο τμήμα και την ίδια χρονική στιγμή. Το τόξο τότε χαρακτηρίζεται από:

- L_a : το μήκος του τόξου a ,
- Q_a : τη χωρητικότητα της αρχικής στένωσης και του ομογενούς καναλιού που σχετίζεται με το τόξο a , αποκαλούμενη ως εσωτερική χωρητικότητα (in-capacity),
- S_a : τη χωρητικότητα της τελικής στένωσης που σχετίζεται με το τόξο a , προσομοιώνοντας τη μέση επίδραση των μειώσεων χωρητικότητας στις οδικές διασταυρώσεις, αποκαλούμενη ως εξωτερική χωρητικότητα (out-capacity),
- V_a : τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα σε τόξο a , αποκαλούμενη ως ταχύτητα ελεύθερης ροής (free flow speed),
- KJ_a : τη μέγιστη πυκνότητα σε τόξο a , αποκαλούμενη ως πυκνότητα εμπλοκής (jam density),
- W_a : την ταχύτητα διάδοσης των υπερκρίσιμων (hypercritical) καταστάσεων ροής σε τόξο a , αποκαλούμενη ως υπερκρίσιμη ταχύτητα κρουστικού κύματος.



Διάγραμμα 5. 5: Το υιοθετημένο παραβολικό – τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα, που εκφράζει τη σχέση μεταξύ ροής οχημάτων, ταχύτητας και πυκνότητας κατά μήκος ενός τόξου (VISUM User Manual, 2006)

Βάσει αυτού του πλαισίου, για τους συνδέσμους η εσωτερική χωρητικότητα αντιστοιχεί στην φυσική χωρητικότητα εμπόδισης στο μέσο του (mid-block capacity), ενώ η εξωτερική χωρητικότητα αντικατοπτρίζει την χωρητικότητα της στένωσης που καθορίζεται από το πρόγραμμα σηματοδότησης ή τους κανόνες προτεραιότητας που εφαρμόζονται, κατάντη της διασταύρωσης. Οι σύνδεσμοι εξόδου κεντροειδούς $(o, y) \in A : o \in Z, y \in N \setminus Z$ είναι τόξα με πεπερασμένη εσωτερική χωρητικότητα, οι σύνδεσμοι εισόδου $(x, d) \in A : x \in N \setminus Z, d \in Z$ είναι τόξα με πεπερασμένη εξωτερική χωρητικότητα, ενώ οι στρέφουσες κινήσεις αναπαρίστανται από τόξα με μηδενικό μήκος και εσωτερική χωρητικότητα ίση με την εξωτερική χωρητικότητα.

Με αναφορά στο Διάγραμμα 5.5, θεωρώντας ότι $k2_a \geq k1_a$, προκύπτει η παρακάτω σχέση μεταξύ των παραπάνω παραμέτρων:

$$KJ_a \geq Q_a \cdot \left(\frac{2}{V_a} - \frac{1}{W_a} \right) \quad (5.6)$$

Με βάση το θεμελιώδες διάγραμμα, είναι πιθανό να εντοπιστούν δύο τύποι καταστάσεων ροής:

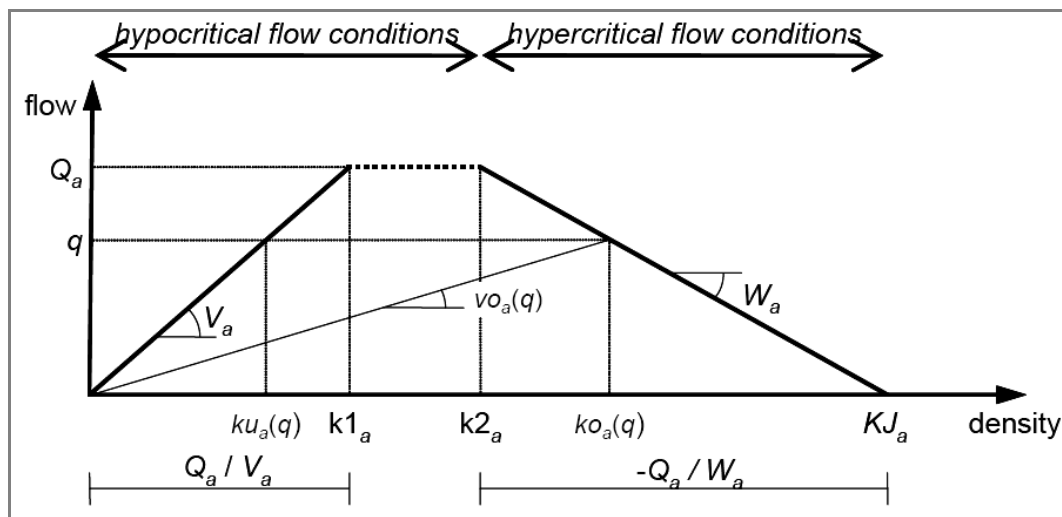
- οι υποκρίσιμες συνθήκες ροής, αντιστοιχούν σε κυκλοφορία χωρίς, ή με ελάχιστη, συμφόρηση. Υπό αυτές τις συνθήκες, όταν η πυκνότητα των οχημάτων αυξάνεται, η ροή των οχημάτων αυξάνεται επίσης.
- οι υπερκρίσιμες συνθήκες ροής, αντιστοιχούν σε κυκλοφοριακή συμφόρηση, όπου παρουσιάζονται φαινόμενα όπως ο σχηματισμός ουρών οχημάτων και το συνεχές σταμάτημα - ξεκίνημα των οχημάτων (stop and go). Υπό αυτές τις συνθήκες, όταν η πυκνότητα των οχημάτων αυξάνεται, η ροή των οχημάτων μειώνεται.

Τότε, τα $ko_a(q)$ και $vo_a(q)$ εκφράζουν την πυκνότητα και την ταχύτητα σαν συνάρτηση της ροής στην παρουσία υπερκρίσιμων καταστάσεων ροής, ενώ τα $ku_a(q)$ και $vu_a(q)$ εκφράζουν την πυκνότητα και την ταχύτητα σαν συνάρτηση της ροής στην παρουσία υποκρίσιμων καταστάσεων ροής.

Κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης τόξων με χαμηλά όρια ταχύτητας, όπως τα αστικά δίκτυα, μπορεί να θεωρηθεί ότι η ταχύτητα οχήματος σε συνθήκες κατάστασης υποκρίσιμης ροής, είναι σταθερή και ισούται με το όριο ταχύτητας, έως ότου η χωρητικότητα να καλυφθεί. Σε αυτήν την περίπτωση, το απλό τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα που απεικονίζεται

στο Διάγραμμα 5.6 μπορεί να υιοθετηθεί, όπου για να διατηρηθεί η σχέση $k2_a \geq k1_a$, η παρακάτω σχέση θα πρέπει να ισχύει:

$$KJ_a \geq Q_a \cdot \left(\frac{1}{V_a} - \frac{1}{W_a} \right) \quad (5.7)$$



Διάγραμμα 5. 6: Το τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα που προτείνεται για τους αστικούς συνδέσμους (VISUM User Manual, 2006)

Για να επιτευχθεί η εφαρμογή των προτεινόμενων μοντέλων, η περίοδος ανάλυσης $[0, \Theta]$ χωρίζεται σε n επιμέρους χρονικά διαστήματα καθορισμένα από την ακολουθία των χρονικών στιγμών $\tau = \{\tau^0, \tau^1, \dots, \tau^i, \dots, \tau^n\}$, με $\tau^0 = 0, \tau^i < \tau^j$ για κάθε $0 \leq i < j \leq n$, και $\tau^n = \Theta$. Για υπολογιστική διευκόλυνση, εισάγεται και μία επιπρόσθετη χρονική στιγμή $\tau^{n+1} = +\infty$.

Στη συνέχεια, θα γίνει μία προσέγγιση του χρονικού προφίλ $g(\tau)$ κάθε μεταβλητής είτε με τη χρήση μίας κατά τμημάτων γραμμικής συνάρτησης, είτε με μία κατά τμημάτων σταθερής συνάρτησης, καθορισμένη από τις τιμές $g^i = g(\tau^i)$ που λαμβάνονται υπόψη κάθε χρονική στιγμή $\tau^i \in \tau$. Με αυτόν τον τρόπο, οποιοδήποτε χρονικό προφίλ $g(\tau)$ μπορεί να αναπαρασταθεί αριθμητικά μέσω της σταθεράς $g = (g^0, \dots, g^i, \dots, g^n)$.

5.4. Μοντέλο Απόδοσης Δικτύου

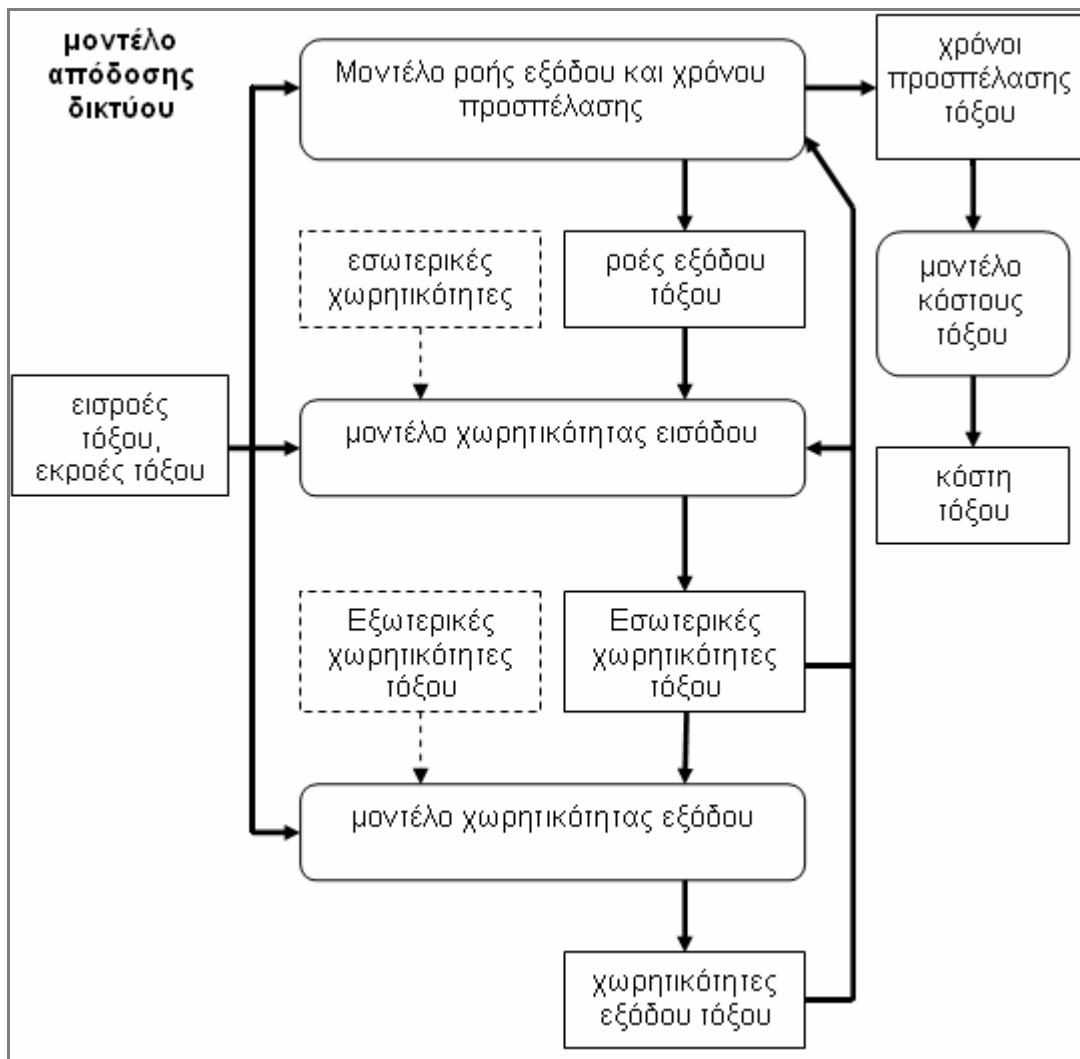
Για να αναπαρασταθεί το φαινόμενο της διαρροής, θεωρούμαι ότι κάθε τόξο χαρακτηρίζεται από δύο χρονικά μεταβαλλόμενες στενώσεις, μία τοποθετημένη στην αρχή και η άλλη στο τέλος του τόξου, που ονομάζονται χωρητικότητα εισόδου (entry capacity) και εξόδου (exit capacity) αντίστοιχα.

Η χωρητικότητα εισόδου, που οριοθετείται από την εσωτερική χωρητικότητα, χρησιμοποιείται για να αναπαράγει την επίδραση της διάδοσης των ουρών προς τα πίσω εντός του ίδιου τόξου, η οποία διάδοση μπορεί να φτάσει έως την αρχική θέση του τόξου και να διαδώσει την κατάσταση κορεσμού και σε άλλα παρακείμενα τόξα. Σε αυτήν την περίπτωση, η χωρητικότητα εισόδου χρησιμοποιείται για να περιορίσει την εισροή οχημάτων στον βαθμό εκείνο όπου η μέγιστη διαθέσιμη πυκνότητα οχημάτων του τόξου να μην υπερβαίνεται. Η τελευταία είναι συνάρτηση του χρονικού προφίλ της ροής εξόδου, αφού η πυκνότητα κατά μήκος του τόξου μεταβάλλεται δυναμικά στον χρόνο και τον χώρο ανάλογα

με την θεωρία απλών κινηματικών κυμάτων (STKW). Συγκεκριμένα, ο χώρος που απελευθερώνεται στην κορυφή της ουράς, από τα οχήματα που απομακρύνονται από το τόξο, χρειάζεται κάποιο χρόνο για να γίνει διαθέσιμο στο τέλος της ουράς, έτσι ώστε τις χρονικές στιγμές πυκνότητας εμπλοκής (jam density), το μήκος του τόξου να αποτελεί το όριο για την χωρητική ικανότητα, η οποία αντιστοιχεί σε φαινόμενα όπου η ουρά παραμένει στάσιμη.

Η χωρητικότητα εξόδου, που οριοθετείται από την εξωτερική χωρητικότητα, χρησιμοποιείται για να αναπαράγει την επίδραση των διαχύσεων (spillover) ουράς που διαδίδονται προς τα πίσω από τα κατάντη τόξα, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει καταστάσεις υπερκρίσιμης ροής στο ίδιο το τόξο. Για δοσμένες εισροές και εκροές τόξων και προτεραιότητες κίνησης στους κόμβους, οι οποίες θεωρούνται ποσοστιαίες επί των χωρητικότητων εμπόδισης στο μέσο, οι χωρητικότητες εξόδου προκύπτουν συναρτήσει των χωρητικότητων εισόδου και της ροής διατήρησης (flow conservation) στον κόμβο.

Το μοντέλο απόδοσης δικτύου καθορίζεται σαν μια κυκλική αλληλουχία τριών επιμέρους μοντέλων, το μοντέλο “ροής εξόδου και χρόνου προσπέλασης για χρονικά μεταβαλλόμενες χωρητικότητες”, το μοντέλο “χωρητικότητας εισόδου”, και το μοντέλο “χωρητικότητας εξόδου”, τα οποία μοντέλα επιλύονται επαναληπτικά. Τα τρία μοντέλα τα οποία αναλύονται ξεχωριστά παρακάτω, παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί (Διάγραμμα 5.7).



Διάγραμμα 5. 7: Η διαδικασία του μοντέλου απόδοσης δικτύου (VISUM User Manual, 2006)

5.4.1. Μοντέλο ροής εξόδου και χρόνου προσπέλασης για χρονικά μεταβαλλόμενη χωρητικότητα εξόδου

Λαμβάνοντας υπόψη τον κανόνα FIFO, όπου καμία προσπέραση μεταξύ των οχημάτων εντός του τόξου δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί, εισάγεται ένα βασιζόμενο στους συνδέσμους μοντέλο απόδοσης για την χρονικά μεταβαλλόμενη χωρητικότητα εξόδου ενός τόξου. Ο στόχος του είναι ο καθορισμός του χρονικού προφίλ της ροής εξόδου σαν μία διάδοση του χρονικού προφίλ της εισροής στο τελικό τμήμα του τόξου, και στην συνέχεια στα χρονικά προφίλ του χρόνου προσπελάσεως.

Υπό την προϋπόθεση ότι δεν συντελείται κάποια μείωση χωρητικότητας στο τέλος του τόξου $a \in A$, είναι πιθανό να εκφραστεί ο υποκρίσιμων χρόνος εξόδου $r_a(\tau)$, για ένα όχημα που εισέρχεται στο τόξο κατά την χρονική στιγμή τ , σαν συνάρτηση του προηγούμενου τμήματος του χρονικού προφίλ της εισροής που αντιστοιχεί σε εισροή $f_a(\sigma)$ για κάθε χρονική στιγμή $\sigma \leq \tau$:

$$r_a(\tau) = r_a(f_a(\sigma)) : \sigma \leq \tau \quad (5.8)$$

Η σχέση (5.8) θα καθορισθεί στην παράγραφο «Μοντέλο υποκρίσιμου χρόνου εξόδου για το τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα (Διάγραμμα 5.6) καθώς και στο τμήμα μοντέλο υποκρίσιμου χρόνου εξόδου για το παραβολικό θεμελιώδες διάγραμμα» (Διάγραμμα 5.5).

Στην περίπτωση όπου, αντίθετα, στο τέλος του τόξου υπάρχει μία στένωση με χρονικά μεταβαλλόμενη χωρητικότητα εξόδου $\psi_a(\sigma) \leq S_a$ για κάθε χρονική στιγμή σ , το πρόβλημα του καθορισμού του ολικού χρόνου εξόδου $t_a(\tau) \geq r_a(\tau)$ για ένα όχημα που εισέρχεται στο τόξο τη χρονική στιγμή τ θα πρέπει να απευθύνεται πρώτα στον εντοπισμό του χρονικού προφίλ της συσσωρευτικής ροής εξόδου, της οποίας η τιμή $E_a(\tau)$ τη χρονική στιγμή τ θα προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$E_a(\tau) = \min \left\{ F_a(r_a^{-1}(\sigma)) + \psi_a(\tau) - \psi_a(\sigma) : \sigma \leq \tau \right\} \quad (5.9)$$

όπου $\psi_a(\tau)$ αναφέρεται στην συσσωρευτική χωρητικότητα εξόδου τη χρονική στιγμή τ :

$$\Psi_a(\tau) = \int_{-\infty}^{\tau} \psi_a(\sigma) \cdot d\sigma \quad (5.10)$$

δηλαδή μεταξύ των χρονικών στιγμών σ και τ , $\psi_a(\tau) - \psi_a(\sigma)$ οχήματα μπορούν να εξέλθουν από το τόξο.

Ο παραπάνω τύπος (5.9) βασίζεται στον ακόλουθο προσδιορισμό που θέτει ο κανόνας FIFO, ότι η συσσωρευτική ροή εξόδου την χρονική στιγμή εξόδου $t_a(\tau)$ ενός οχήματος που εισέρχεται στο τόξο τη στιγμή τ είναι ίση με την συσσωρευτική εισροή την στιγμή τ που είναι:

$$E_a(t_a(\tau)) = F_a(\tau) \quad (5.11)$$

Τότε, ο τύπος (5.11) μπορεί να εξηγηθεί ως εξής. Εάν δεν υπάρχει σχηματισμός ουράς μία δοσμένη χρονική στιγμή τ , ο χρόνος προσπέλασης του τόξου θα ισούται με τον υποκρίσιμο χρόνο εκτέλεσης, έτσι ώστε, βασιζόμενοι στον κανόνα FIFO (5.11), η συσσωρευτική ροή εξόδου θα ισούται με την συσσωρευτική εισροή τη στιγμή $r_a^{-1}(\tau)$ όπου ένα όχημα εξέρχεται από το τόξο και τη στιγμή τ εισέρχεται σε αυτό. Εάν η ουρά εμφανιστεί τη στιγμή $\sigma < \tau$, από

αυτήν τη στιγμή έως ότου να εξαφανιστεί η ουρά, η ροή εξόδου θα ισούται με την χωρητικότητα εξόδου, και τότε, βασιζόμενοι στον κανόνα FIFO, η συσσωρευτική ροή εξόδου $E_a(\tau)$ προκύπτει προσθέτοντας στη συσσωρευτική εισροή τη στιγμή $r_a^{-1}(\sigma)$, το ολοκλήρωμα της χωρητικότητας εξόδου μεταξύ των σ και τ , το οποίο θα είναι ίσο με $\psi_a(\tau) - \psi_a(\sigma)$. Επιπλέον, εάν δεν έχει σχηματιστεί ουρά κατά τη στιγμή τ , η συσσωρευτική ροή εξόδου θα είναι η ίδια με το αν η ουρά εμφανιστεί την ακριβή στιγμή $\sigma = \tau$.

Εξ ορισμού, η ροή εξόδου $e_a(\tau)$ από ένα τόξο a τη στιγμή τ ισούται με:

$$e_a(\tau) = dE_a(\tau) / d\tau \quad (5.12)$$

Από κατασκευή, $e_a(\tau) \leq \psi_a(\tau)$ σε κάθε χρονική στιγμή τ και οι υπερκρίσιμες ροές εξόδου συμβαίνουν όποτε $e_a(\tau) = \psi_a(\tau)$.

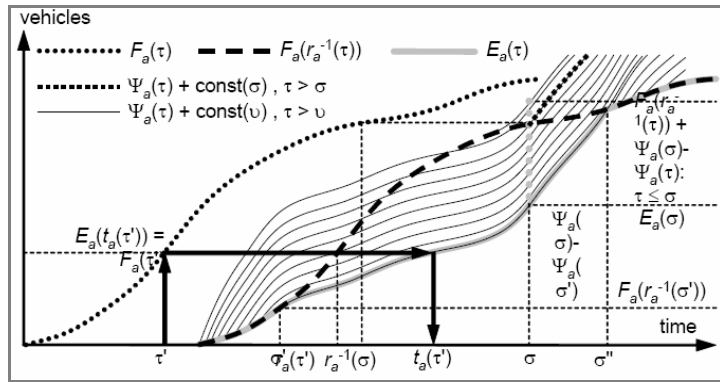
Γνωρίζοντας τα χρονικά προφίλ της συσσωρευτικής εισροής και της ροής εξόδου, ο κανόνας FIFO (5.11) αποφέρει έναν πεπλεγμένο τύπο για το χρονικό προφίλ χρόνου εξόδου από το τόξο. Από την στιγμή που το χρονικό προφίλ συσσωρευτικής ροής εξόδου είναι γνωστό, το χρονικό προφίλ του χρόνου εξόδου υπολογίζεται συμβατικά ως:

$$t_a(\tau) = \max\{r_a(\tau), \min\{\sigma : E_a(\sigma) = F_a(\tau)\}\} \quad (5.13)$$

Το Διάγραμμα 5.8 απεικονίζει μία γραφική ερμηνεία της ισότητας (5.11), όπου το χρονικό προφίλ συσσωρευτικής ροής εξόδου $E_a(\tau)$ είναι το χαμηλότερο γράφημα από τις ακόλουθες καμπύλες:

- η συσσωρευτική εισροή $F_a(\tau)$ μετατίθεται μπροστά στο χρόνο με υποκρίσιμο χρόνο εκτέλεσης $r_a(\tau) - \tau$, που αποφέρει το χρονικό προφίλ $F_a(r_a^{-1}(\tau))$, αυτό αναπαριστά το ρυθμό με τον οποίο τα οχήματα εισέρχονται στο τόξο και φτάνουν στο τέλος του,
- για κάθε χρονική στιγμή σ , το χρονικό προφίλ συσσωρευτικής χωρητικότητας εξόδου μετατίθεται κάθετα ως προς το χρόνο έτσι ώστε να διέρχεται μέσω του σημείου $(\sigma, F_a(r_a^{-1}(\sigma)))$, αυτό αναπαριστά το ρυθμό με τον οποίο μπορούν να εξέλθουν τα οχήματα από το τόξο την ακόλουθη χρονική στιγμή σ .

Η ουρά δεν εμφανίζεται όταν η καμπύλη a υπερισχύει. Η δημιουργία ουράς ξεκινάει, όταν η καμπύλη συσσωρευτικής ροής εξόδου κατέρχεται κάτω από τη μετατοπισμένη καμπύλη συσσωρευτικής ροής εισόδου, δηλαδή όταν φάνουν στο τελικό τμήμα του τόξου περισσότερα οχήματα από ό,τι μπορούν να εξέλθουν. Επομένως, στο διάγραμμα η ουρά εμφανίζεται τη στιγμή σ' και εξαλείφεται τη στιγμή σ'' . Στο ίδιο πλαίσιο, ο υπολογισμός του χρόνου εξόδου βασίζεται στα χρονικά προφίλ συσσωρευτικής εισροής και ροής εξόδου και παρουσιάζεται με τη χρήση βελών στο Διάγραμμα 5.8.



Διάγραμμα 5. 8: Τόξο με χρονικά μεταβαλλόμενη χωρητικότητα (VISUM User Manual, 2006)

Μοντέλο υποκρίσιμου χρόνου εξόδου για το τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα

Εάν το τραπεζοειδές θεμελιώδες διάγραμμα έχει υιοθετηθεί για να αναπαριστά τις καταστάσεις ροής στο τόξο, η υποκρίσιμη ταχύτητα στο τόξο θα είναι σταθερή, και επομένως η σχέση 5.8 θα καθορίζεται ως:

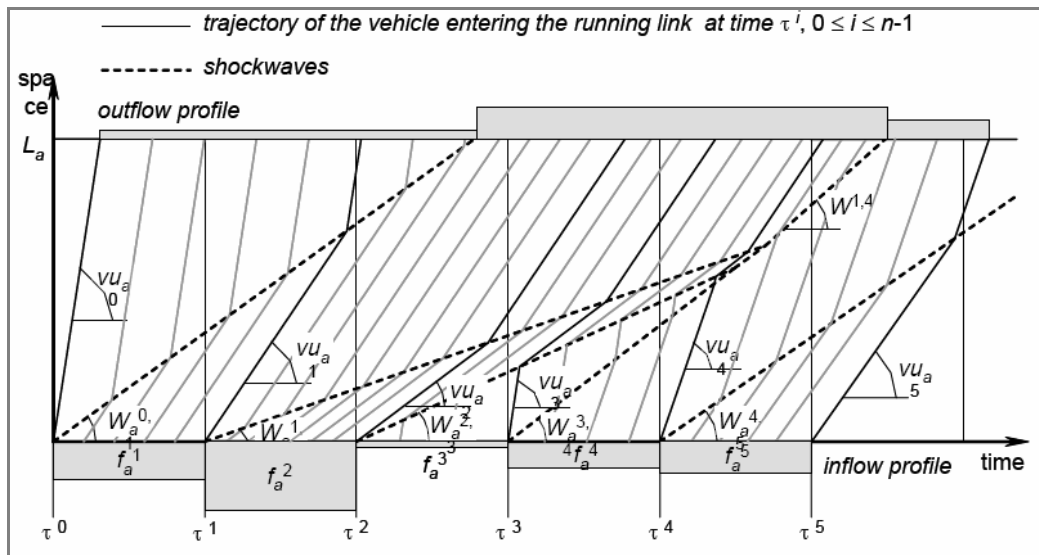
$$r_a(\tau) = \tau + L_a / V_a \tag{5.14}$$

Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιώντας τη σχέση (5.14) η ισότητα (5.9) μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$E_a(\tau) = \min \{ F_s(\sigma - L_a / V_a) + \psi_a(\tau) - \psi_a(\sigma) : \sigma \leq \tau \} \tag{5.15}$$

Μοντέλο υποκρίσιμου χρόνου εξόδου για το παραβολικό θεμελιώδες διάγραμμα

Εάν το παραβολικό θεμελιώδες διάγραμμα έχει υιοθετηθεί, η κατάσταση γίνεται πιο πολύπλοκη επειδή τα οχήματα μπορούν να ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες ακόμα και στις υποκρίσιμες πυκνότητες. Στην περίπτωση όπου το χρονικό προφίλ εισροής του τόξου είναι κατά τμήματα σταθερό, ο χρόνος εξόδου του αντίστοιχου συνδέσμου μπορεί να προσδιοριστεί προσεγγιστικά από τη θεωρία απλών κινηματικών κυμάτων. Η γενική ιδέα είναι ο εντοπισμός της τροχιάς ενός οχήματος που εισέρχεται στο τόξο α την χρονική στιγμή τ , παρατηρώντας τις διαφορετικές ταχύτητες που θα αναπτύξει κατά μήκος του τόξου, και ο καθορισμός του χρόνου εξόδου $t_a(\tau)$. Στη συνέχεια, επεξηγείτε αρχικά το ακριβές μοντέλο. Επειδή μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλο υπολογιστικό φόρτο, τότε αντικαθίσταται από ένα πιο απλό μοντέλο το οποίο προσδιορίζει κατά μέσο όρο τις κυκλοφοριακές συνθήκες και έτσι να περιορίσει τον αριθμό των διαφορετικών κυκλοφοριακών καταστάσεων που μπορεί να αντιμετωπίσει κάθε όχημα στο τόξο.



Διάγραμμα 5. 9: Το μοντέλο ροής που προκύπτει από τη θεωρία απλών κινηματικών κυμάτων (VISUM User Manual, 2006)

Βάσει της θεωρίας απλών κινηματικών κυμάτων, τα οχήματα μπορούν να αλλάξουν την ταχύτητά τους στιγμιαία. Όπως παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.9, όταν το χρονικό προφίλ εισροής είναι κατά τμήματα σταθερό, οι τροχιές των οχημάτων είναι κατά τμήματα γραμμικές και το επίπεδο του χώρου – χρόνου προκύπτει να υποδιαιρείται σε τμήματα ροής που να χαρακτηρίζονται από ομοιογενή καταστάσεις ροής και να καθορίζονται από γραμμικά

κρουστικά κύματα. Η πλευρά W_a^{ij} του κρουστικού κύματος διαχωρίζεται από δύο καταστάσεις υποκρίσιμης ροής $\Phi(f_a^i)$ και $\Phi(f_a^j)$, και ισούται με:

$$W_a^{ij} = \frac{f_a^j - f_a^i}{ku_a(f_a^j) - ku_a(f_a^i)} = nu_a(f_a^i) + nu_a(f_s^i) - V_a \quad (5.16)$$

Θεωρητικά, για ένα δοσμένο χρονικό προφίλ σταθερής εισροής, είναι πιθανό να καθοριστεί η τροχιά ενός οχήματος που εισέρχεται στο τόξο α τη στιγμή τ , και επομένως ο υποκρίσιμος χρόνος εξόδου $r_a(\tau)$. Ωστόσο, το Διάγραμμα 5.9 δείχνει ότι μπορεί να είναι ιδιαίτερα δυσβάσταχτος ο καθορισμός αυτών των τροχιών, στην πραγματικότητα:

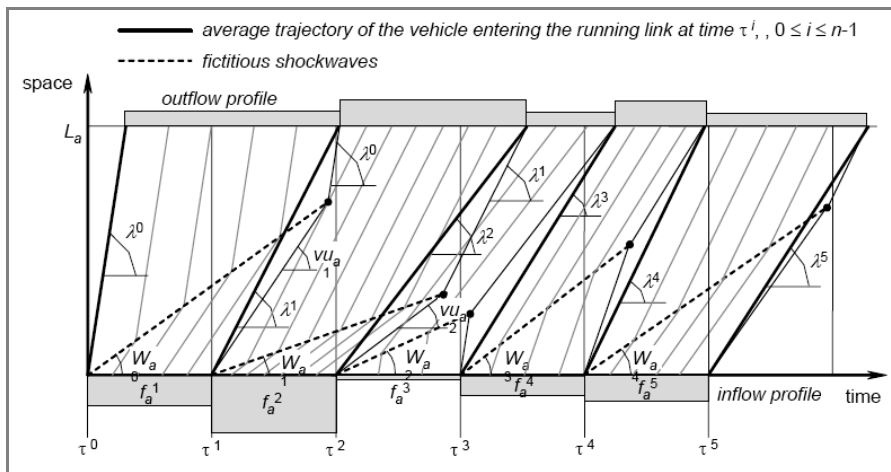
- περισσότερα από ένα κρουστικά κύματα μπορεί να υπάρχουν στο τόξο την ίδια χρονική στιγμή,
- τα κρουστικά κύματα μπορούν να δημιουργηθούν είτε στο αρχικό τμήμα του τόξου λόγω ασυνεχειών στους χρόνους τ^i , $0 \leq i \leq n-1$, είτε σε οποιοδήποτε τμήμα του τόξου οποιαδήποτε στιγμή από διασταυρώσεις κρουστικών κυμάτων,
- ένα όχημα μπορεί να διασταυρωθεί με πολλά κρουστικά κύματα καθώς ταξιδεύει στο τόξο, και όλα αυτά τα σημεία πρέπει να αξιολογηθούν ώστε να καθοριστεί η τροχιά του οχήματος.

Για να ξεπεραστούν οι δυσκολίες, όπως παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 5.10, θεωρείται ότι κάθε χρονική στιγμή r^i , $0 \leq i \leq n-1$, εικονικό κρουστικό κύμα δημιουργείται στο αρχικό τμήμα του τόξου διαχωρίζοντας την κατάσταση πραγματικής ροής $\phi(f_a^{i+1})$ από την κατάσταση εικονικής ροής που αναφέρεται στη μέση ταχύτητα $\lambda^i = L/(r_a^i - \tau^i)$ του οχήματος που εισήλθε τη στιγμή τ^i . Τα εικονικά κρουστικά κύματα είναι εύκολο να υπολογισθούν, στην πραγματικότητα:

- ποτέ δεν συναντάει το ένα το άλλο, και έτσι δημιουργούνται όλα στο αρχικό τμήμα του τρέχοντος τόξου τη χρονική στιγμή τ^i , $0 \leq i \leq n-1$,
- κάθε όχημα μπορεί να συναντήσει, το μέγιστο, το τελευταίο πλασματικό κρουστικό κύμα που έχει δημιουργηθεί, και επομένως η τροχιά του είναι ιδιαίτερα εύκολο να προσδιοριστεί.

Βάσει της (5.16), η πλευρά W_a^i του πλασματικού κρουστικού κύματος θα ισούται με:

$$W_a^i = \lambda^i + nu(f_a^{i+1}) - V_a \quad (5.17)$$



Διάγραμμα 5. 10: Πρότυπο ροής που προέκυψε από το μοντέλο μέσω κινηματικού κύματος (VISUM User Manual, 2006)

Επισημαίνεται ότι η τροχιά ενός οχήματος που εισέρχεται στον τρέχων σύνδεσμο τη χρονική στιγμή $\tau \in (\tau^{i-1}, \tau^i]$ είναι άμεσα επηρεασμένη μόνο από τη μέση τροχιά του οχήματος που εισήλθε τη στιγμή τ^{i-1} , η οποία συνθέτει το προηγούμενο ιστορικό των καταστάσεων ροής.

Η προσέγγιση που αναφέρθηκε έχει μικρή επίδραση στην αποτελεσματικότητα του μοντέλου. Επιπλέον, ικανοποιεί την αρχή της FIFO, η οποία συνεχίζει να τηρείται μεταξύ των αρχικών και των τελικών τμημάτων του τόξου, ενώ τοπικές παραβιάσεις της αρχής που μπορεί να πραγματοποιούνται σε ενδιάμεσα τμήματα δεν έχουν επίδραση.

Βάσει των παραπάνω, ο υποκρίσιμος χρόνος διέλευσης $\tau_a^i = \tau_a(\tau)^i, 0 \leq i \leq n-1$, μπορεί να καθοριστεί ως εξής:

- εάν ένα όχημα που εισήλθε στο τόξο τη χρονική στιγμή τ^i δεν συναντήσει το πλασματικό κρουστικό κύμα W_a^{i-1} πριν το τέλος του τόξου, ο υποκρίσιμος χρόνος εξόδου θα είναι απλά:

$$r_a^i = \tau^i + L_a / \nu u_a(f_a^i) \quad (5.18)$$

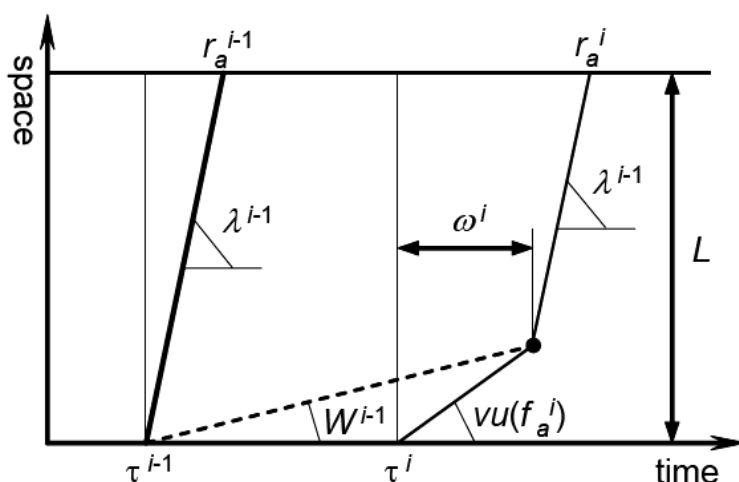
όπου f_a^i είναι η ροή του τόξου κατά το χρονικό διάστημα $(\tau^{i-1}, \tau^i]$

- σε διαφορετική περίπτωση, ο υποκρίσιμος χρόνος εξόδου καθορίζεται βάσει των δύο ταχυτήτων που θεωρείται ότι είχε το όχημα πριν και μετά τη συνάντηση με το πλασματικό κύμα, ο οποίος θα είναι:

$$r_a^i = \tau^i + \omega^i + (L_a - \omega^i \cdot \nu u(f_a^i)) / \lambda^{i-1} \quad (5.19)$$

όπου ω^i είναι ο χρόνος μετακίνησης του οχήματος πριν τη συνάντηση με το πλασματικό κύμα (Διάγραμμα 5.11).

$$\omega^i = (\tau^i - \tau^{i-1}) \cdot W_a^{i-1} / (\nu u(f_a^i) - W_a^{i-1}) \quad (5.20)$$



Διάγραμμα 5. 11: Προσδιορισμός του υποκρίσιμου χρόνου εξόδου από το τόξο (VISUM User Manual, 2006)

Σε αυτήν περίπτωση ο υποκρίσιμος χρόνος διέλευσης (5.8) θα ισούται με:

$$r_a(\tau) = r_a^i + (\tau - \tau^i) \cdot (r_a^{i+1} - r_a^i) / (\tau^{i+1} - \tau^i), \tau \in [\tau^i, \tau^{i+1}), 0 \leq i \leq n-1 \quad (5.21)$$

5.4.2. Μοντέλο χωρητικότητας εισόδου

Σε αυτό το τμήμα προτείνεται μία νέα προσέγγιση για να αναπαρασταθεί η επίδραση στην χωρητικότητα εισόδου των ουρών, που δημιουργούνται στο τελικό τμήμα του τόξου από την χωρητικότητα εξόδου, και φτάνουν στο αρχικό τμήμα, δημιουργώντας συνθήκες διαρροής των κυκλοφοριακών καταστάσεων προς τα πίσω. Το συγκεκριμένο κομμάτι του μοντέλου λαμβάνεται υπόψη μόνον εάν κατά την εκτέλεση της εντολής DUE έχει ενεργοποιηθεί η επιλογή της διαρροής προς τα πίσω (spill - back). Εάν η επιλογή είναι απενεργοποιημένη, η δυνατότητα αποθήκευσης οχημάτων (storage capacity) θεωρείται ότι είναι άπειρη, και επομένως η χωρητικότητα εισόδου δεν μπορεί να μειωθεί ποτέ κάτω από την εσωτερική χωρητικότητα.

Για να γίνει αντιληπτό, γίνεται αρχικά η θεώρηση ότι η ουρά είναι μη συμπιεσμένη, δηλαδή μία υπερκρίσιμη πυκνότητα υπάρχει. Τότε, η ταχύτητα του κινηματικού κύματος προκύπτει ότι θα είναι άπειρη (Διάγραμμα 5.5 ή 5.6), είναι φανερό ότι $w_a = \infty$ όταν $KJ_a = k2_a$, έτσι ώστε οποιαδήποτε κατάσταση υπερκρίσιμης ροής συμβαίνει στο τελικό τμήμα, θα διαδίδεται προς τα πίσω ακαριαία. Ωστόσο, αυτή η περίπτωση δεν υποδηλώνει ότι η ουρά θα φτάσει στο αρχικό τμήμα του τόξου ακαριαία. Πράγματι, η κατάσταση υπερκρίσιμης ροής εξόδου δεν επηρεάζει την κατάσταση υποκρίσιμης ροής εισόδου έως ότου ο τόξο να γεμίσει τελείως, δηλαδή ο συσσωρευτικός αριθμός οχημάτων που εισήλθαν στο τόξο, είναι μικρότερος από το σύνολο των οχημάτων που εξήλθαν από αυτό συν τις δυνατότητες αποθήκευσης του τόξου σε οχήματα. Η δυνατότητα αποθήκευσης που αναφέρθηκε παραπάνω, είναι σταθερή στο χρόνο για κάθε τόξο, και προκύπτει από το μήκος του τόξου πολλαπλασιαζόμενο με την πυκνότητα συμφόρησης. Από την στιγμή που η σχηματιζόμενη ουρά υπερβεί το μήκος του τόξου, η χωρητικότητα εισόδου ισούται με τη χωρητικότητα εξόδου, δηλαδή όλα τα οχήματα που βρίσκονται στο τόξο κινούνται σαν ένα άκαμπτο αντικείμενο.

Στην πραγματικότητα, καταστάσεις υπερκρίσιμης ροής μπορούν να υπάρξουν σε διαφορετικές πυκνότητες και η κινηματική ταχύτητα του κύματος δεν είναι μόνο αρκετά χαμηλότερη από την ταχύτητα ελεύθερης ροής των οχημάτων, υποδηλώνοντας ότι η καθυστέρηση που επιδράει στην οπίσθια μετάθεση σε χώρο από το τελικό τμήμα στο αρχικό τμήμα προκύπτει από τις καταστάσεις ροής που παρήχθησαν από την χωρητικότητα εξόδου που δεν είναι αμελητέα, αλλά είναι κατά κάποιον τρόπο και διαφορετικές η μία από την άλλη, το οποίο δημιουργεί μία τροποποίηση στο χρόνο εμπρόσθιας μετάθεσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα θεμελιώδη διαγράμματα που έχουν υιοθετηθεί εδώ, και έχουν όλα ένα γραμμικό υπερκρίσιμο κλάδο, είναι ικανά να αναπαραστήσουν την κύρια επίδραση της καθυστέρησης αλλά όχι την επίδραση της τροποποίησης, αφού όλα τα οπίσθια κινηματικά κύματα έχουν την ίδια κλίση.

Η επίδραση της διαρροής στη χωρητικότητα εισόδου ελέγχεται σε αυτήν την περίπτωση με την αξιοποίηση της αναλυτικής λύσης της θεωρίας απλών κινηματικών κυμάτων (STKW).

Η κατάσταση ροής που υπάρχει σε ένα τμήμα του τόξου είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των καταστάσεων υποκρίσιμης ροής που προέρχονται εμπροσθεν και των καταστάσεων υπερκρίσιμης ροής που προέρχονται όπισθεν. Ειδικότερα, στο αρχικό τμήμα, η κατάσταση ροής που προέρχεται εμπροσθεν είναι η εισροή, ενώ οι καταστάσεις που προέρχονται όπισθεν οφείλονται στη χωρητικότητα εξόδου και μπορούν να προσδιοριστούν με την οπίσθια διάδοση του υπερκρίσιμου ποσοστού του χρονικού προφίλ της συσσωρευτικής ροής εξόδου, και έτσι προκύπτει αυτό που αναφέρεται ως χρονικό προφίλ της μέγιστης συσσωρευτικής εισροής.

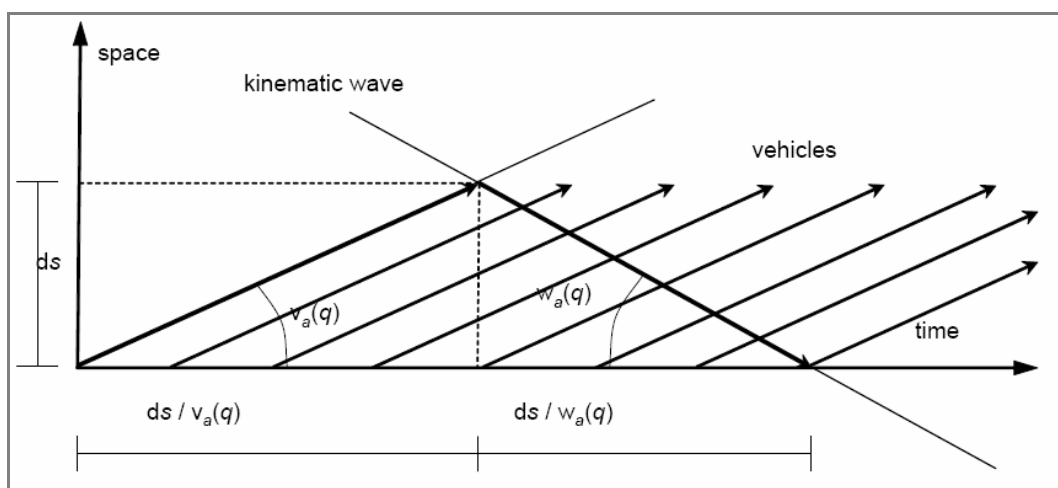
Σύμφωνα με την ελάχιστη αρχή των Newell – Luke, η κατάσταση ροής που είναι συνεπής με το φαινόμενο της διαρροής που συμβαίνει στο αρχικό τμήμα είναι αυτή που αποφέρει την χαμηλότερη συσσωρευτική ροή. Επομένως, όταν η συσσωρευτική εισροή ισούται ή ξεπερνάει τη μέγιστη συσσωρευτική εισροή, έτσι ώστε η διαρροή προς τα πίσω να συμβαίνει, η παράγωγος του τελευταίου χρονικού προφίλ μπορεί να προσδιοριστεί ως το ανώτατο όριο εισροής. Αυτό επιτρέπει τον καθορισμό της κατάλληλης αξίας της χωρητικότητας εισόδου που διατηρεί το μήκος της ουράς ίσο με το μήκος του τόξου.

Η στιγμιαία $u_a(\tau)$ όταν το οπίσθιο κινηματικό κύμα έχει δημιουργηθεί τη χρονική στιγμή τ στο τελικό τμήμα του τόξου $a \in A$ από την υπερκρίσιμη ροή εξόδου $e_a(\tau) = \psi_a(\tau)$ και φτάνει στο αρχικό τμήμα, δίνεται από τον εξής τύπο:

$$u_a(\tau) = \tau + L_a / w_a(e_a(\tau)) \quad (5.22)$$

Εξ ορισμού, τα σημεία στο χώρο και στο χρόνο που συνιστούν την ευθεία γραμμή της τροχιάς που παρήχθη από ένα κινηματικό κύμα, χαρακτηρίζονται από την ίδια κατάσταση ροής. Επιπλέον, το Διάγραμμα 5.12 δείχνει ότι ο αριθμός των οχημάτων που τέμνουν το υπερκρίσιμο κύμα σε σχέση με τη ροή εξόδου q για κάθε απειροελάχιστο χώρο ds που διανύθηκε στην αντίθετη κατεύθυνση, ισούται με τα χρονικά διαστήματα $ds \cdot [1/v_a(q) + 1/w_a(q)]$ πολλαπλασιαζόμενα με αυτήν τη ροή. Συνεπώς, ενοποιώντας το τόξο από το τελικό στο αρχικό τμήμα, προκύπτει η συσσωρευτική ροή $H_a(\tau)$ η οποία θα παρατηρούνταν τη χρονική στιγμή $u_a(\tau)$ στο αρχικό τμήμα ως εξής:

$$H_a(\tau) = E_a(\tau) + e_a(\tau) \cdot L_a \cdot [1 - v_a(e_a(\tau)) + 1/w_a(e_a(\tau))] \quad (5.23)$$



Διάγραμμα 5. 12: Τροχιές του υπερκρίσιμου κινηματικού κύματος και των οχημάτων που το τέμνουν (VISUM User Manual, 2006)

Στα θεμελιώδη διαγράμματα που υιοθετήθηκαν σε αυτήν την περίπτωση, ο υπερκρίσιμος κλάδος είναι γραμμικός και επομένως η $u_a(\tau)$ είναι αναστρέψιμη. Πραγματικά, αφού $w_a(q) = w_a$, βάσει της 5.22 ο χρόνος όταν $u_a(\sigma) = \tau$ θα ισούται με $\sigma = \tau - L_a / w_a$.

Επιπλέον, αφού $q/v_a(q) = KJ_a - q/w_a$, βάσει της 5.23 θα προκύπτει: $H_a(\tau) = E_a(\tau) + L_a \cdot KJ_a$. Συνεπώς, η μέγιστη συσσωρευτική εισροή $G_a(\tau)$ που μπορεί να έχει εισέλθει στο τόξο τη χρονική στιγμή τ , με συνέπεια στο πρότυπο ροής εξόδου, προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

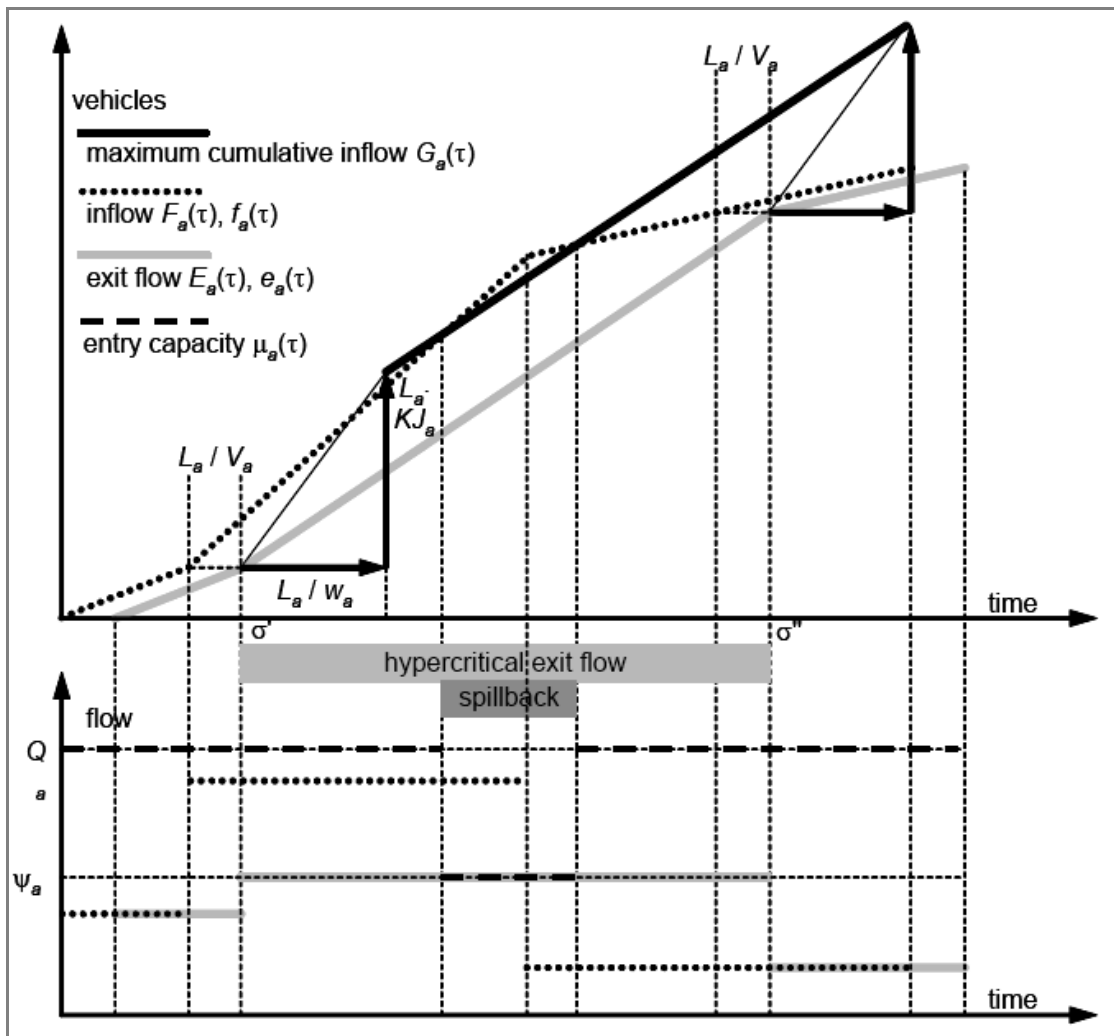
$$G_a(\tau) = \begin{cases} E_a(\tau - L_a / w_a) + L_a \cdot KJ_a, & \text{εάν } e_a(\tau - L_a / w_a) = \psi_a(\tau - L_a / w_a) \\ \infty & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (5.24)$$

Εάν τη στιγμή τ η συσσωρευτική εισροή $F_a(\tau)$ είναι ίση ή μεγαλύτερη της μέγιστης συσσωρευτικής εισροής $G_a(\tau)$, έτσι ώστε εκείνη τη στιγμή να πραγματοποιείται διαρροή

προς τα πίσω, τότε η χωρητικότητα εισόδου $\mu_a(\tau)$ θα προκύπτει από την παράγωγο $dG_a(\tau)/d\tau$ της τελευταίας, αλλιώς θα ισούται με την εσωτερική χωρητικότητα Q_a . Η διαφοροποίηση της $G_a(\tau)$ αποφέρει $dG_a(\tau)/d\tau = e_a(\tau - L_a/w_a)$, τότε αφού $e_a(\tau - L_a/w_a) = \psi_a(\tau - L_a/w_a)$, θα προκύπτει:

$$\mu_a(\tau) = \begin{cases} \psi_a(\tau - L_a/w_a), & \text{εάν } G_a(\tau) \leq F_a(\tau) \\ Q_a & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad (5.25)$$

Το διάγραμμα 5.13 δείχνει πως, βάσει της ισότητας (5.24), το χρονικό προφίλ της μέγιστης συσσωρευτικής εισροής μπορεί να αποκτηθεί γραφικά μέσω μίας άκαμπτης μετάθεσης (βέλη) του χρονικού προφίλ της συσσωρευτικής ροής εξόδου, για L_a/w_a σε χρόνο και για $L_a \cdot KJ_a$ σε αξία. Επιπλέον, δείχνει ότι, όταν $G_a(\tau)$ είναι μεγαλύτερη από $F_a(\tau)$, η ουρά που σχηματίζεται είναι μικρότερη από L_a και $\mu_a(\tau) = Q_a$, αλλιώς συμβαίνει διαρροή προς τα πίσω και $\mu_a(\tau) = \psi_a(\tau - L_a/w_a)$.



Διάγραμμα 5. 13: Γραφικός προσδιορισμός χρονικού προφίλ χωρητικότητας εισόδου στην περίπτωση του τριγωνικού θεμελιώδους διαγράμματος, κατά τμήματα σταθερή εισροή, και σταθερή χωρητικότητα εξόδου (VISUM User Manual, 2006)

5.4.3. Μοντέλο χωρητικότητας εξόδου

Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζεται ένα μοντέλο για τον προσδιορισμό, για ένα δοσμένο κόμβο, των χωρητικοτήτων εξόδου των ανάντη τόξων, βάσει των χωρητικοτήτων εισόδου των κατάντη τόξων και των ροών των τοπικών ελιγμών. Σε αυτό το μοντέλο, χρησιμοποιούνται μόνο δύο τυπολογίες κόμβων, οι συγχωνευμένοι (mergings) και αυτοί που παρακάμπτονται (diversions). Σε αυτήν την περίπτωση, πράγματι, το μοντέλο μπορεί να εκφραστεί σε όρους εισροών και εκροών τόξου. Αυτό δεν αποτελεί περιορισμό: στα δίκτυα του VISUM ένας γραφικός κόμβος μπορεί είτε να συνδέει ένα επερχόμενο τόξο - σύνδεσμο με αρκετά απερχόμενα τόξα - συνδέσμους κεντροειδών/ στρέφουσας κίνηση (σε αυτήν την περίπτωση αποτελεί μία παράκαμψη). Είτε να συνδέει αρκετά επερχόμενα τόξα – συνδέσμους κεντροειδών/ στρέφουσας κίνησης με ένα απερχόμενο τόξο – σύνδεσμο (σε αυτήν την περίπτωση αποτελεί μία συγχώνευση).

Όταν θεωρείται ένας συγχωνευμένος $x \in N$, ο οποίος αποτελεί μία διασταύρωση με μία μοναδική εμπρόσθια ζώνη, το πρόβλημα είναι να διαχωριστεί η χωρητικότητα εισόδου $\mu_b(\tau)$ του τόξου $b = FS(x)$ που είναι διαθέσιμη τη χρονική στιγμή τ ανάμεσα στα τόξα που ανήκουν στην οπίσθια ζώνη του, των οποίων οι εκροές ανταγωνίζονται για να διασχίσουν την διασταύρωση. Σαν αρχή (κανόνας), θεωρείται ότι η διαθέσιμη χωρητικότητα διαχωρίζεται ποσοστιαία στην εξωτερική χωρητικότητα S_a κάθε τόξου $a \in BS(x)$. Αλλά με αυτόν τον τρόπο μπορεί να συμβεί ότι σε κάποιο τόξο a η εκροή $\mu_a(\tau)$ να είναι μικρότερη από το μερίδιο της χωρητικότητας εισόδου που αντιστοιχεί σε αυτό, έτσι ώστε ένα μικρότερο ποσοστό της τελευταίας να αξιοποιείται πραγματικά. Το υπόλοιπο ποσοστό της χωρητικότητας εισόδου τότε μπορεί να διαχωριστεί ανάμεσα στα υπόλοιπα τόξα. Εξάλλου, όταν το φαινόμενο της διαρροής προς τα πίσω δεν υπολογίζεται, η χωρητικότητα εξόδου $\psi_a(\tau)$ θα πρέπει να τίθεται ίση με την εξωτερική χωρητικότητα S_a .

Όταν θεωρείται ένας $x \in N$ που παρακάμπτεται, ο οποίος αποτελεί μία διασταύρωση με μία μοναδική οπίσθια ζώνη, το πρόβλημα είναι ο προσδιορισμός τη χρονική στιγμή τ την πιο έντονη μείωση στην εκροή από το τόξο $a = BS(x)$ ανάμεσα σε αυτά που παράγονται από τις χωρητικότητες εισόδου των τόξων που ανήκουν στην εμπρόσθια ζώνη. Όπως και προηγουμένως, όταν η διαρροή προς τα πίσω δεν υπολογίζεται, τότε η χωρητικότητα εξόδου θα πρέπει να τίθεται ίση με την εξωτερική χωρητικότητα. Όταν μόνο ένα τόξο $b \in FS(x)$ διαρρέει κυκλοφοριακές καταστάσεις προς τα πίσω, αυτό είναι $f_b(\tau) \geq \mu_b(\tau)$, έτσι ώστε να διαβεβαιωθεί ότι η χωρητικότητα διατήρησης στον κόμβο, ενώ ικανοποιείται ο κανόνας FIFO για τα οχήματα που εξέρχονται από το τόξο a , η χωρητικότητα εξόδου $\psi_a(\tau)$ διαβαθμίζεται από το μερίδιο των οχημάτων που πραγματοποιούν στρέφουσα κίνηση προς το τόξο b , τίθεται ίση με τη χωρητικότητα εισόδου του b : $\Psi_a(\tau) \cdot f_b(\tau) / u_a(\tau) = \mu_b(\tau)$. Όταν περισσότερα από ένα τόξα $b \in FS(x)$ διαρρέουν προς τα πίσω, η χωρητικότητα εξόδου είναι η πιο αξιόποινη από τις παραπάνω τιμές. Βάσει αυτού, προκύπτει:

$$\psi_a(\tau) = \min\{S_a; \mu_b(\tau) \cdot u_a(\tau) / f_b(\tau) : b \in FS(x), f_b(\tau) \geq \mu_b(\tau)\} \quad (5.26)$$

Σημειωτέο είναι ότι, σε αντίθεση με τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν στα δύο προηγούμενα τμήματα, αυτό το μοντέλο είναι χωρικά αδιαχώριστο, εξαιτίας των χωρητικοτήτων εξόδου όλων των τόξων που ανήκουν στην οπίσθια ζώνη ενός ίδιου κόμβου είναι καθορισμένες από κοινού, και χρονικά διαχωριστές, επειδή όλες οι σχέσεις αναφέρονται στην ίδια χρονική στιγμή.

Θεωρείται ότι τα οχήματα δεν χρησιμοποιούν τη διασταύρωση εάν δεν μπορούν να τη διασχίσουν λόγω της παρουσίας ουράς στο διαδοχικό τους τόξο, αλλά αναμένουν έως ότου ο απαραίτητος χώρος γίνει διαθέσιμος. Στην πραγματικότητα, αυτό το μοντέλο δεν είναι ικανό

να αντιμετωπίσει την αλλοίωση των αποδόσεων λόγω της κακής χρήσης της χωρητικότητας της διασταύρωσης.

5.4.4. Μοντέλο κόστους τόξου

Το κόστος των οχημάτων που εισέρχονται στο τόξο a τη χρονική στιγμή τ δίνεται από τον τύπο:

$$c_a(\tau) = n \cdot (t_a(\tau) - \tau) + m_a(\tau) \quad (5.27)$$

όπου $m_a(\tau)$ είναι το χρηματικό κόστος, ενώ n είναι η αξία του χρόνου.

5.5. Φόρτιση Δικτύου

Σε αυτό το τμήμα αναπτύσσεται η διατύπωση για τη δυναμική φόρτιση του χάρτη δικτύου (Dynamic Network Loading Map) με απεριόριστη απαρίθμηση μονοπατιών στην περίπτωση του ντετερμινιστικού μοντέλου επιλογής διαδρομής. Με το σκοπό αυτό, πρώτα θα καθοριστεί και θα διευθετηθεί το συνεχές πρόβλημα της εύρεσης του δυναμικού συντομότερου μονοπατιού, το οποίο βρίσκεται στην καρδιά του μοντέλου επιλογής διαδρομής.

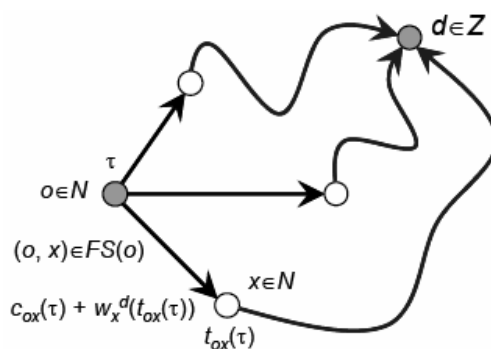
5.5.1. Συνεχές πρόβλημα δυναμικού συντομότερου μονοπατιού

Σε αντίθεση με τη στατική περίπτωση, στο δυναμικό γενικό πλαίσιο το πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού περιλαμβάνει ρητά τη χρονική διάσταση, από τη στιγμή που τα κόστη των τόξων που συνιστούν ένα μονοπάτι θα πρέπει να εκτιμηθούν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, τηρώντας την εμπειρία στους χρόνους μετακίνησης κατά μήκος του μονοπατιού, όπως αυτοί έχουν προκύψει από την ισότητα 5.3. Τότε, θα διευθετηθεί το πρόβλημα της εύρεσης του ελάχιστου κόστους $w_o^d(\tau)$ από κάθε κόμβο σε έναν δοσμένο προορισμό για χρήστες που αναχωρούν τη χρονική στιγμή τ :

$$w_o^d(\tau) = \min\{C_k(\tau) : k \in K_{od}\} \quad (5.28)$$

Μπορεί να αποδειχθεί ότι η παρακάτω δυναμική έκδοση της σχέσης Bellman για κάθε κόμβο $o \in N$ (Εικόνα 5.1) είναι ισοδύναμο με το πρόβλημα (5.28):

$$w_o^d(\tau) = \min\{C_{ox}(\tau) + w_x^d(t_{ox}(\tau)) : x \in FS(o)\} \quad (5.29)$$



Εικόνα 5. 1: Η δυναμική έκδοση της σχέσης Bellman (VISUM User Manual, 2006)

Το σύνολο των σχέσεων Bellman (5.29) μπορεί να επιλυθεί με τη χρησιμοποίηση μίας δυναμικής προγραμματιστικής προσέγγισης που περιγράφεται παρακάτω.

5.5.2. Επιλογή μονοπατιού και μοντέλα διάδοσης της ροής στο δίκτυο (Network Flow Propagation Models)

Κάνοντας τη θεώρηση ότι οι μετακινούμενοι είναι πλήρως ενημερωμένοι και παίρνουν τις αποφάσεις τους ορθολογικά, η συμπεριφορά που προκύπτει είναι τέτοια ώστε μόνο τα συντομότερα μονοπάτια χρησιμοποιούνται από αυτούς. Το ντετερμινιστικό μοντέλο επιλογής διαδρομής για χρήστες που ταξιδεύουν μεταξύ της προέλευσης $o \in N$ και του προορισμού $d \in Z$ αναχωρώντας τη χρονική στιγμή τ , μπορεί τότε να διατυπωθεί μέσω των ακόλουθων προεκτάσεων της δυναμικής περίπτωσης της πρώτης αρχής του Wardrop:

- εάν το μονοπάτι $k \in K_{od}$ χρησιμοποιείται, δηλαδή η πιθανότητα επιλογής $P_k(\tau)$ του είναι θετική, τότε το κόστος του $C_k(\tau)$ είναι ίσο με το ελάχιστο κόστος $w_o^d(\tau)$ της μετακίνησης μεταξύ του o και d , αναχωρώντας τη χρονική στιγμή τ ,
- αντιστρόφως, εάν το μονοπάτι k δεν χρησιμοποιείται, δηλαδή η πιθανότητα επιλογής του είναι μηδενική, τότε το κόστος του δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το ελάχιστο κόστος. Αυτό μπορεί να εκφραστεί επίσημα ως εξής:

$$P_k(\tau) \cdot [C_k(\tau) - w_o^d(\tau)] = 0 \quad (5.30)$$

Συνεπώς, οι πιθανότητες επιλογής πρέπει να είναι μη αρνητικές και να ανέρχονται έως τη μονάδα.

Θα αναπτυχθεί μία διαμόρφωση βασιζόμενη στην απαρίθμηση άπειρων μονοπατιών για το μοντέλο επιλογής μονοπατιού και για την αντίστοιχη διάδοση της ροής στο μοντέλο υιοθετώντας μία προσέγγιση με χρονικά επίπεδα, όπου σαν χρονική άποψη λαμβάνεται ο χρόνος εξόδου από τον τρέχων κόμβο.

Εάν τα συντομότερα μονοπάτια από το $o \in N$ στο $d \in Z$ για τους χρήστες που αναχωρούν τη χρονική στιγμή τ περιέχουν περισσότερα από ένα τόξο που να εξέρχονται από έναν ενδιάμεσο κόμβο x , τότε οι εξαρτημένες πιθανότητες αυτών των τόξων τη στιγμή τ για χρήστες που κατευθύνονται στο d μπορούν να εξαρτώνται, γενικά, στα υπο – μονοπάτια που χρησιμοποιούνται από κάθε o στο x . Εξαιτίας της προσθετικής φύσης των κοστών των τόξων, θεωρείται αντίθετα ότι οι εξαρτημένες πιθανότητες του τόξου για κάθε κόμβο είναι ίσες για όλους τους χρήστες που κατευθύνονται στον ίδιο προορισμό ανεξάρτητα από τα υπο – μονοπάτια που χρησιμοποιούν.

Υπό αυτή τη θεώρηση, η πιθανότητα επιλογής $P_k(\tau)$ ενός μονοπατιού $k \in K_{od}$ από το $o \in N$ στο $d \in Z$ για χρήστες που αναχωρούν τη χρονική στιγμή τ είναι ίση με το παράγωγο των εξαρτημένων πιθανοτήτων των τόξων της $A(k)$, κάθε ένα από τα οποία αναφέρεται στο χρόνο όπου οι συγκεκριμένοι χρήστες εισήλθαν στο τόξο όταν ταξιδεύουν κατά μήκος του μονοπατιού. Η πιθανότητα επιλογής του k μπορεί να προκύψει από τον παρακάτω αναδρομικό τύπο:

$$P_k(\tau) = p_{ox}^d(\tau) \cdot P_h(t_{ox}(\tau)) \quad (5.31)$$

όπου (o, x) είναι το πρώτο τόξο του k και $h \in K_{xd}$ είναι το υπόλοιπο του μονοπατιού k .

Σε αυτήν τη βάση μπορεί να αποδειχτεί ότι ο ντετερμινιστικός καθορισμός των εξαρτημένων πιθανοτήτων επιλογής μονοπατιού που ορίζονται από τη δυναμική σχέση του Wardrop, είναι ισοδύναμος με τον καθορισμό των υποθετικών πιθανοτήτων τόξου, που ορίζονται από το παρακάτω σύστημα:

$$p_{ox}^d(\tau) \cdot [C_{ox}(\tau) + w_x^d(t_{ox}(\tau)) - w_o^d(\tau)] = 0 \quad (5.32)$$

$$\sum_{(o,x) \in FS(o)} p_{ox}^d(\tau) = 1 \quad (5.33)$$

$$p_{ox}^d(\tau) \geq 0 \quad (5.33)$$

Η ισότητα (5.32) δείχνει ότι οι χρήστες που εξέρχονται τη στιγμή τ από κόμβο $o \in N$ και κατευθύνονται στον προορισμό $d \in Z$ μπορούν να επιλέξουν από την εμπρόσθια ζώνη $FS(o)$ μόνο ένα τόξο (o, x) για το οποίο το κόστος $C_{ox}(\tau)$ συν το ελάχιστο κόστος $w_x^d(t_{ox}(\tau))$ για να φτάσουν στον προορισμό όταν εισέλθουν στο x τη στιγμή είναι ίσο με το ελάχιστο κόστος $w_o^d(\tau)$.

Η ροή $f_{ox}^d(\tau)$ των οχημάτων που κατευθύνονται στον προορισμό $d \in Z$ που εισήλθαν στο τόξο $(o, x) \in A$ τη χρονική στιγμή τ , προκύπτει από την εξαρτημένη πιθανότητα $p_{ox}^d(\tau)$ του τόξου, πολλαπλασιαζόμενη με τη ροή που εξέρχεται από τον κόμβο o τη στιγμή τ . Η τελευταία προκύπτει, με τη σειρά της, από το άθροισμα της εκροής $u_{yo}^d(\tau)$ από κάθε τόξο $(y, o) \in BS(o)$ που εισέρχεται στο o , και της ροής ζήτησης $D_{od}(\tau)$ από το o στο d . Τότε, θα έχουμε:

$$f_{ox}^d(\tau) = p_{ox}^d(\tau) \cdot [D_{od}(\tau) + \sum_{(y,o) \in BS(o)} u_{yo}^d(\tau)] \quad (5.34)$$

Εφαρμόζοντας τον κανόνα FIFO και τους κανόνες διατήρησης οχημάτων, η εκροή από το y τη χρονική στιγμή τ μπορεί να εκφραστεί σε όρους εισροής στο o τη στιγμή $t_{yo}^{-1}(\tau)$:

$$u_{yo}^d(\tau) = f_{yo}^d(t_{yo}^{-1}(\tau)) / [dt_{yo}(\tau) / d\tau] \quad (5.35)$$

όπου το βάρος $dt_{yo}(\tau) / d\tau$ περιορίζεται από το γεγονός ότι οι χρόνοι προσπέλασης μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου, έτσι ώστε οι χρήστες που εξέρχονται από το y με μία συγκεκριμένη αναλογία και, γενικά, εισέρχονται στο o με μία διαφορετική αναλογία, η οποία είναι υψηλότερη από την προηγούμενη, εάν ο χρόνος προσπέλασης του τόξου μειώνεται, και χαμηλότερη αλλιώς.

Η συνολική εισροή και εκροή ενός τόξου $(o, x) \in A$ τη χρονική στιγμή τ θα είναι τότε:

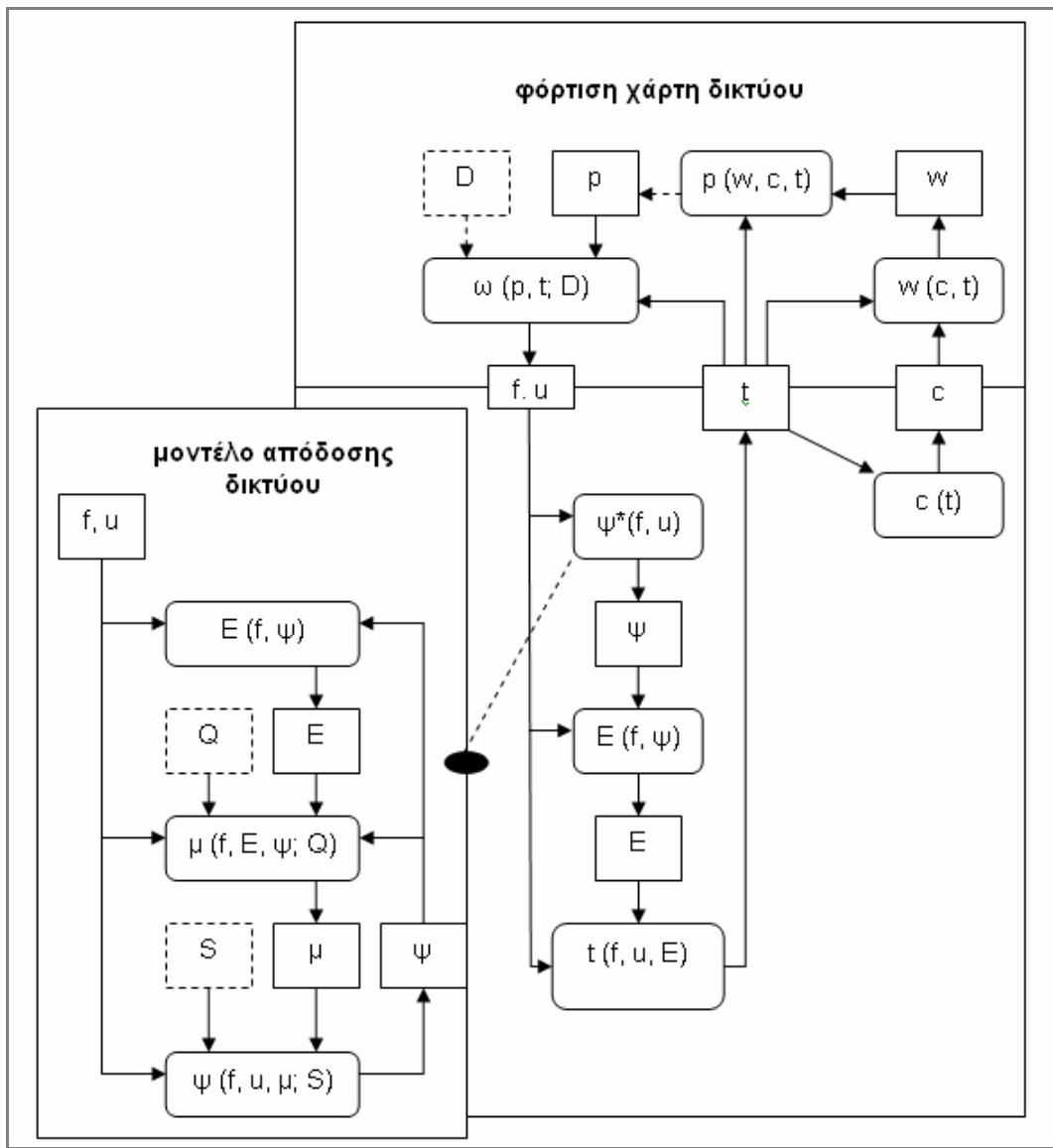
$$f_{ox}^d(\tau) = \sum_{d \in Z} f_{ox}^d(\tau); u_{ox}(\tau) = \sum_{d \in Z} u_{ox}^d(\tau) \quad (5.36)$$

5.6. Μοντέλο Δυναμικού Καταμερισμού Ισορροπίας (Dynamic User Equilibrium)

Όλα τα συστατικά του δυναμικού καταμερισμού κυκλοφορίας (DTA) έχουν αναφερθεί παραπάνω. Σε αυτό το τμήμα θα παρουσιαστεί η διαδικασία της εξισορρόπησης των χρηστών, όπου κανένας χρήστης δεν μπορεί να μειώσει το αντιληπτό κόστος της μετακίνησης του αλλάζοντας μονομερώς μονοπάτι, σαν ένα πρόβλημα σταθερού σημείου στα χρονικά προφίλ εισροών και εκροών των τόξων.

5.6.1. Η ντετερμινιστική περίπτωση

Η διατύπωση του δυναμικού καταμερισμού κυκλοφορίας με απαρίθμηση απεριόριστων μονοπατιών αποφέρει το μοντέλο που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 5.14.



Διάγραμμα 5. 14: Μεταβλητές και μοντέλα για τη διατύπωση σταθερού σημείου για το μοντέλο απόδοσης δικτύου (αριστερή πλευρά) και για το δυναμικό καταμερισμό κυκλοφορίας με διαρροή προς τα πίσω (δεξιά πλευρά) (VISUM User Manual, 2006)

Σε αναλογία με τη στατική περίπτωση, η φόρτιση του χάρτη δικτύου είναι μία λειτουργική σχέση που αποφέρει, για δοσμένες ροές ζήτησης D , ένα πρότυπο ροής τόξου f συνεπή με τις αποδόσεις τόξων t και c , με τη χρήση του μοντέλου ντετερμινιστικής επιλογής διαδρομής $p(w(c, t), t, c)$, και του μοντέλου διάδοσης ροής δικτύου $\omega(p, t; D)$. Η φόρτιση του χάρτη δικτύου έχει διατυπωθεί με απαρίθμηση άπειρων μονοπατιών μέσω της εισαγωγής του ελάχιστου κόστους κόμβου w , και τις εξαρτημένες πιθανότητες τόξου p . Τα βέλη με τις παύλες υποδεικνύουν οποιαδήποτε λύση του αντίστοιχου χάρτη επιλογής. Με τη σειρά, το μοντέλο απόδοσης τόξου αποφέρει το πρότυπο χρόνου εξόδου τόξων t , και το πρότυπο κόστους τόξων c , σε αντιστοιχία με τις εισροές f και τις εκροές τόξων u .

Η ντετερμινιστική εξισορρόπηση των χρηστών προκύπτει από τη φόρτιση του χάρτη δικτύου και το μοντέλο απόδοσης τόξου.

5.6.2. Η στοχαστική περίπτωση

Στο μοντέλο στοχαστικής επιλογής διαδρομής, το οποίο βασίζεται στη θεωρία τυχαία χρησιμότητας, τα κόστη των τόξων που γίνονται αντιληπτά από τους χρήστες δεν είναι γνωστά με βεβαιότητα και έτσι λαμβάνονται υπόψη ως ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές. Το στοχαστικό μοντέλο εφαρμόζεται στη δυναμική περίπτωση θεωρώντας ότι το κόστος τόξου $\bar{c}_a(\tau)$ ενός τόξου $a \in A$ που γίνεται αντιληπτό από τους χρήστες τη χρονική στιγμή τ , είναι ίσο με το άθροισμα του κόστους τόξου $c_a(\tau)$ που αποφέρει το μοντέλο απόδοσης τόξου και ενός χρονικά μεταβαλλόμενου τυχαίου λάθους, του οποίου η αξία τη χρονική στιγμή τ διανέμεται σαν μία κανονική μεταβλητή. Η μεταβολή του θεωρείται αναλογική, μέσω ενός σταθερού συντελεστή $\xi > 0$, και ενός χρονικά μεταβαλλόμενου όρου κόστους $\chi_a(\tau)$, ανεξάρτητου της συμφόρησης.

Το πρότυπο ροής τόξου που προκύπτει από την εκτίμηση της στοχαστικής φόρτισης του χάρτη δικτύου για δοσμένες αποδόσεις τόξου, εκτιμάται μέσω της γνωστής μεθόδου Montecarlo ως εξής:

1. Λαμβάνεται ένα δείγμα από H αντιληπτά πρότυπα κόστους τόξου:

$$\bar{c}_a^h(\tau) = c_a(\tau) + \psi_a^h \cdot [\zeta \cdot \chi_a(\tau)]^{0.5}, \text{ σε απλή μορφή } \bar{c}^h = \bar{c}(c; \chi) \quad (5.37)$$

όπου κάθε ψ_a^h εξάγεται από μία προκαθορισμένη κανονική μεταβλητή $N[0,1]$ για $h=1, \dots, H$.

2. Για κάθε αντιληπτό πρότυπο κόστους τόξου του δείγματος, προσδιορίζεται μέσω μίας ντετερμινιστικής φόρτισης του χάρτη δικτύου ένα σταθερό πρότυπο εισροής τόξου.
3. Υπολογίζεται η μέση τιμή των ντετερμινιστικών προτύπων εισροής τόξου που έχουν προκύψει, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί μία μη παραμορφωμένη εκτίμηση του στοχαστικού προτύπου εισροής τόξου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι, βάσει της 5.37, το ίδιο αποτέλεσμα ψ_a^h της προκαθορισμένης κανονικής μεταβλητής χρησιμοποιείται για να διαταράξει ολόκληρο το χρονικό προφίλ c_a^h . Αυτό είναι συμβατό με τη συμπεριφορά των χρηστών, που αντιλαμβάνονται το χρονικό προφίλ του κόστους τόξου σαν ένα σύνολο. Αντίθετα, οι χρόνοι μετακίνησης που υπόκεινται στη διάδοση ροής του δικτύου, λαμβάνονται υπόψη ως σταθεροί κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

6.1. Εισαγωγικά

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά την υλοποίηση της μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας διαμορφώθηκε άμεσα από τους στόχους που είχαν τεθεί εξ αρχής. Οι στόχοι εν συντομία είναι αρχικά η προσομοίωση του συγκοινωνιακού μοντέλου της πόλης της Αθήνας για μακροσκοπική ανάλυση, και στη συνέχεια η διερεύνηση των δυναμικών επιπτώσεων της επιβολής χρέωσης χρήσης του οδικού δικτύου του κέντρου της πόλης, στο οδικό δίκτυο αυτής. Η προσομοίωση του συγκοινωνιακού μοντέλου της πόλης πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα ιδιωτικά συστήματα μεταφορών και δεν συμπεριλήφθηκε σε αυτό η επίδραση των δημοσίων συστημάτων μεταφορών στο συνολικό σύστημα μεταφορών της πόλης.

Η προσομοίωση του συγκοινωνιακού μοντέλου συνοψίζεται στη δημιουργία του μοντέλου προσφοράς του οδικού δικτύου της πόλης και τη μελέτη των δυναμικών αλληλεπιδράσεων του με το αντίστοιχο μοντέλο ζήτησης που έχει επιλεχθεί. Αρχικά, με δεδομένο το στόχο της μακροσκοπικής ανάλυσης, δημιουργήθηκε το μοντέλο προσφοράς μετακίνησης όπου αναπαριστά τη διαθέσιμη οδική υποδομή της πόλης, με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και διαχείρισης αυτής. Η οδική υποδομή της πόλης που επιλέχθηκε να αναπαριστάται στο μοντέλο περιλαμβάνει τους κύριους οδικούς άξονες της πόλης καθώς και μεγάλο τμήμα του οδικού δικτύου που βρίσκεται εντός του δακτυλίου και αποτελεί τη ζώνη άμεσης επιρροής του μέτρου. Το μοντέλο ζήτησης που χρησιμοποιήθηκε, βασίστηκε στο μητρώο συνολικών ημερήσιων μετακινήσεων με Ι.Χ. σε επίπεδο δήμων που προέκυψε από τη Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό το 1996, κατάλληλα προσαρμοσμένο ώστε να αναπαριστά τη σημερινή ζήτηση για μετακίνηση για δεδομένο μοντέλο προσφοράς. Το μητρώο συνολικών ημερήσιων μετακινήσεων που προέκυψε, κατανεμήθηκε σε ωριαία ζήτηση, χρησιμοποιώντας παράγοντες προσαρμογής για κάθε ώρα της ημέρας.

Μετά τη δημιουργία των μοντέλων προσφοράς και ζήτησης, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των δύο μοντέλων. Η ανάλυση έγινε με χρήση αλγορίθμου δυναμικού καταμερισμού, και συγκεκριμένα του δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας χρηστών (Dynamic User Equilibrium). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένου αλγορίθμου είναι ότι μπορεί να μοντελοποιήσει το φαινόμενο της διάδοσης της συμφόρησης στους ανάντη συνδέσμους (spill - back), δηλαδή οι χωρητικότητες ανάντη των σημείων που προκαλούν τη συμφόρηση μειώνονται έτσι ώστε να μην υπερβαίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης (μέγιστη πυκνότητα) των συνδέσμων. Επιπλέον, το μοντέλο επιλογής διαδρομής μπορεί να υιοθετήσει είτε μία ντετερμινιστική προσέγγιση, όπου φορτίζονται οι διαδρομές με το μικρότερο γενικευμένο κόστος, είτε μία στοχαστική προσέγγιση, όπου το γενικευμένο κόστος προκύπτει έτσι ώστε να αντικατοπτρίζονται οι υποκειμενικές αντιλήψεις των μετακινούμενων, είτε συνδυασμό των δύο.

Έχοντας δημιουργήσει το συγκοινωνιακό μοντέλο της Αθήνας, αναπτύχθηκαν εν συνεχεία τα σενάρια που αφορούν τη μελέτη του μέτρου των αστικών διοδίων. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι η ζώνη χρέωσης θα είναι αντίστοιχη με τα όρια του υπάρχοντος δακτυλίου, ότι η χρέωση θα είναι σταθερή κατά τη χρονική διάρκεια ισχύος του μέτρου, καθώς και ότι η συλλογή των διοδίων θα γίνεται κατά την είσοδο στη ζώνη χρέωσης και θα είναι ανεξάρτητη από τη χρονική διάρκεια παραμονής εντός αυτής ή τη διανυθείσα απόσταση. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση ευαισθησίας με άξονες την τιμή του αστικού διοδίου και το συνολικό επίπεδο ζήτησης. Για τα διαφορετικά σενάρια που εξετάστηκαν, προέκυψαν διαφορετικά στοιχεία για την περίοδο ανάλυσης, τα οποία κατέδειξαν τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των επιπτώσεων από την επιβολή του μέτρου των αστικών διοδίων.

6.2. Μοντέλο Προσφοράς Μετακίνησης

Το μοντέλο προσφοράς αναπαριστά το διαθέσιμη οδική υποδομή και περιγράφει τη χωρική και χρονική δομή της. Περιλαμβάνει όλα εκείνα τα στοιχεία που καθορίζουν τη χωρητική ικανότητα του οδικού συστήματος καθώς και τους κανόνες λειτουργίας του. Το μοντέλο προσφοράς που αναπτύχθηκε αντιστοιχεί μόνο στα ιδιωτικά συστήματα μεταφορών, και δεν συμπεριλαμβάνει τις υποδομές που αντιστοιχούν στα δημόσια συστήματα μεταφορών (π.χ. γραμμές Μετρό, λεωφορειολωρίδες κλπ). Τα αντικείμενα τα οποία απαρτίζουν το μοντέλο συνοπτικά είναι οι κυκλοφοριακές ζώνες, οι σύνδεσμοι (οδοί), οι σύνδεσμοι κεντροειδών καθώς και οι στρέφουσες κινήσεις στις διασταυρώσεις των συνδέσμων. Τα παραπάνω αντικείμενα έχουν σαν στόχο την περιγραφή των χαρακτηριστικών και των δυνατοτήτων του ιδιωτικού συστήματος μεταφορών της πόλης που μελετάται. Η δημιουργία του μοντέλου πραγματοποιήθηκε τμηματικά με τη χρήση διάφορων λογισμικών προγραμμάτων, κατάλληλα ώστε να μπορεί να προκύψει ένα όσο το δυνατόν ολοκληρωμένο μοντέλο χωρίς ασυνέχειες και ασυμβατότητες μεταξύ των αντικειμένων που το απαρτίζουν.

6.2.1. Κυκλοφοριακές ζώνες

Οι κυκλοφοριακές ζώνες ως αντικείμενα χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τις περιοχές και τη θέση τους στο χώρο, από όπου προέρχονται και κατευθύνονται όλες οι μετακινήσεις που πραγματοποιούνται στο δίκτυο. Οι κυκλοφοριακές ζώνες αποτελούν τα σημεία σύνδεσης μεταξύ των μοντέλων προσφοράς και ζήτησης και επιτρέπουν τη μελέτη των αλληλεπιδράσεων τους. Οι κυκλοφοριακές ζώνες στην παρούσα μελέτη καθορίστηκαν με κριτήριο ώστε τα όρια τους να αντιστοιχούν με τα διοικητικά όρια των δήμων και των κοινοτήτων του νομού Αττικής. Οι δήμοι και οι κοινότητες που ορίστηκαν ως κυκλοφοριακές ζώνες αφορούν το σύνολο του νομού Αττικής, με εξαίρεση κάποιες κοινότητες στο βόρειο τμήμα του νομού (Μαραθώνας, Αφίδναι, Καπανδρίτι κ.α.) όπου θεωρήθηκαν ότι οι μετακινήσεις που παράγουν ή προσελκύουν δεν μπορούν να επηρεάσουν το υπόλοιπο δίκτυο ώστε να αξίζει να ληφθούν υπόψη κατά τη δημιουργία του μοντέλου. Εξαίρεση στον τρόπο καθορισμού των ορίων των κυκλοφοριακών ζωνών του δικτύου αποτελεί ο δήμος Αθήνας. Ο συγκεκριμένος δήμος συγκεντρώνει τα μεγαλύτερα ποσοστά μετακινήσεων και αποτελεί τη ζώνη άμεσης επιρροής του θέματος που μελετάται, για αυτόν το λόγο επιλέχθηκε να αναπαρίσταται από επτά επιμέρους κυκλοφοριακές ζώνες, οι οποίες καθορίστηκαν βάσει των διοικητικών ορίων των επτά δημοτικών διαμερισμάτων του δήμου.

Ο καθορισμός των κυκλοφοριακών ζωνών όπως αναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε με κριτήριο να συμπίπτουν τα όρια τους με τα αντίστοιχα διοικητικά. Η δημιουργία των κυκλοφοριακών ζωνών προέκυψε με ψηφιοποίηση των διοικητικών ορίων των περιοχών με το λογισμικό Google Earth. Αρχικά, έγινε η προσαρμογή μίας εικόνας με τα όρια όλων των δήμων και κοινοτήτων, στην δορυφορική απεικόνιση της Αττικής από το Google Earth. Κατά την προσαρμογή έγινε προσπάθεια να εξαιρεθούν πιθανές παραμορφώσεις, χρησιμοποιώντας σαν κριτήρια και θέσεις προσαρμογής τις ακτογραμμές του νομού καθώς και κεντρικούς οδούς που ορίζουν διοικητικά όρια. Η ακρίβεια προσαρμογής της εικόνας στη δορυφορική απεικόνιση δεν απαιτείται να είναι ιδιαίτερα υψηλή, αφού αυτό που μας ενδιαφέρει άμεσα και αξιοποιείται από το μοντέλο, είναι ο καθορισμός των κεντροειδών των ζωνών. Στη συνέχεια, έχοντας ολοκληρώσει την προσαρμογή της εικόνας, χρησιμοποιώντας τη δυνατότητα εισαγωγής γραφικών μονοπατιών (add path) του λογισμικού, ψηφιοποιήθηκαν τα διοικητικά όρια ως κλειστά μονοπάτια, αντιστοιχίζοντας σε κάθε μονοπάτι το όνομα της αντίστοιχης διοικητικής υποδιαίρεσης που περικλείεται από αυτό. Το αρχείο που περιείχε όλα τα ψηφιοποιημένα μονοπάτια αποθηκεύθηκε σε αρχείο μορφής .kml και στη συνέχεια εισήχθη στο λογισμικό δημιουργίας και διαχείρισης γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, ArcGIS της ESRI. Το αρχείο μετατράπηκε με τη χρήση των κατάλληλων επιπρόσθετων, σε αρχείο shapefile (.shp) αφού πρώτα είχε πραγματοποιηθεί ο

κατάλληλος μετασχηματισμός στις συντεταγμένες των αντικειμένων του ώστε να παραμένουν αναλλοίωτα τα μήκη και οι σχετικές θέσεις μεταξύ τους. Επίσης, διεξήχθη τακτοποίηση των ορίων ώστε να μην επικαλύπτονται μεταξύ τους. Το αρχείο που προέκυψε από την παραπάνω διαδικασία περιείχε τα χαρακτηριστικά των κυκλοφοριακών ζωνών που απαιτούνται για τον καθορισμό τους. Συγκεκριμένα περιείχε, το όνομα κάθε κυκλοφοριακής ζώνης, τις συντεταγμένες του κεντροειδούς της καθώς και την έκταση της.



Εικόνα 6. 1: Τα ψηφιοποιημένα διοικητικά όρια των επιλεγμένων κυκλοφοριακών ζωνών (Google Earth)

Το αρχείο shapfile που εισήχθη στη συνέχεια στο λογισμικό σχεδιασμού μεταφορών VISUM της PTV AG. Το εν λόγω πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να διαβάζει αρχεία γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών καθώς και να επιτρέπει την επεξεργασία των δεδομένων τους. Έτσι, κατά την εισαγωγή του αρχείου στο VISUM καθορίστηκε η αντιστοίχιση μεταξύ των χαρακτηριστικών των αντικειμένων του αρχείου shapfile, και των απαραίτητων χαρακτηριστικών των κυκλοφοριακών ζωνών του VISUM. Μετά την αντιστοίχιση αυτή, τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων του αρχείου είχαν πλέον επιτυχημένα ενσωματωθεί στο λογισμικό σχεδιασμού. Ωστόσο, το VISUM απαιτεί για κάθε κυκλοφοριακή ζώνη ένα μοναδικό αριθμό (κωδικό), ώστε να είναι πλήρης και λειτουργική η βάση δεδομένων που αφορά τις κυκλοφοριακές ζώνες του δικτύου. Ο αριθμός αυτός καθορίστηκε χειροκίνητα για κάθε ζώνη με τη χρήση του ArcGIS, χρησιμοποιώντας την κωδικοποίηση που χρησιμοποιεί ο Ο.Α.Σ.Α. για κάθε Ο.Τ.Α.. Η επιλογή της κωδικοποίησης έγινε έτσι ώστε να είναι δυνατή η αξιοποίηση δεδομένων που προέρχονται από τον Ο.Α.Σ.Α. και σχετίζονται με τις κυκλοφοριακές ζώνες (μητρώο μετακινήσεων).

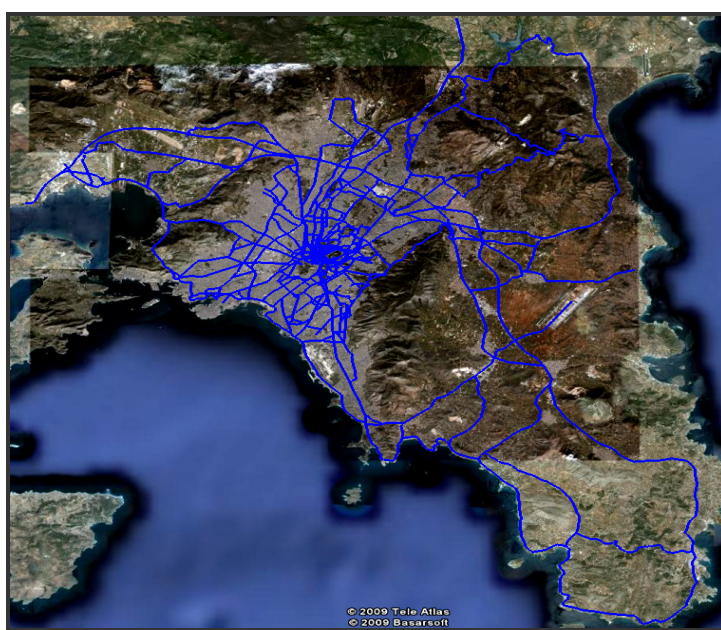
6.2.2. Σύνδεσμοι

Οι σύνδεσμοι (links) ως αντικείμενα χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τους οδικούς άξονες του δικτύου. Αποτελούν τα αντικείμενα μέσω των οποίων πραγματοποιούνται όλες οι μετακινήσεις στο δίκτυο. Η οδική υποδομή του δικτύου αποτελείται από χιλιάδες συνδέσμους, το σύνολο των οποίων συνιστά το πλήρες δίκτυο. Ωστόσο, η αναπαράσταση όλων των πραγματικών συνδέσμων του δικτύου στο μοντέλο προσφοράς δεν είναι δυνατόν να υλοποιηθεί στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αφού αποτελεί ιδιαίτερα χρονοβόρα και δύσκολη διαδικασία. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε να αναπαρασταθούν στο μοντέλο προσφοράς οι κεντρικοί οδικοί άξονες της πόλης, οι οποίοι

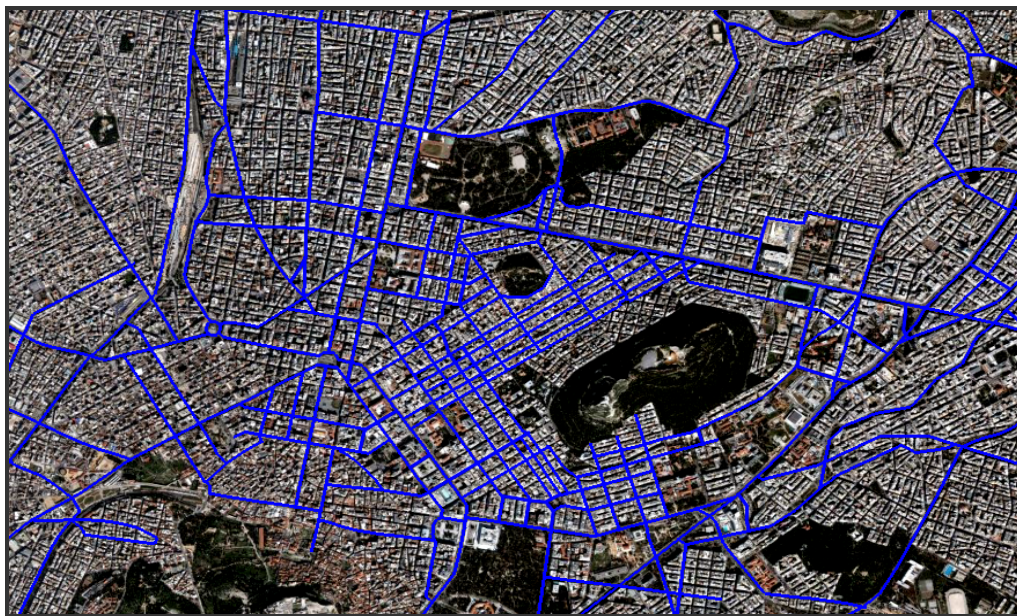
θεωρείται ότι εξυπηρετούν και το μεγαλύτερο μέρος των μετακινήσεων που παράγονται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με δεδομένο το στόχο της διερεύνησης των επιπτώσεων της επιβολής αστικών διοδίων στο οδικό δίκτυο του κέντρου της πόλης, κρίθηκε σκόπιμη η λεπτομερέστερη αναπαράσταση του οδικού δικτύου που βρίσκεται εντός της ζώνης χρέωσης (δακτύλιος), καθώς και περιφερειακά αυτής. Συνοψίζοντας, το μοντέλο προσφοράς που σχεδιάστηκε αποτελείται από τους κεντρικούς οδικούς άξονες της πόλης, καθώς και από μεγάλο μέρος του οδικού δικτύου της ζώνης άμεσης επιρροής του μέτρου που μελετάται.

Η δημιουργία του επιλεγμένου οδικού δικτύου της πόλης, υλοποιήθηκε με τη διαδικασία της ψηφιοποίησης με τη χρήση του λογισμικού Google Earth, και την επεξεργασία με τα λογισμικά προγράμματα ArcGIS και VISUM, όπως ακριβώς ακολουθήθηκε κατά τον καθορισμό των κυκλοφοριακών ζωνών και περιγράφηκε παραπάνω. Το αρχείο που προέκυψε από τη ψηφιοποίηση περιείχε δεδομένα σχετικά με την ονομασία των οδών, το μήκος καθώς και τις συντεταγμένες τους. Για κάθε σύνδεσμο απαιτήθηκε και ένας μοναδικός αριθμός (κωδικός), ώστε να μπορεί το αρχείο να εισαχθεί στο VISUM. Ο αριθμός αυτός καθορίστηκε αυτόματα από το ArcGIS, ωστόσο για τους συνδέσμους διπλής κατεύθυνσης, η κάθε κατεύθυνση κυκλοφορίας θεωρείται ξεχωριστός σύνδεσμος που μοιράζεται τον ίδιο αριθμό συνδέσμου με τον αντίθετης κατεύθυνσης σύνδεσμο. Επίσης, από το ίδιο λογισμικό δόθηκε σε κάθε διασταύρωση συνδέσμων ένας μοναδικός αριθμός. Οι σύνδεσμοι ορίζονται από τον κόμβο αρχής και πέρατος, έτσι ώστε από το συνδυασμό των κωδικών του συνδέσμου και των κόμβων που το ορίζουν, να περιγράφεται ένας μοναδικός σύνδεσμος.

Μετά την εισαγωγή των αντικειμένων με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά τους στο VISUM, απαιτήθηκε η εισαγωγή επιπλέον χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των οδών. Αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η χωρητικότητα κάθε οδού, ο αριθμός των λωρίδων κυκλοφορίας, η μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα διέλευσης για κάθε τύπο μέσου, τα επιτρεπτά συστήματα μεταφορών καθώς και πιθανές χρεώσεις χρήσης (διόδια). Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εισήχθησαν χειροκίνητα με τη χρήση σαφών κανόνων και προτύπων, ώστε να επιτυγχάνεται μία ομοιογενή δομή των χαρακτηριστικών των συνδέσμων που συνιστούν το δίκτυο. Επίσης, εισήχθησαν και χρονικές μεταβλητές που σχετίζονται με πιθανές χρεώσεις χρήσης (αστικά διόδια), όπου καθορίστηκε η τιμή της χρέωσης καθώς και η χρονική διάρκεια ισχύος της. Ο χρόνος προσπέλασης του συνδέσμου για την ταχύτητα ελεύθερης ροής, υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα λαμβάνοντας υπόψη το μήκος και την μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα διέλευσης, ενώ ο χρόνος προσπέλασης του συνδέσμου για δεδομένη ζήτηση προκύπτει από το επίπεδο δυσκολίας της κίνησής των οχημάτων σε αυτό και το χρόνο ελεύθερης ροής.



Εικόνα 6. 2: Το σύνολο των ψηφιοποιημένων οδικών αξόνων της πόλης (Google Earth)



Εικόνα 6. 3: Οι ψηφιοποιημένοι οδικοί άξονες του κέντρου της πόλης (Google Earth)

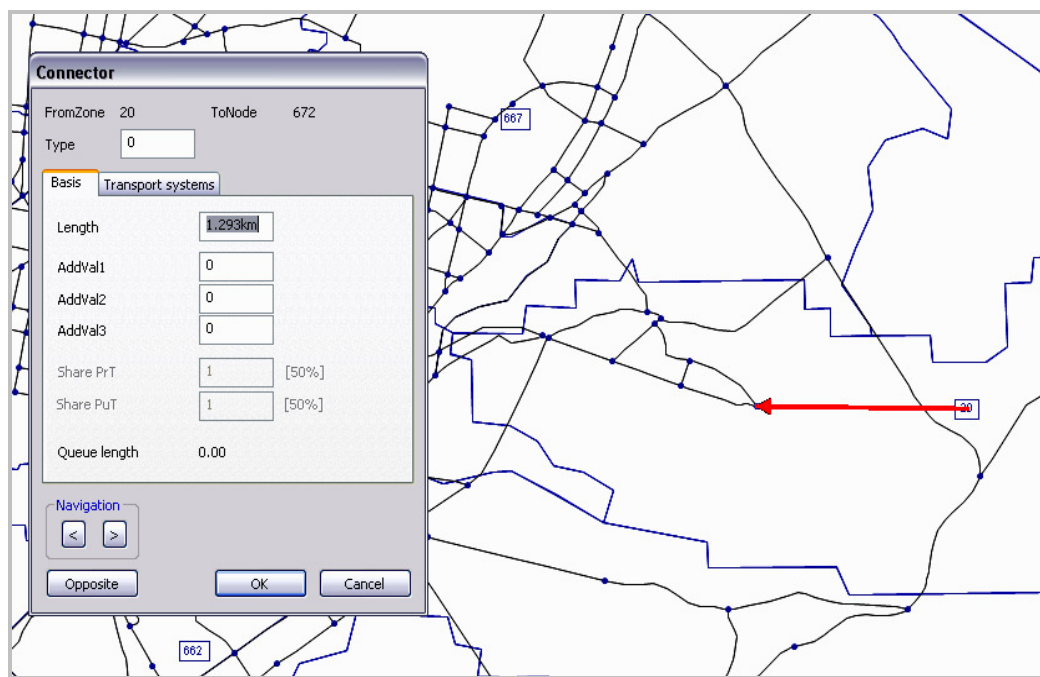
6.2.3. Σύνδεσμοι κεντροειδών

Οι σύνδεσμοι κεντροειδών (connectors) ως αντικείμενα χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των κυκλοφοριακών ζωνών με το δίκτυο συνδέσμων. Αναπαριστούν την απόσταση του κέντρου βάρους της ζώνης (κεντροειδές) από τους κόμβους του δικτύου με τους οποίους έχει οριστεί ότι συνδέεται. Ουσιαστικά αποτελούν τα σημεία εισόδου και εξόδου από κάθε ζώνη, με δεδομένο ότι οι ζώνες αποτελούν τις χωρικές οντότητες του μοντέλου από όπου προέρχονται και κατευθύνονται οι μετακινήσεις, και οι οποίες δεν συνδέονται άμεσα με το δίκτυο συνδέσμων.

Οι σύνδεσμοι κεντροειδών ορίστηκαν με τη χρήση του λογισμικού VISUM. Τα χαρακτηριστικά τους τα οποία απαιτούνται για τη δημιουργία του μοντέλου προσφοράς, αφορούν δεδομένα σχετικά με τον τρόπο σύνδεσης κάθε ζώνης με το υπόλοιπο δίκτυο. Συγκεκριμένα, για κάθε ζώνη ορίστηκε τουλάχιστον ένας σύνδεσμος κεντροειδούς. Ο σύνδεσμος αυτός περιγράφεται από τον αριθμό της ζώνης την οποία συνδέει με το δίκτυο, τον κωδικό του κόμβου με τον οποίο συνδέεται κάθε ζώνη, την κατεύθυνση του κόμβου (προέλευσης – προορισμού), τα επιτρεπτά ιδιωτικά συστήματα μεταφορών και τον τρόπο κατανομής της ζήτησης σε αυτόν. Επιπλέον απαραίτητα χαρακτηριστικά των συνδέσμων κεντροειδών, αποτελούν τα στοιχεία εκείνα που καθορίζουν τη διάρκεια και το μήκος της μετακίνησης εντός των συνδέσμων. Το μήκος και ο χρόνος προσπέλασης για ταχύτητα ελεύθερης ροής των συνδέσμων, υπολογίστηκαν αυτόματα από το πρόγραμμα λαμβάνοντας υπόψη για το πρώτο τις συντεταγμένες αρχής και πέρατος του, ενώ για το χρόνο προσπέλασης χρησιμοποιήθηκε η μέγιστη ταχύτητα προσπέλασης και το μήκος. Η μέγιστη ταχύτητα προσπέλασης θεωρήθηκε για όλους τους συνδέσμους ίση με 50 km/h. Το μήκος και ο χρόνος μπορούν να καθοριστούν και χειροκίνητα εάν θεωρηθεί ότι δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα οι αυτόματα υπολογισμένες τιμές τους.

Η κατανομή της ζήτησης στους συνδέσμους επιλέχθηκε να είναι ελεύθερη, δηλαδή κατά τη διαδικασία επιλογής διαδρομής λαμβάνεται υπόψη μόνο ο χρόνος προσπέλασης κάθε συνδέσμου κεντροειδούς, ο οποίος προκύπτει από την ζήτηση για μετακίνηση και το χρονικό κόστος διέλευσης του συνδέσμου (impedance) για την αντίστοιχη τιμή της ζήτησης. Για να αποφευχθεί η υπερφόρτιση του δικτύου σε συγκεκριμένες θέσεις, που πιθανόν να φορτίζονται σε μεγάλο βαθμό και κατά τον καταμερισμό στο δίκτυο, επιλέχθηκε οι σύνδεσμοι κεντροειδών να συνδέονται με κόμβους του δικτύου όπου η έξοδος των οχημάτων από τις ζώνες να μην προκαλούν άμεσα κυκλοφοριακά προβλήματα, έναντι των κατευθύνσεων

κυκλοφορίας. Για αυτόν το λόγο, δημιουργήθηκαν “τεχνητοί” κόμβοι στο δίκτυο και χρησιμοποιήθηκαν ως κόμβοι εξόδου από τις ζώνες, σε σημεία όπου θεωρήθηκε ότι δεν επιδρούν άμεσα στην κυκλοφοριακή λειτουργία/ ικανότητα του σημείου σύνδεσης, τα εισερχόμενα οχήματα στο δίκτυο. Με δεδομένο ότι οι μετακινήσεις προς και από τη κυκλοφοριακή ζώνη διαφοροποιούνται σχετικά με τη θέση του προορισμού ή της προέλευσης τους, κρίθηκε σκόπιμη η δημιουργία περισσότερων του ενός συνδέσμου κεντροειδούς, ώστε να αντιστοιχούν περισσότερα σημεία εισόδου και εξόδου από τις ζώνες. Επιπλέον, με την παραπάνω μέθοδο, αποφεύγεται η τοπική υπερφόρτιση λόγω εισροής οχημάτων σε συγκεκριμένους κόμβους και συνδέσμους του δικτύου, όπου κανονικά δεν θα έπρεπε να εντοπίζονται προβλήματα.



Εικόνα 6. 4: Ο καθορισμός των συνδέσμων κεντροειδών και των χαρακτηριστικών τους στο VISUM

6.2.4. Στρέφουσες κινήσεις

Οι στρέφουσες κινήσεις ως αντικείμενα υποδηλώνουν ποιες κινήσεις επιτρέπεται να πραγματοποιηθούν σε έναν κόμβο. Οι στρέφουσες κινήσεις μολονότι δεν αποτελούν αντικείμενα ως χωρικές οντότητες, ωστόσο λαμβάνονται υπόψη κατά τον καταμερισμό ως σύνδεσμοι. Η μόνη διαφορά τους από τους συνδέσμους είναι ότι οι στρέφουσες κινήσεις δεν έχουν μήκος. Για αυτό το λόγο για κάθε στρέφουσα κίνηση καθορίζεται από την χρονική καθυστέρηση για την πραγματοποίηση της από κάθε όχημα, καθώς και την χωρητικότητά της σε οχήματα. Όπως και στους συνδέσμους, για κάθε στρέφουσα κίνηση καθορίζονται τα επιτρεπτά συστήματα μεταφορών. Ο καθορισμός των παραπάνω χαρακτηριστικών πραγματοποιήθηκε με χειροκίνητη παρέμβαση με το λογισμικό VISUM, όπου με τη χρήση σαφών κανόνων καθορίστηκαν οι χωρητικότητες και οι χρονικές καθυστερήσεις που αντιστοιχούν σε κάθε στρέφουσα κίνηση. Οι επιτρεπτές κινήσεις σε κάθε κόμβο εισήχθησαν μεμονωμένα, λαμβάνοντας υπόψη τις πραγματικές στρέφουσες κινήσεις που μπορούν να πραγματοποιηθούν σε κάθε κόμβο του δικτύου.

Οι χωρητικότητες των στρεφουσών κινήσεων καθορίστηκαν βάσει των χωρητικότητων των οδών που διασταυρώνονται καθώς και τον τύπο του κόμβου. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της ύπαρξης φωτεινού σηματοδότη, υπολογίστηκαν προσεγγιστικά οι χρόνοι πράσινης ένδειξης που αντιστοιχούν σε κάθε κίνηση και διαιρώντας τους χρόνους αυτούς με τον αντίστοιχο κύκλο των φαναριών, προέκυψε το ποσοστό της χωρητικότητας για κάθε κίνηση

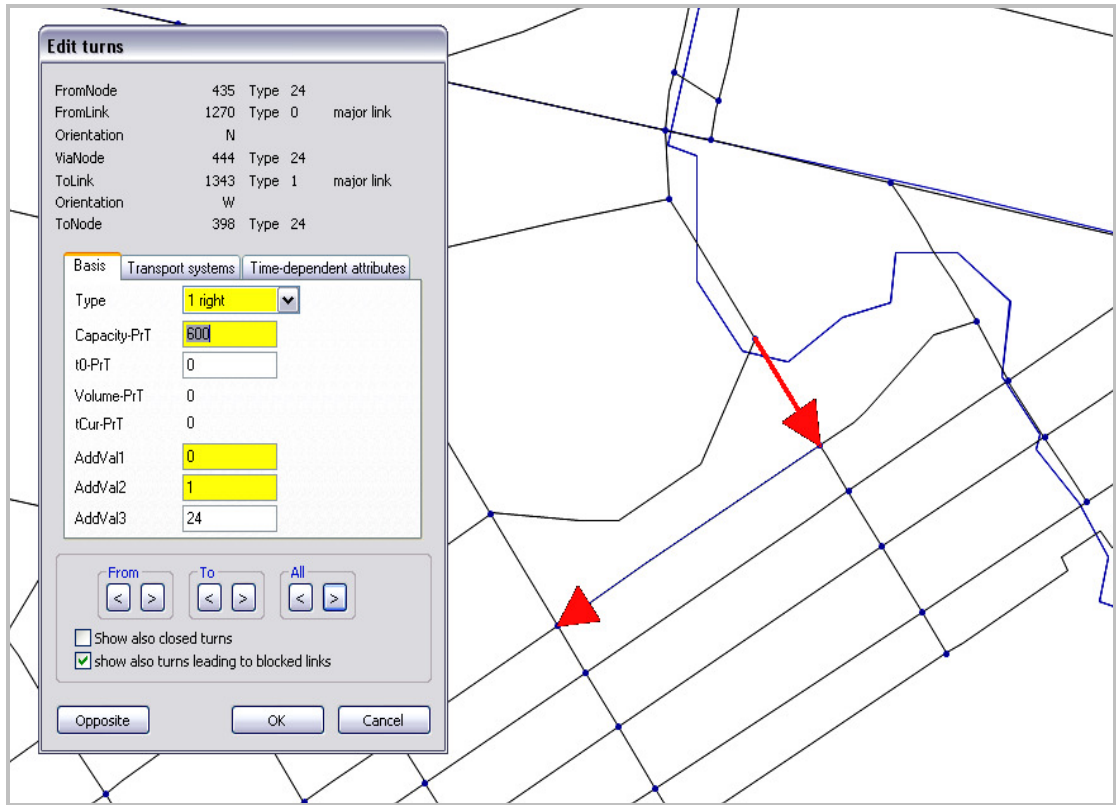
που μπορεί να εξυπηρετηθεί σε ωριαία βάση. Το ποσοστό αυτό πολλαπλασιαζόμενο με την αντίστοιχη χωρητικότητα των λωρίδων κυκλοφορίας που μπορούν να πραγματοποιήσουν κάθε κίνηση, προέκυψαν οι χωρητικότητες για κάθε στρέφουσα κίνηση σε κόμβο με φωτεινό σηματοδότη. Στην περίπτωση όπου μία λωρίδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περισσότερες από μία κινήσεις (π.χ. ευθεία και δεξιά κίνηση), λαμβάνεται υπόψη για τον καθορισμό της χωρητικότητας κάθε κίνησης η πλήρης χωρητικότητα της λωρίδας. Το πρόγραμμα ανάλογα με τις ροές κυκλοφορίας που προκύπτουν κατά τον καταμερισμό, διανέμει την πραγματική χωρητικότητα της λωρίδας.

Στην περίπτωση του κόμβου με ύπαρξη σημάτων παραχώρησης προτεραιότητας (Stop), οι χωρητικότητες των κινήσεων με προτεραιότητα τέθηκαν ίσες με άπειρες (9999 veh/h), δηλαδή δεν υπάρχει περιορισμός στην χωρητικότητα αυτών πέρα από τη χωρητικότητα του συνδέσμου όπου εισέρχονται, ενώ η χωρητικότητα των δευτερευόντων κινήσεων καθορίζεται άμεσα από την κυκλοφοριακή ροή των κινήσεων με προτεραιότητα. Έτσι, οι χωρητικότητες των δευτερευόντων στρεφουσών κινήσεων τέθηκαν ίσες με τη χωρητικότητα των λωρίδων κυκλοφορίας που δύναται να πραγματοποιήσουν κάθε στρέφουσα κίνηση, ωστόσο το ποσοστό της χωρητικότητας που θα μπορέσει να εξυπηρετηθεί θα προσδιοριστεί από τη διαθέσιμη χωρητικότητα του συνδέσμου κατεύθυνσης όπου δεν αξιοποιείται από τη ροή των κινήσεων με προτεραιότητα.

Αξίζει να αναφερθεί και ο τρόπος υπολογισμού των χωρητικοτήτων των στρεφουσών κινήσεων που εξυπηρετούνται όταν υπάρχει διάδοση της συμφόρησης ανάντη των σημείων περιορισμού της χωρητικότητας (spill-back). Όταν εμφανίζονται φαινόμενα κυκλοφοριακής συμφόρησης σε κάποιο σημείο των συνδέσμων, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα οχήματα που μπορούν να εξέλθουν από αυτόν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, είναι λιγότερα από τα οχήματα που επιθυμούν να εξέλθουν από αυτόν, δηλαδή η ζήτηση υπερβαίνει την προσφορά. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι τα οχήματα που συνεχίζουν να εισέρχονται στον κορεσμένο σύνδεσμο, να ακινητοποιούνται ανάντη του σημείου στένωσης και να δημιουργείται ουρά. Σε αυτήν την περίπτωση, η χωρητικότητα του συνδέσμου αρχίζει να μειώνεται και από ένα σημείο και έπειτα η χωρητικότητα του θα ισούται με τη χωρητικότητα εξόδου του κορεσμένου συνδέσμου, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί. Τότε και η χωρητικότητα εισόδου θα ισούται με τη χωρητικότητα εξόδου, δηλαδή θα μπορούν να εισέλθουν σε αυτόν όσα οχήματα μπορούν να εξέλθουν, αφού δεν θα υπάρχει διαθέσιμος χώρος για την αποθήκευση επιπλέον οχημάτων. Η χωρητικότητα εισόδου, τότε θα διανέμεται στις κινήσεις που έχουν κατεύθυνση προς τον κορεσμένο σύνδεσμο, αναλογικά με τη χωρητικότητα κάθε κίνησης προς τη χωρητικότητα του συνόλου των κινήσεων με κοινή κατεύθυνση, επί τη διαθέσιμη χωρητικότητα του συνδέσμου κατεύθυνσης. Τα οχήματα που δεν μπορούν να εισέλθουν στο σύνδεσμο επιλογής τους, παραμένουν στο σύνδεσμο όπου βρίσκονταν δημιουργώντας νέα προβλήματα συμφόρησης σε αυτόν. Με την περιγραφή της παραπάνω διαδικασίας, γίνεται αντιληπτός και ο τρόπος προσδιορισμού των ροών στην περίπτωση των κόμβων με σήματα παραχώρησης προτεραιότητας.

6.3. Μοντέλο Ζήτησης Μετακίνησης

Η ζήτηση για μετακίνηση προκύπτει από την ανάγκη μετάβασης από ένα σημείο του δικτύου σε ένα άλλο για την εξυπηρέτηση κάποιας ανάγκης των μετακινούμενων, και είναι αποτέλεσμα της διασποράς των χρήσεων γης στο χώρο. Οι μετακινήσεις πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας, αυτό που διαφοροποιείται όμως είναι η κατανομή των μετακινήσεων μέσα σε αυτή. Το μοντέλο ζήτησης χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει και να εισάγει στο συγκοινωνιακό μοντέλο τη ζήτηση που αντιπροσωπεύει τις πραγματικές μετακινήσεις των χρηστών του δικτύου της πόλης, συνυπολογίζοντας και τη χρονική κατανομή αυτής. Επομένως, το μοντέλο αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία, τη συνολική ημερήσια ζήτηση για μετακίνηση μεταξύ των κυκλοφοριακών ζωνών του δικτύου, καθώς και τη χρονική κατανομή της στο σύνολο της ημέρας.



Εικόνα 6. 5: Ο καθορισμός των στρεφουσών κινήσεων και των χαρακτηριστικών τους στο VISUM



Εικόνα 6. 6: Γραφική απεικόνιση συνδέσμων και κυκλοφοριακών ζωνών του δικτύου προσφοράς στο VISUM

6.3.1. Συνολική ημερήσια ζήτηση

Η συνολική ημερήσια ζήτηση, όπως αναφέρθηκε, περιλαμβάνει το σύνολο των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται μεταξύ των κυκλοφοριακών ζωνών κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Περιγράφεται από ένα μητρώο μετακινήσεων το οποίο περιέχει τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται από κάθε κυκλοφοριακή ζώνη του δικτύου, προς οποιαδήποτε άλλη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Η συνολική ημερήσια ζήτηση εμπεριέχει τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται με όλα τα πιθανά μέσα. Από το παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι οι μετακινήσεις κάθε μέσου που χρησιμοποιεί το δίκτυο, θα πρέπει να περιγράφονται από ένα επιμέρους μητρώο, έτσι ώστε να είναι διακριτή η επίδραση κάθε πιθανής μετακίνησης στο δίκτυο. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μελετήθηκαν μόνο οι μετακινήσεις που πραγματοποιούνται με ιδιωτικά μέσα, και συγκεκριμένα με ιδιωτικά οχήματα. Επομένως, το μοντέλο ζήτησης που απαιτείται, καθορίζεται από το συνολικό μητρώο ημερήσιων μετακινήσεων με Ι.Χ.

Το συνολικό μητρώο μετακινήσεων με Ι.Χ. μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε παρατηρούμενο, το οποίο έχει προκύψει από πραγματικές παρατηρήσεις και αναπαρίσταται σε αυτό η σημερινή ζήτηση, και σε υπολογισμένο, το οποίο έχει προκύψει από την ανάλυση διάφορων επιμέρους στοιχείων όπως κοινωνικοοικονομικά, διασποράς των χρήσεων γης κ.α. Το υπολογισμένο μητρώο μπορεί να έχει δύο εκφάνσεις. Η πρώτη αφορά την αποτύπωση της σημερινής ζήτησης σε αυτό, ενώ η δεύτερη αφορά την πρόβλεψη των μελλοντικών μετακινήσεων βασιζόμενοι στην πιθανή εξέλιξη των στοιχείων που επηρεάζουν τη ζήτηση. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ένα μητρώο μετακινήσεων που περιέχει τις μετακινήσεις για μία τυπική ημέρα του 1996. Ωστόσο, το συγκεκριμένο μητρώο θεωρήθηκε ότι δεν αναπαριστά την πραγματικότητα της σημερινής ζήτησης, για αυτόν το λόγο έγιναν οι απαραίτητες παρεμβάσεις σε αυτό με στόχο την αναγωγή του στη σημερινή ζήτηση.

Το μητρώο που χρησιμοποιήθηκε προέκυψε από τη Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό (Μ.Α.Μ.) το 1998 και αναπαριστά την ημερήσια ζήτηση για μετακίνηση με Ι.Χ. για το έτος 1996. Σύμφωνα με το μητρώο αυτό, οι συνολικές μετακινήσεις μεταξύ των 96 κυκλοφοριακών ζωνών του δικτύου που έχει δημιουργηθεί, ανέρχονται περίπου σε 1,8 εκατομμύρια μετακινήσεις. Ένα σημαντικό πρόβλημα που προέκυψε σχετικά με τη χρησιμοποίηση του συγκεκριμένου μητρώου, είναι ότι αναφέρεται σε μετακινήσεις μεταξύ δήμων και κοινοτήτων του νομού Αττικής, ενώ το μοντέλο της παρούσας εργασίας απαιτεί δεδομένα σε επίπεδα κυκλοφοριακών ζωνών. Με εξαίρεση το δήμο Αθήνας, οι δήμοι και οι κοινότητες του μητρώου της Μ.Α.Μ. συμπίπτουν με τις κυκλοφοριακές ζώνες που έχουν οριστεί κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του μοντέλου προσφοράς. Οι μετακινήσεις από και προς το δήμο Αθήνας εμφανίζονται συγκεντρωτικά σαν μία ζώνη στο μητρώο της Μ.Α.Μ. ενώ στο μοντέλο που αναπτύχθηκε κρίθηκε σκόπιμη η διάσπαση του σε επτά επιμέρους κυκλοφοριακές ζώνες, βάσει των ορίων των δημοτικών διαμερισμάτων του δήμου. Η συνολική ζήτηση του δήμου κατανεμήθηκε στις επτά κυκλοφοριακές ζώνες που τον απαρτίζουν, βάσει ποσόστωσης. Ο καθορισμός των ποσοστών της κατανομής της συνολικής ζήτησης του δήμου, πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά των επιμέρους ζωνών που θεωρήθηκε ότι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ζήτησης. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά βάσει των οποίων προέκυψε η ποσόστωση είναι η έκταση της ζώνης, ο πληθυσμός της καθώς και η οικονομική δραστηριότητα που αναπτύσσεται εντός αυτής. Τα ποσοστά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατανομή της ζήτησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες παρεμβάσεις που είχαν σαν στόχο την αναγωγή του μητρώου στην σημερινή ζήτηση, συνυπολογίζοντας και τις δυνατότητες του μοντέλου προσφοράς που έχει αναπτυχθεί σε προηγούμενο στάδιο. Αρχικά, θεωρήθηκε ότι η ζήτηση για μετακίνηση από και προς τα νοτιοανατολικά προάστια του νομού (Μεσόγεια κλπ), τα τελευταία 13 χρόνια έχει αυξηθεί κατά πολύ σε σχέση με το έτος βάσης του μητρώου. Στην αύξηση αυτή συνετέλεσε η οικιστική ανάπτυξη των περιοχών αυτών, καθώς και η δημιουργία νέων οδικών αξόνων (Αττική οδός) που διευκόλυναν την οδική σύνδεση τους με την περιοχή της μητρόπολης. Για τους λόγους που αναφέρθηκαν, θεωρήθηκε ότι η

ζήτηση για μετακίνηση, από και προς αυτές τις περιοχές, διπλασιάστηκε κατά τη διάρκεια των ετών που μεσολαβούν από το έτος βάσης του μητρώου έως και σήμερα.

Πίνακας 6. 1: Η ποσόστωση της ζήτησης του δήμου Αθήνας στις επτά επιμέρους κυκλοφοριακές ζώνες που τον απαρτίζουν

Κυκλοφοριακή ζώνη	Ποσοστό (%)
1 ^ο Δημοτικό Διαμέρισμα	15
2 ^ο Δημοτικό Διαμέρισμα	20
3 ^ο Δημοτικό Διαμέρισμα	8
4 ^ο Δημοτικό Διαμέρισμα	8
5 ^ο Δημοτικό Διαμέρισμα	7
6 ^ο Δημοτικό Διαμέρισμα	20
7 ^ο Δημοτικό Διαμέρισμα	22

Ο αριθμός των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται σε καθημερινή βάση στο σύνολο του νομού, έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια σε μεγάλο βαθμό. Ανεπίσημες πηγές αναφέρουν ότι στο τρέχων έτος, το σύνολο των ημερήσιων μετακινήσεων με Ι.Χ. ανέρχεται περίπου σε τέσσερα εκατομμύρια. Το παραπάνω μέγεθος δεν αποτέλεσε κρίσιμο στοιχείο για τον προσδιορισμό του μοντέλου προσφοράς, ωστόσο χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή συγκρίσεων με το μητρώο που εν τέλει εισήχθη στο μοντέλο. Το μοντέλο προσφοράς που έχει αναπτυχθεί διαδραματίζει σημαντικό ρόλο κατά τον προσδιορισμό του μητρώου συνολικών μετακινήσεων, αφού το μοντέλο προσφοράς δεν αναπαριστά το σύνολο του δικτύου αλλά μέρος αυτού. Επομένως, με επαναληπτικές πειραματικές διαδικασίες ορίστηκε ότι το μητρώο που έχει προκύψει μετά και την προσαύξηση των μετακινήσεων από και προς τα Μεσόγεια, πρέπει να υποστεί μία αύξηση της τάξης του 10 % ώστε να αναπαριστά σε ικανοποιητικό βαθμό τη σημερινή ζήτηση. Το μητρώο που προέκυψε εν τέλει, περιλαμβάνει περίπου 2,2 εκατομμύρια ημερήσιες μετακινήσεις, για το τρέχων έτος (2009). Από τη σύγκριση του συνόλου των μετακινήσεων που προέκυψε από τις παραπάνω αναγωγές, με αυτό που προβλέπουν οι ανεπίσημες πηγές, προκύπτει μία τάξη μεγέθους για το ποσοστό της πραγματικής ζήτησης που μπορεί να εξυπηρετήσει το μοντέλο προσφοράς που σχεδιάστηκε. Το ποσοστό αυτό ανέρχεται περίπου στο 55 % επί της πραγματικής ζήτησης, ποσοστό αναμενόμενο αφού κατά τη δημιουργία του μοντέλου συμπεριλήφθηκαν σε αυτό μόνο οι κεντρικοί οδικοί άξονες του δικτύου, και όχι το σύνολο τους. Οι ενδοζωνικές μετακινήσεις αφαιρέθηκαν από το τελικό μητρώο που προέκυψε, αφού θεωρήθηκε ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτών εξυπηρετούνται από δευτερεύοντες οδούς, οι οποίοι και δεν έχουν εισαχθεί στο μοντέλο.

6.3.2. Χρονική κατανομή ζήτησης

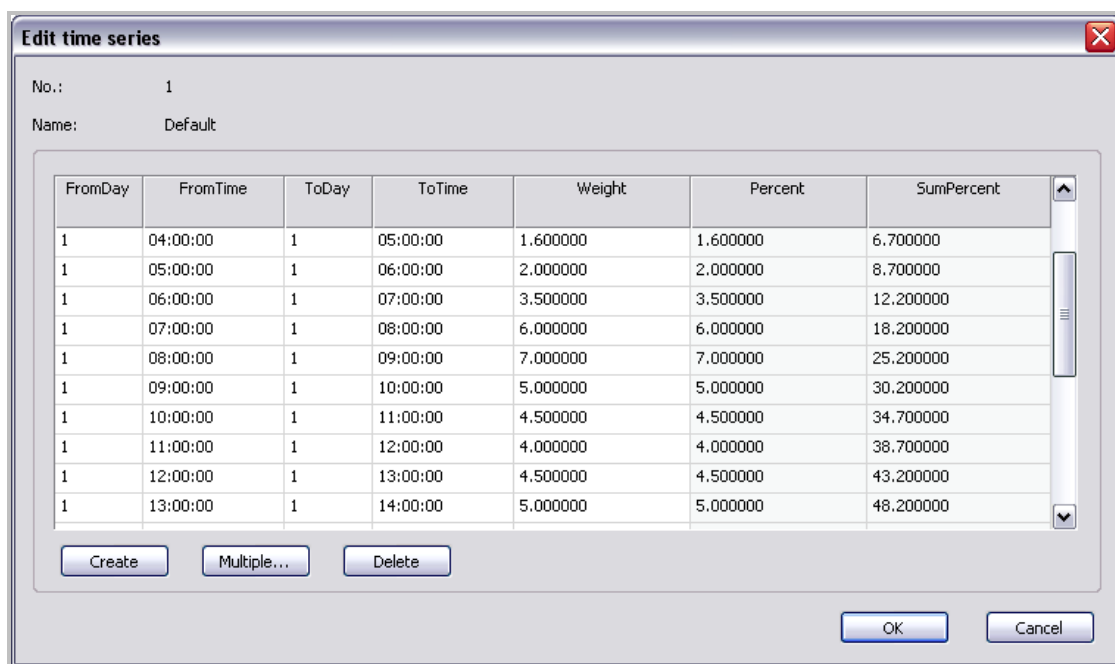
Μετά τον προσδιορισμό του μητρώου της συνολικής ημερήσιας ζήτησης, απομένει ο καθορισμός της χρονικής κατανομής αυτής στα χρονικά διαστήματα της ημέρας. Η χρονική κατανομή των μετακινήσεων στα χρονικά διαστήματα περιγράφεται από την ώρα έναρξης αυτών, καθώς και από την κατανομή της καμπύλης ζήτησης που προκύπτει. Τα παραπάνω στοιχεία, λαμβάνονται υπόψη ως χρονικές σειρές κατά τη διαδικασία του δυναμικού καταμερισμού των μετακινουμένων στο δίκτυο, και έχουν σαν στόχο να περιγράψουν τη δυναμική μεταβολή της ζήτησης. Στις περιπτώσεις των στατικών αλγορίθμων καταμερισμού, οι χρονικές αυτές σειρές δεν λαμβάνονται υπόψη.

Οι χρονικές σειρές καθορίζουν την ποσόστωση του συνόλου των μετακινήσεων, βάσει της επιθυμητής ώρας αναχώρησης, στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα. Επομένως, για κάθε χρονικό διάστημα αντιστοιχίζεται μέσω αυτών, ένα επιμέρους μητρώο ζήτησης σε κάθε διάστημα. Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε η αντιστοίχιση αυτή να πραγματοποιηθεί σε επίπεδο ωρών. Για κάθε ώρα της ημέρας, ορίστηκε ένα ποσοστό του συνολικού ημερήσιου μητρώου μετακινήσεων, που περιγράφει τις μετακινήσεις που είναι επιθυμητές να

πραγματοποιηθούν εντός του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Θεωρήθηκε ότι κατά την ώρα αιχμής, όπου και παρουσιάζεται η υψηλότερη ζήτηση για μετακίνηση, αντιστοιχεί ένα ποσοστό της τάξης του 7 % επί των συνολικών ημερήσιων μετακινήσεων. Στην παρούσα εργασία μελετούνται οι επιπτώσεις της επιβολής χρέωσης για χρήση τμήματος του δικτύου, κατά το διάστημα της πρωινής αιχμής. Για να μπορεί να πραγματοποιηθεί η μελέτη των επιπτώσεων, κρίθηκε σκόπιμη η φόρτιση του δικτύου πριν την εμφάνιση της αιχμής. Επομένως, ως χρονική περίοδος ανάλυσης ορίστηκε το διάστημα από τις 4 π.μ. έως τις 12 π.μ.. Για τις ώρες που συμπεριλαμβάνονται στο παραπάνω διάστημα, αντιστοιχίστηκαν τα ποσοστά της συνολικής ημερήσιας ζήτησης που εμφανίζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 6. 2: Τα ποσοστά της συνολικής ημερήσιας ζήτησης που αντιστοιχούν σε κάθε ώρα της περιόδου ανάλυσης

Χρονικό διάστημα	Ποσοστό επί της συνολικής ημερήσιας ζήτησης (%)
4πμ - 5πμ	1,6
5πμ - 6πμ	2
6πμ - 7πμ	3,5
7πμ - 8πμ	6
8πμ - 9πμ	7
9πμ - 10πμ	5
10πμ - 11πμ	4,5
11πμ - 12πμ	4



Εικόνα 6. 7: Η εισαγωγή των ποσοστών της συνολικής ημερήσιας ζήτησης που αντιστοιχούν σε κάθε ώρα της περιόδου ανάλυσης στο VISUM

6.4. Αλγόριθμος Δυναμικού Καταμερισμού

Μετά τη δημιουργία των μοντέλων προσφοράς και ζήτησης, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των δύο μοντέλων. Η ανάλυση έγινε με χρήση αλγόριθμου δυναμικού καταμερισμού, και συγκεκριμένα δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας χρηστών (Dynamic User Equilibrium). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διαδικασίας καταμερισμού είναι ότι μπορεί να μοντελοποιήσει το φαινόμενο της διάδοσης της συμφόρησης στους ανάντη συνδέσμους (spill - back), δηλαδή οι χωρητικότητες ανάντη των

σημείων που προκαλούν τη συμφόρηση μειώνονται έτσι ώστε να μην υπερβαίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης (μέγιστη πυκνότητα) των συνδέσμων. Επιπλέον, το μοντέλο επιλογής διαδρομής μπορεί να υιοθετήσει είτε μία ντετερμινιστική προσέγγιση, όπου φορτίζονται οι διαδρομές με το μικρότερο γενικευμένο κόστος, είτε μία στοχαστική προσέγγιση, όπου το γενικευμένο κόστος προκύπτει έτσι ώστε να αντικατοπτρίζονται οι υποκειμενικές αντιλήψεις των μετακινούμενων. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε το ντετερμινιστικό μοντέλο επιλογής διαδρομής. Η λειτουργία και η δομή του αλγόριθμου έχουν αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, εν τούτοις θα αναλυθούν τα χαρακτηριστικά εκείνα του αλγόριθμου που εισήχθησαν και καθόρισαν τον τρόπο λειτουργίας του.

6.4.1. Γενικευμένο κόστος

Το ντετερμινιστικό μοντέλο επιλογής διαδρομής χρησιμοποιείται έτσι ώστε να καταμεριστούν οι μετακινήσεις στο δίκτυο. Το κριτήριο βάσει του οποίου υλοποιείται ο καταμερισμός και φορτίζεται το δίκτυο, είναι η ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους κάθε διαδρομής. Το γενικευμένο κόστος χρησιμοποιείται για να περιγράψει το κόστος που επωμίζεται κάθε μετακινούμενος επιλέγοντας μία διαδρομή. Κατά τον προσδιορισμό του λαμβάνεται υπόψη η χρονική διάρκεια κάθε διαδρομής, η ύπαρξη πιθανής χρέωσης για χρήση συγκεκριμένου τμήματος του οδικού δικτύου, καθώς και χρονική μετάθεση της αναχώρησης, νωρίτερα ή αργότερα από την επιθυμητή ώρα πραγματοποίησης κάθε μετακίνησης. Το γενικευμένο κόστος εκφράζεται σε χρηματικούς όρους, για το λόγο αυτό πρέπει να εκφραστεί η επίδραση των παραπάνω χαρακτηριστικών στον καθορισμό του γενικευμένου κόστους και να γίνει η αναγωγή τους σε χρηματικούς όρους. Η αναγωγή αυτή επιτυγχάνεται με τη χρήση κάποιων παραμέτρων, οι τιμές των οποίων καθορίστηκαν κατά το σχεδιασμό. Συγκεκριμένα, η εξίσωση βάσει της οποίας υπολογίζεται το γενικευμένο κόστος είναι η παρακάτω:

$$gc = a * toll + b * journeytime[h] + c * DeltaT(early)[h] + d * DeltaT(late)[h] \quad (6.1)$$

όπου:

a: η παράμετρος επίδρασης της άμεσης χρέωσης για χρήση συγκεκριμένου οδικού τμήματος του δικτύου, στο γενικευμένο κόστος,

b: η παράμετρος που προσδιορίζει το χρηματικό κόστος που προκύπτει από το χρόνο μετακίνησης, ουσιαστικά η παράμετρος αυτή αντιστοιχεί στην αξία του χρόνου των μετακινούμενων,

c: η παράμετρος που προσδιορίζει το χρηματικό κόστος της αναχώρησης νωρίτερα από την επιθυμητή ώρα,

d: η παράμετρος που προσδιορίζει το χρηματικό κόστος της αναχώρησης αργότερα από την επιθυμητή ώρα.

Η τιμή του *a* θεωρήθηκε ίση με 1, αφού η ύπαρξη χρέωσης χρήσης αποτελεί χρηματικό κόστος και δεν απαιτείται η αναγωγή του. Η παράμετρος *b* που προσδιορίζει το χρηματικό κόστος της χρονικής διάρκειας της μετακίνησης, αντιπροσωπεύει τη μέση αξία του χρόνου των μετακινούμενων. Σύμφωνα με τη μελέτη των Αντωνίου κ.α. (2007), υπολογίστηκε ότι η μέση τιμή της αξίας του χρόνου των μετακινούμενων σε υπεραστικό οδικό δίκτυο στην Ελλάδα, ισούται με 6 €/ώρα. Λόγω έλλειψης αντίστοιχων μελετών για τον προσδιορισμό της μέσης αξίας του χρόνου των μετακινούμενων στο αστικό οδικό δίκτυο, κρίθηκε ότι η συγκεκριμένη τιμή μπορεί να υιοθετηθεί και για την συγκεκριμένη περίπτωση η οποία μελετάται.

Σύμφωνα με τη μελέτη του Lam (2004), όπου χρησιμοποιείται μία αντίστοιχη εξίσωση για τον υπολογισμό του γενικευμένου κόστους μετακίνησης, οι τιμές των παραμέτρων *c* και *d* προκύπτουν σαν συνάρτηση της αξίας του χρόνου. Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$c = 0.6 * b \quad (6.2)$$

$$d = 2.4 * b \quad (6.3)$$

Βάσει των παραπάνω σχέσεων, προκύπτει ότι για την περίπτωση η οποία μελετάται, η τιμή της παραμέτρου c θα ισούται με 3,6 €/ ώρα, ενώ η τιμή της παραμέτρου d θα ισούται με 14,4 €/ ώρα. Ωστόσο, με δεδομένη τη μελέτη του διαστήματος της πρωινής αιχμής, όπου η μετάθεση του χρόνου αναχώρησης νωρίτερα από την επιθυμητή ώρα θα έχει σαν άμεση συνέπεια τη μείωση του χρόνου που αντιστοιχεί σε βασικές ανάγκες (ύπνος), κρίθηκε σκόπιμη η προσαύξηση της τιμής της παραμέτρου c . Συγκεκριμένα, η τιμή της παραμέτρου τέθηκε ίση με 4,2 €/ ώρα. Οι τιμές των παραμέτρων που τέθηκαν αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα, αφού ήταν αναμενόμενο ότι το κόστος της καθυστέρησης θα είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το κόστος της αναχώρησης νωρίτερα από την επιθυμητή ώρα. Εκτός από τις παραπάνω παραμέτρους, καθορίστηκαν και τα μέγιστα χρονικά διαστήματα που μπορούν να μετατεθούν χρονικά οι αναχωρήσεις των μετακινούμενων. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι η μέγιστη μετάθεση δεν μπορεί να ξεπερνάει το χρονικό διάστημα των 30 λεπτών, είτε αυτό αφορά νωρίτερα, είτε αργότερα από την επιθυμητή ώρα αναχώρησης.

		C Car	H HGV
1	a	1.0000	1.0000
2	b	6.0000	10.0000
3	c	4.2000	5.0000
4	d	14.4000	5.0000
5	max. DeltaT(early)	30min	0s
6	max. DeltaT(late)	30min	0s
7	Variance	0.2000	0.0000

generalized costs = a * toll + b * journey time[h] + c * DeltaT(early)[h] + d * DeltaT(late)[h]

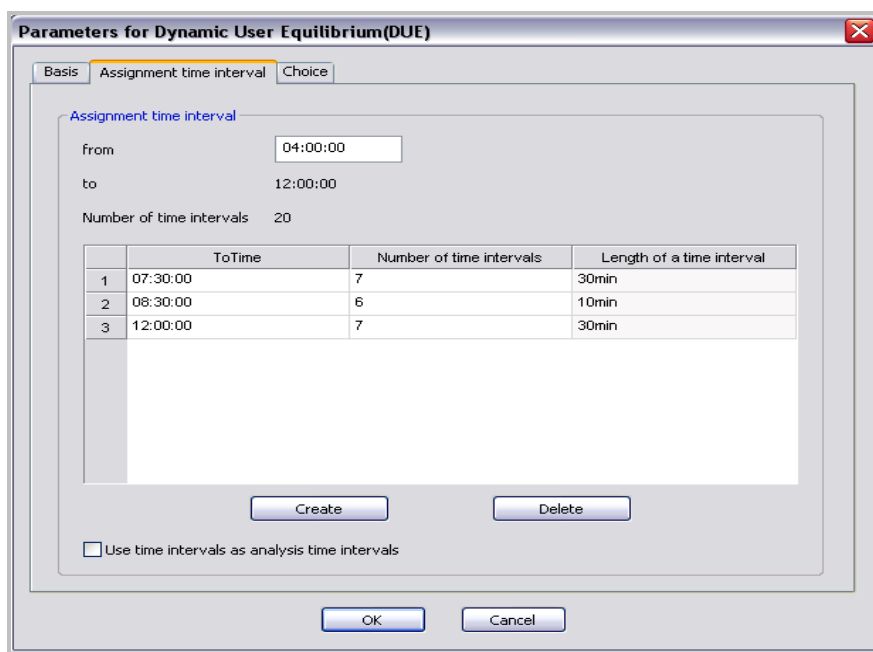
Εικόνα 6. 8: Η εισαγωγή των παραμέτρων της εξίσωσης του γενικευμένου κόστους στο VISUM

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το γενικευμένο κόστος προκύπτει σε χρηματικές μονάδες (€). Ο αλγόριθμος καταμερισμού εντοπίζει τις διαδρομές με το μικρότερο δυνατό κόστος, επομένως πρέπει να οριστεί η διακριτή τιμή του κόστους. Η διακριτή τιμή του κόστους αποτελεί την ελάχιστη τιμή της διαφοράς του κόστους, ώστε αυτή να θεωρείται μη μηδενική. Η τιμή αυτή ορίστηκε ίση με 0,01, και αντιστοιχεί σε κόστος ίσο με ένα λεπτό του €.

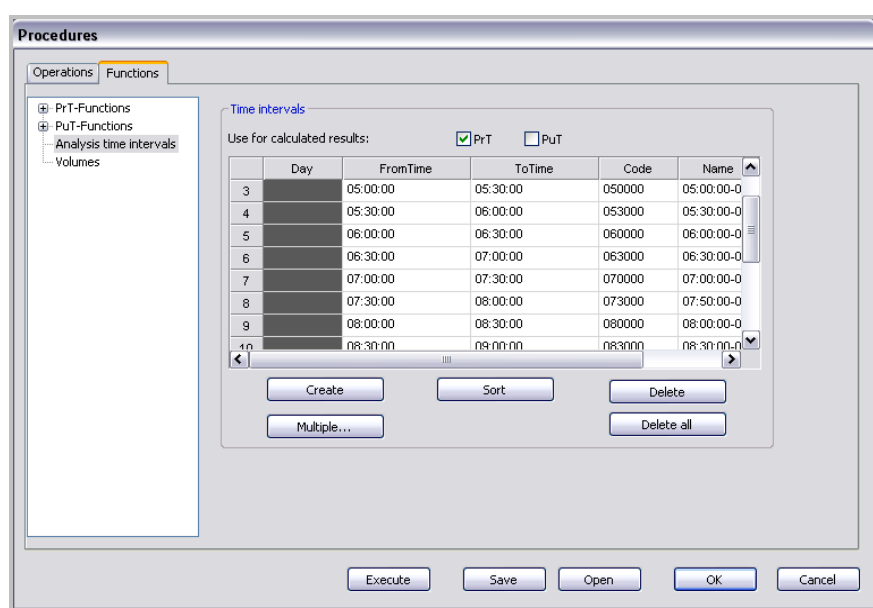
6.4.2. Χρονικά διαστήματα δυναμικού καταμερισμού

Η χρονική περίοδος ανάλυσης που έχει επιλεγεί μπορεί να διαιρεθεί σε επιμέρους χρονικά τμήματα κατά τον υπολογισμό του καταμερισμού στο δίκτυο. Τα χρονικά αυτά τμήματα μπορεί να είναι διαφορετικού μεγέθους έτσι ώστε να επιτευχθεί καλύτερο επίπεδο λεπτομέρειας στην ανάλυση ορισμένων κρίσιμων χρονικών διαστημάτων (π.χ. το διάστημα που αρχίζει να ισχύει η χρέωση για χρήση συγκεκριμένου οδικού τμήματος του δικτύου).

Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, κρίθηκε σκόπιμος ο καθορισμός μεγαλύτερων χρονικών τμημάτων καταμερισμού κατά τα διαστήματα που το δίκτυο εξυπηρετεί μικρότερα ποσοστά ζήτησης, και μικρότερα χρονικά τμήματα κατά τη διάρκεια την περίοδο αιχμής. Συγκεκριμένα, ορίστηκαν από τις 4 π.μ. έως τις 7.30 π.μ., και από τις 8.30 π.μ. έως τις 12 π.μ., χρονικά τμήματα της τάξης των 30 λεπτών. Στο κρίσιμο διάστημα από τις 7.30 π.μ. έως τις 8.30 π.μ., μέσα στο οποίο αρχίζει να ισχύει και η χρέωση για την είσοδο στην ζώνη χρέωσης, επιλέχθηκαν χρονικά τμήματα της τάξης των 10 λεπτών. Η επιλογή αυτή, πραγματοποιήθηκε ώστε να μπορεί να επιτευχθεί υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας στα αποτελέσματα του καταμερισμού κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου διαστήματος. Τα χρονικά διαστήματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την τελική ανάλυση είναι αυτά των 30 λεπτών, αφού θεωρήθηκε προτιμότερο να υπάρχει ενιαία κλίμακα στα διαστήματα ανάλυσης, παρόλο που χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικής διάρκειας χρονικά τμήματα κατά τον υπολογισμό του καταμερισμού.



Εικόνα 6. 9: Ο καθορισμός των χρονικών τμημάτων ανάλυσης του δυναμικού καταμερισμού στο VISUM



Εικόνα 6. 10: Ο καθορισμός των χρονικών διαστημάτων ανάλυσης του δυναμικού καταμερισμού στο VISUM

6.4.3. Βασικές παράμετροι δυναμικού καταμερισμού

Βασική παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη κατά το στάδιο του καταμερισμού, είναι το επιλεγμένο θεμελιώδες διάγραμμα που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της ροής των οχημάτων και της ταχύτητας αυτών. Το επιλεγμένο διάγραμμα είναι μορφής τραπεζοειδούς, αφού όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο περιγραφής του αλγόριθμου δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας χρηστών (DUE), περιγράφει καλύτερα τη σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών σε περιπτώσεις αστικών δικτύων. Επίσης, σημαντικό ρόλο κατά τον υπολογισμό του καταμερισμού διαδραματίζει ο χώρος που καταλαμβάνει κάθε όχημα σε καταστάσεις συμφόρησης. Ο χώρος καθορίζει τη δυνατότητα αποθήκευσης οχημάτων σε κάθε σύνδεσμο (μήκος συνδέσμου* λωρίδες κυκλοφορίας / χώρος ανά όχημα), και επομένως καθορίζει τις χρονικές στιγμές που θα εμφανίζεται διάδοση της συμφόρησης σε ανάντη τμήματα του δικτύου. Ο χώρος που καταλαμβάνει κάθε όχημα, ορίστηκε ίσος με 5 μέτρα.

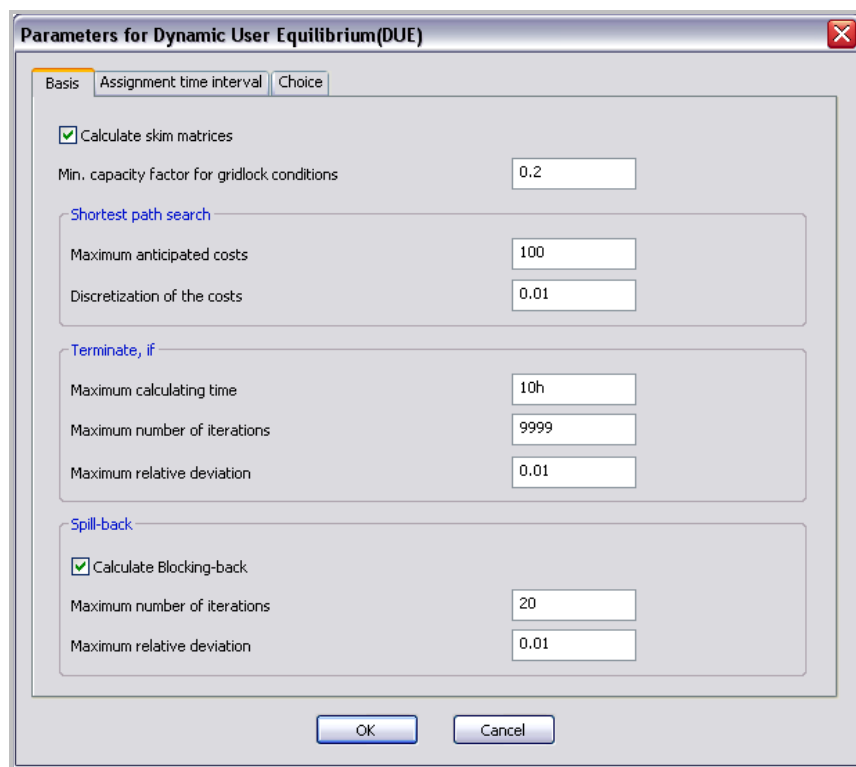
Ο υπολογισμός του δυναμικού καταμερισμού μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αδιεξόδων σε ορισμένους συνδέσμους. Αυτό, μπορεί να οφείλεται σε έναν κύκλο συνδέσμων με υψηλή συμφόρηση που έχουν προτεραιότητα έναντι άλλων και δεν τους επιτρέπουν έτσι να διοχετεύσουν την κυκλοφορία των οχημάτων που έχουν εισέλθει σε αυτούς. Το παραπάνω φαινόμενο μπορεί να αναπαριστά τις περιπτώσεις κορεσμού στην πραγματικότητα, ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να αποτελεί μία τεχνητή κατάσταση μεταξύ των επαναληπτικών διαδικασιών, που δεν αντιπροσωπεύει τις πραγματικές συνθήκες. Για να υπερκεραστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, ορίζεται ένας ελάχιστος συντελεστής χωρητικότητας (minimum capacity factor for gridlock conditions), ο οποίος καθορίζει το ελάχιστο ποσοστό εξυπηρέτησης της χωρητικότητας των συνδέσμων που εμφανίζουν καταστάσεις αδιεξόδου. Η τιμή του συντελεστή τέθηκε ίση με 20 %.

Η τελευταία κατηγορία παραμέτρων που σχετίζεται με τον υπολογισμό του δυναμικού καταμερισμού, σχετίζεται με τις επαναληπτικές διαδικασίες που ακολουθούνται κατά την επίλυση του. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τους περιορισμούς εκείνους που λαμβάνονται υπόψη για τη διακοπή της διαδικασίας υπολογισμού και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της. Οι περιορισμοί αυτοί μπορεί να αφορούν είτε το χρόνο που απαιτείται για τη διαδικασία, είτε τον καθορισμό μέγιστου αριθμού επαναλήψεων, είτε τη σχετική απόκλιση των αποτελεσμάτων της επαναληπτικής διαδικασίας. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο τερματισμός της επαναληπτικής διαδικασίας να προκύπτει από τη σχετική απόκλιση των αποτελεσμάτων, και συγκεκριμένα ορίστηκε σαν μέγιστη τιμή της η τιμή 0,01. Αντίστοιχα καθορίστηκαν τα όρια της επαναληπτικής διαδικασίας προσδιορισμού της διάδοσης της συμφόρησης που αποτελεί εσωτερική επαναληπτική διαδικασία της αρχικής, ορίζοντας όμως επιπρόσθετα μέγιστο αριθμό επαναληπτικών διαδικασιών ίσο με 20 ανά επανάληψη.

6.4.4. Αποτελέσματα δυναμικού καταμερισμού

Τα αποτελέσματα του καταμερισμού είναι διαθέσιμα μέσω των χαρακτηριστικών των συνδέσμων, των στρεφουσών κινήσεων, και των συνδέσμων κεντροειδών. Τα χαρακτηριστικά εκείνα τα οποία παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του καταμερισμού, είναι οι ροές των οχημάτων, οι χρόνοι προσπέλασης, καθώς και το μήκος των ουρών. Οι τιμές των παραπάνω χαρακτηριστικών διαφοροποιούνται σε κάθε χρονικό διάστημα ανάλυσης.

Ο καθορισμός του μήκους της ουράς ως μέτρο κορεσμού δεν είναι εύκολο να προσδιοριστεί, αφού κατά τον δυναμικό καταμερισμό ισορροπίας χρηστών οι ουρές μπορούν να μετακινούνται και σταδιακά να προσεγγίζουν την κατάσταση όπου η κυκλοφορία είναι στάσιμη σε μία διασταύρωση. Επειδή οι ουρές μετακινούνται, και ο διαχωρισμός μεταξύ των οχημάτων (πυκνότητα) δεν είναι στιγμιαίος, δεν θα ήταν σωστό να αναφερθεί ο σχηματισμός ουράς σε μέτρα. Για αυτό το λόγο, υιοθετείται ένας προσδιορισμός του μήκους της ουράς, που είναι παρόμοιος με τον αριθμό των οχημάτων που εμπλέκονται σε καταστάσεις συμφόρησης στις περιπτώσεις των μικροσκοπικών προσομοιώσεων. Επομένως, η τιμή που προκύπτει για το μήκος της ουράς, για ένα δεδομένο σύνδεσμο και



Εικόνα 6. 11: Η εισαγωγή των περιορισμών των επαναληπτικών διαδικασιών και του συντελεστή ελάχιστης εξυπηρέτησης χωρητικότητας στο VISUM

χρονικό διάστημα, αντιστοιχεί στον αριθμό των οχημάτων που έχουν υποστεί υπερκρίσιμη καθυστέρηση, δηλαδή ο χρόνος που απαιτήθηκε για την προσπέλαση του συνδέσμου είναι μεγαλύτερος από το άθροισμα του χρόνου ελεύθερης ροής και του υποκρίσιμου χρόνου αναμονής στον κόμβο (π.χ. χρόνος αναμονής για πράσινη ένδειξη στο φωτεινό σηματοδότη). Ο υποκρίσιμος χρόνος αναμονής στους κόμβους προκύπτει από το άθροισμα του απαιτούμενου χρόνου για την πραγματοποίηση της στρέφουσας κίνησης, και ενός μεταβλητού μέρους του χρόνου που καθορίζεται από τη ροή και τη χωρητικότητα της κίνησης, βάσει του θεμελιώδους τραπεζοειδούς διαγράμματος.

6.5. Σενάρια

Έχοντας δημιουργήσει το πλήρες συγκοινωνιακό μοντέλο της Αθήνας, αναπτύχθηκαν εν συνεχεία τα σενάρια που αφορούν στη μελέτη των επιπτώσεων του μέτρου των αστικών διοδίων. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι η ζώνη χρέωσης θα είναι αντίστοιχη με τα όρια του υπάρχοντος δακτυλίου, ότι η χρέωση θα είναι σταθερή κατά τη χρονική διάρκεια ισχύος του μέτρου, ότι θα είναι ανεξάρτητη από τη χρονική διάρκεια παραμονής εντός αυτής ή τη διανυθείσα απόσταση, και η συλλογή των διοδίων θα γίνεται κατά την είσοδο στη ζώνη χρέωσης χωρίς να επηρεάζεται η ροή των οχημάτων. Η χρονική διάρκεια ισχύος του μέτρου ορίστηκε από τις 8 π.μ. έως τις 5μ.μ. Οι τιμές των αστικών διοδίων, οι οποίες μελετήθηκαν ως προς τις επιπτώσεις του στο οδικό δίκτυο της πόλης, αφορούν χρεώσεις της τάξης των 3 και 5 € αντίστοιχα.

Τα σενάρια που αναπτύχθηκαν και μελετήθηκαν ανήκουν σε δύο ξεχωριστές κατηγορίες, οι οποίες έχουν σαν κοινό τον τρόπο εφαρμογής και υλοποίησης του μέτρου των αστικών διοδίων. Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών, εντοπίζεται στο γεγονός ότι στην πρώτη θεωρείται ότι παραμένει σταθερή η ζήτηση για μετακίνηση με Ι.Χ. μετά την εφαρμογή του μέτρου, ενώ στην δεύτερη θεωρείται ότι η ζήτηση για μετακίνηση με Ι.Χ. μετά την

εφαρμογή του μέτρου, από και προς τις κυκλοφοριακές ζώνες που τέμνονται ή περιέχονται από τη ζώνη χρέωσης, μειώνεται κατά ένα ποσοστό.

Η πρώτη κατηγορία σεναρίων αποτελεί τα βασικά σενάρια βάσει των οποίων θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση σχετικά με την εφαρμογή του μέτρου, όπως αυτή αναφέρθηκε παραπάνω. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε μελέτη των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης για την υπάρχουσα κατάσταση, πριν την εφαρμογή του μέτρου. Στη συνέχεια, θεωρήθηκε ότι υλοποιείται η εφαρμογή του μέτρου, για τιμές χρέωσης 3 και 5 € αντίστοιχα. Ουσιαστικά, η εφαρμογή του μέτρου, έχει σαν άμεση συνέπεια τη διαφοροποίηση του μοντέλου προσφοράς του δικτύου και επομένως της δυναμικής αλληλεπίδρασής του με το μοντέλο ζήτησης, το οποίο και παρέμεινε σταθερό συνολικά. Η εισαγωγή της χρέωσης σε ορισμένες διαδρομές, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του γενικευμένου κόστους μετακίνησης, επομένως οι χρήστες θα προσπαθήσουν να ελαχιστοποιήσουν το κόστος των διαδρομών τους, είτε επιλέγοντας εναλλακτικές διαδρομές, είτε αποδεχόμενοι να επωμιστούν το νέο επιπρόσθετο χρηματικό κόστος. Ορισμένοι μετακινούμενοι θα προτιμήσουν να μεταθέσουν το χρόνο αναχώρησής τους, είτε αυτό είναι νωρίτερα, είτε αργότερα από την επιθυμητή ώρα. Επομένως, το μοντέλο ζήτησης μπορεί να μεταβληθεί όσον αφορά τη χρονική κατανομή της ζήτησης στη διάρκεια της ημέρας, αλλά δεν θα μεταβληθεί ως προς το συνολικό αριθμό των ημερήσιων μετακινήσεων.

Για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις που μελετήθηκαν (υπάρχουσα κατάσταση, χρέωση ίση με 3 €, χρέωση ίση με 5 €), προέκυψαν διαφορετικά αποτελέσματα κατά το στάδιο του καταμερισμού. Τα δυναμικά χαρακτηριστικά του μοντέλου τα οποία παρατηρήθηκαν, αφορούν τις ροές των οχημάτων και τους χρόνους προσπέλασης για κάθε σύνδεσμο, σε κάθε χρονικό διάστημα ανάλυσης. Από τα παρατηρούμενα χαρακτηριστικά, με την κατάλληλη επεξεργασία προέκυψαν τα οχηματοχιλιόμετρα και οι οχηματοώρες, συνολικά για ολόκληρο το δίκτυο, εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, καθώς και εσωτερικά αυτής, για κάθε διάστημα ανάλυσης αλλά και συνολικά για την περίοδο ανάλυσης. Επίσης, υπολογίστηκε το σύνολο των οχημάτων που εισέρχονται εντός της ζώνης χρέωσης, για κάθε διάστημα ανάλυσης, σε κάθε περίπτωση. Από τον υπολογισμό των παραπάνω στοιχείων για κάθε περίπτωση που μελετήθηκε, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις για τον προσδιορισμό των επιπτώσεων της επιβολής των αστικών διοδίων, σε μακροσκοπικό επίπεδο. Σε μικροσκοπικό επίπεδο, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των δυναμικών χαρακτηριστικών κεντρικών οδικών συνδέσμων του δικτύου, που προέκυψαν για κάθε περίπτωση, εσωτερικά και εξωτερικά της ζώνης χρέωσης. Με τον τρόπο αυτό, έγινε προσπάθεια ανάλυσης της επίδρασης του μέτρου μικροσκοπικά στους οδικούς άξονες, και όχι μόνο μακροσκοπικά.

Η δεύτερη κατηγορία σεναρίων σχετίζεται με την ανάλυση ευαισθησίας μεταξύ της ζήτησης και των διαφορετικών τιμών χρέωσης, και περιλαμβάνει και αυτή, όπως και η προηγούμενη, την εφαρμογή του μέτρου όπως αναφέρθηκε εξ αρχής. Στην πρώτη περίπτωση θεωρήθηκε ότι η ζήτηση για μετακίνηση με Ι.Χ. θα παραμένει ίδια μετά την εφαρμογή του μέτρου. Ωστόσο, ένας μέρος των μετακινούμενων αναμένεται να αλλάξει το μέσο που χρησιμοποιεί για τις μετακινήσεις του, από και προς τη ζώνη χρέωσης, θεωρώντας ότι το νέο γενικευμένο κόστος διαδρομής με χρήση Ι.Χ., που προέκυψε μετά την επιβολή των αστικών διοδίων, είναι μεγαλύτερο από το γενικευμένο κόστος της διαδρομής με χρήση κάποιου άλλου μέσου (π.χ. δημόσια μέσα μεταφοράς, ποδήλατο). Επίσης, με την εισαγωγή του νέου κόστους των διοδίων, αναμένεται μέρος των μετακινήσεων με χαμηλή αξία χρόνου (π.χ. ψώνια, διασκέδαση), από και προς την περιοχή χρέωσης, να ματαιωθούν. Η εκπλήρωση των αναγκών που σχετίζονται με αυτού του είδους τις μετακινήσεις, είτε θα ικανοποιηθούν σε άλλη χρονική στιγμή που δεν θα απαιτείται η καταβολή χρηματικού αντιτίμου, είτε οι μετακινούμενοι θα επιλέξουν την εκπλήρωσής τους σε κάποια άλλη θέση της πόλης, εξωτερικά της ζώνης. Ο καθορισμός των επιδράσεων των παραπάνω αλλαγών στη κατανομή της ζήτησης, αλλά και στη συνολική ζήτηση, απαιτεί τη διεξαγωγή ολοκληρωμένης μελέτης ώστε να μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναπτύχθηκαν και εξετάστηκαν σενάρια που αναφέρονται σε μία ποσοστιαία μείωση της ζήτησης της τάξης του 10 και του 20 % αντίστοιχα, από και προς τις κυκλοφοριακές ζώνες που περικλείονται ή τέμνονται από τη ζώνη χρέωσης. Συγκεκριμένα, οι ζώνες αυτές ορίστηκαν να είναι το 1^ο και το 2^ο δημοτικό διαμέρισμα του δήμου Αθήνας. Η

ζώνη χρέωσης τέμνει επίσης και το 3^ο και 4^ο δημοτικό διαμέρισμα του δήμου Αθήνας, ωστόσο δεν κρίθηκε σκόπιμη η εφαρμογή μείωσης στη ζήτηση, από και προς αυτές τις κυκλοφοριακές ζώνες, επειδή το οδικό δίκτυο που ανήκει σε αυτές και έχει εισαχθεί στο μοντέλο προσφοράς δεν περιλαμβάνεται, πλην ελαχίστων αμελητέων εξαιρέσεων, εντός της ζώνης χρέωσης. Για κάθε τάξη μείωσης και σενάριο χρέωσης, υπολογίστηκαν κατά το στάδιο του καταμερισμού τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συγκοινωνιακού μοντέλου που αναφέρθηκαν και στην πρώτη κατηγορία σεναρίων. Στη συνέχεια, με την κατάλληλη επεξεργασία, προέκυψαν συνολικά χαρακτηριστικά του συστήματος, τα οποία και χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση και εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με την ευαισθησία μεταξύ ζήτησης και τιμής χρέωσης.

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1. Αποτελέσματα Σεναρίων Αναφοράς

Τα σενάρια αναφοράς, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναφέρονται στη μελέτη των επιπτώσεων της επιβολής του μέτρου των αστικών διοδίων στο κέντρο της Αθήνας, θεωρώντας ότι η ζήτηση για μετακίνηση με Ι.Χ. παραμένει σταθερή και μετά την εφαρμογή του μέτρου. Οι τιμές χρέωσης οι οποίες μελετήθηκαν, αφορούν χρέωση της τάξεως των 3 και 5 € αντίστοιχα, και θεωρήθηκε ότι ισχύουν από τις 8 π.μ. έως και τις 5μ.μ. Η μελέτη των επιπτώσεων εστιάζεται στην πρωινή αιχμή, και συγκεκριμένα στο χρονικό διάστημα από τις 6 π.μ. έως και τις 11:30 π.μ. Για τη ρεαλιστικότερη προσομοίωση των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ προσφοράς και ζήτησης, κρίθηκε σκόπιμο η φόρτιση του δικτύου να ξεκινήσει νωρίτερα από την έναρξη του χρονικού διαστήματος μελέτης, έτσι ώστε να μην πραγματοποιείται καταμερισμός των οχημάτων σε άδειο δίκτυο στην αρχή της περιόδου ανάλυσης. Η φόρτιση του δικτύου συνεχίστηκε και μετά το πέρας της περιόδου ανάλυσης, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή φόρτιση στα τελευταία χρονικά διαστήματα ανάλυσης. Συγκεκριμένα, η φόρτιση του δικτύου έγινε για το χρονικό διάστημα μεταξύ 4 π.μ. και 12 π.μ. Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι να προσομοιώσει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη μελέτη της εφαρμογής του μέτρου των αστικών διοδίων, και να εντοπίσει και να αναδείξει τις γενικές τάσεις που αναμένεται να αναπτυχθούν στο δίκτυο. Τα ποσοτικά αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε σενάριο, λόγω των περιορισμών και των παραδοχών που έγιναν, έχουν ως βασική συμβολή τον καθορισμό των ποιοτικών χαρακτηριστικών και τάσεων που προκύπτουν για κάθε σενάριο μελέτης. Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση και εξαγωγή συμπερασμάτων, και όχι τα ποσοτικά.

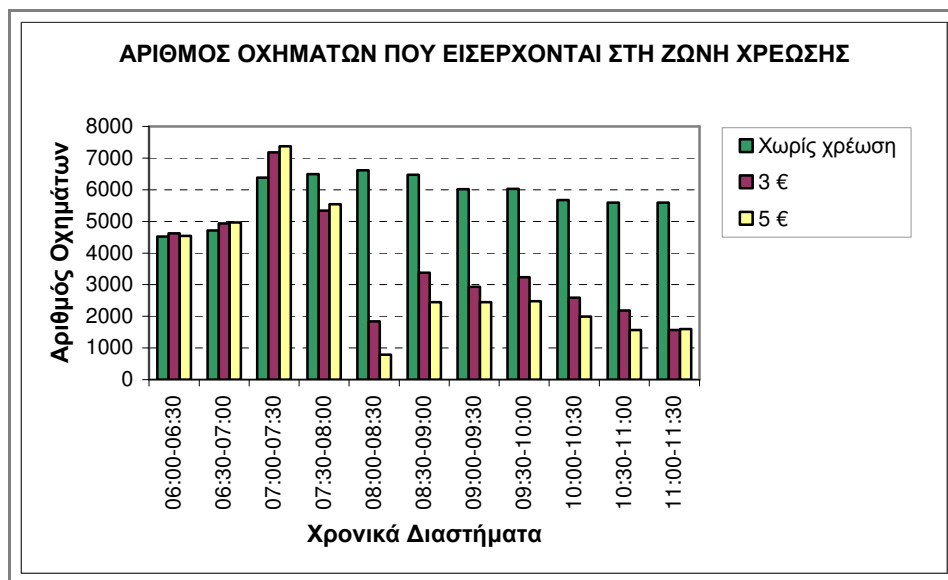
7.1.1. Εισροή οχημάτων στη ζώνη χρέωσης

Άμεσο αποτέλεσμα της εφαρμογής του μέτρου είναι η μείωση των εισερχόμενων οχημάτων στη ζώνη χρέωσης. Η μείωση αυτή οφείλεται στην αύξηση του κόστους μετακίνησης και έχει σαν αποτέλεσμα μέρος των μετακινούμενων να επιλέξει να ακολουθήσει κάποια εναλλακτική διαδρομή για τη πραγματοποίηση της μετακίνησης. Ωστόσο, ένα μέρος των μετακινούμενων θα επιλέξει να επωμιστεί το νέο κόστος της χρέωσης, θεωρώντας ότι στη διαδρομή που συμπεριλαμβάνεται η χρέωση, αντιστοιχεί και το μικρότερο γενικευμένο κόστος. Στο διάγραμμα που ακολουθεί εμφανίζονται οι ροές εισόδου στη ζώνη χρέωσης για κάθε σενάριο.

Στο χρονικό διάστημα από τις 6 έως τις 7 π.μ., η εισαγωγή του διοδίου έχει σαν αποτέλεσμα την ελάχιστη αύξηση της εισροής των οχημάτων στη ζώνη χρέωσης. Στο διάστημα μισής ώρας που ακολουθεί, παρουσιάζεται αύξηση της εισροής κατά 12,4 και 15,4 % αντίστοιχα, για κάθε σενάριο χρέωσης. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι μέρος των μετακινούμενων που επιθυμούσαν να αναχωρήσουν κατά το διάστημα 7:30 με 8 π.μ., επιλέγουν να μεταθέσουν την ώρα αναχώρησης τους νωρίτερα, έτσι ώστε να μπορούν να εισέλθουν στη ζώνη χρέωσης, χωρίς να καταβάλλουν κάποιο αντίτιμο, και να αποφύγουν καταστάσεις αυξημένης κυκλοφορίας. Έτσι, μέρος της ζήτησης του διαστήματος αυτού, μετατίθεται νωρίτερα χρονικά, αυξάνοντας τη ζήτηση για το χρονικό διάστημα 7 με 7:30 π.μ. Η διαφορά του 3% μεταξύ των δύο σεναρίων χρέωσης, δικαιολογείται από τη μεγαλύτερη χρέωση που ισχύει στη δεύτερη περίπτωση, δεδομένο που επιτρέπει μεγαλύτερες χρονικές μεταθέσεις στην ώρα αναχώρησης, προκειμένου να αποφευχθεί η χρέωση.

Συγκεκριμένα, βάσει της εξίσωσης γενικευμένου κόστους που έχει επιλεγεί, βάσει της οποίας υλοποιήθηκε ο καταμερισμός για κάθε σενάριο, η μέγιστη δυνατή χρονική μετάθεση της αναχώρησης έχει οριστεί ίση με 30 λεπτά. Το κόστος μετάθεσης του χρόνου

αναχώρησης αντιστοιχεί, σε 4,2 €/ ώρα για την περίπτωση όπου η αναχώρηση πραγματοποιείται νωρίτερα από την επιθυμητή, και σε 14,4 €/ ώρα για την περίπτωση της αναχώρησης αργότερα από την επιθυμητή ώρα. Επομένως, για να επιλέξει ένας μετακινούμενος να μεταθέσει την ώρα αναχώρησης, νωρίτερα από την επιθυμητή, θα πρέπει το γενικευμένο κόστος που προκύπτει για τη μετακίνηση, να είναι μικρότερο από το αντίστοιχο για την επιθυμητή ώρα αναχώρησης.



Διάγραμμα 7. 1: Αριθμός οχημάτων που εισέρχονται στη ζώνη χρέωσης ανά χρονικό διάστημα και σενάριο

Στην περίπτωση όπου είναι δυνατή η μετάθεση του χρόνου αναχώρησης, ώστε να αποφευχθεί η έναρξη ισχύος της χρέωσης εισόδου στη ζώνη, η μέγιστη χρονική μετάθεση των 30 λεπτών θα αντιστοιχεί σε επιπρόσθετο χρηματικό κόστος μετακίνησης 2,1 €. Εν αντιθέσει, το κόστος εισόδου στη ζώνη κατά την περίοδο ισχύος της χρέωσης, είναι 3 και 5 € αντίστοιχα. Επομένως, η διαφορά μεταξύ των δύο μεγεθών, δείχνει ότι οι μετακινούμενοι που επιθυμούν να εισέλθουν στη ζώνη χρέωσης, έχουν μεγαλύτερα οφέλη (λιγότερο κόστος) εάν επιλέξουν την αναχώρηση πριν την έναρξη ισχύος της, εάν αυτό είναι δυνατό. Τα παραπάνω ισχύουν μόνο στην περίπτωση όπου όλες οι πιθανές εναλλακτικές διαδρομές, για την επιθυμητή ώρα αναχώρησης, εμφανίζουν υψηλότερη τιμή γενικευμένου κόστους από τις αντίστοιχες που απαιτούν μετάθεση του χρόνου αναχώρησης. Συγκεκριμένα, η μέγιστη μετάθεση του χρόνου αναχώρησης κατά 30 λεπτά επιλέγεται όταν ο χρόνος της συντομότερης εναλλακτικής διαδρομής εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, για αναχώρηση κατά τον επιθυμητό χρόνο, αντιστοιχεί σε χρόνο διαδρομής μεγαλύτερο κατά 21 λεπτά τουλάχιστον.

Κατά το χρονικό διάστημα 7:30 με 8 π.μ., παρατηρείται μία μείωση της εισροής των οχημάτων στη ζώνη, της τάξης του 17,6 και 14,5 % αντίστοιχα. Η μείωση αυτή δικαιολογείται από το γεγονός ότι μέρος των μετακινούμενων με επιθυμητή ώρα αναχώρησης μετά την έναρξη λειτουργίας της χρέωσης (8 με 8:30 π.μ.), έχει μεταθέσει την ώρα αναχώρησης του στο προηγούμενο χρονικό διάστημα ώστε να αποφύγει τη χρέωση. Η προσωρινή αύξηση της ζήτησης στο διάστημα 7:30 με 8 π.μ., έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των χρόνων διαδρομής στο δίκτυο. Η αύξηση αυτή, αυξάνει το γενικευμένο κόστος, και οδηγεί μέρος των μετακινούμενων με επιθυμητή ώρα αναχώρησης εντός αυτού του διαστήματος, να μεταθέσουν την αναχώρησή τους στο προηγούμενο διάστημα. Επίσης, μέρος των μετακινούμενων θεωρεί ότι δεν προλαβαίνει να εισέλθει στη ζώνη χρέωσης πριν την έναρξη της χρέωσης, και επιλέγει είτε να εισέλθει σε αυτό και να επωμιστεί το κόστος, είτε να ακολουθήσει κάποια εναλλακτική διαδρομή εκτός ζώνης.

Παρατηρείται ότι με την εφαρμογή της χρέωσης, εμφανίζεται αύξηση της κυκλοφοριακής εισροής στη ζώνη χρέωσης, σε χρονικό διάστημα που προηγείται της έναρξης ισχύος του

μέτρου. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η αιχμή μετατίθεται κατά μία ώρα, και μάλιστα εμφανίζεται αυξημένη κυκλοφορία κατά 8,5 και 11,5 % αντίστοιχα, σε σχέση με την μέγιστη κυκλοφορία πριν την εφαρμογή. Επομένως, η εφαρμογή του μέτρου έχει ως αποτέλεσμα τη φόρτιση του δικτύου σε μεγαλύτερο βαθμό και την μείωση των χρόνων ροής, σε χρονικό διάστημα που πριν παρουσίαζε μικρότερη ζήτηση.

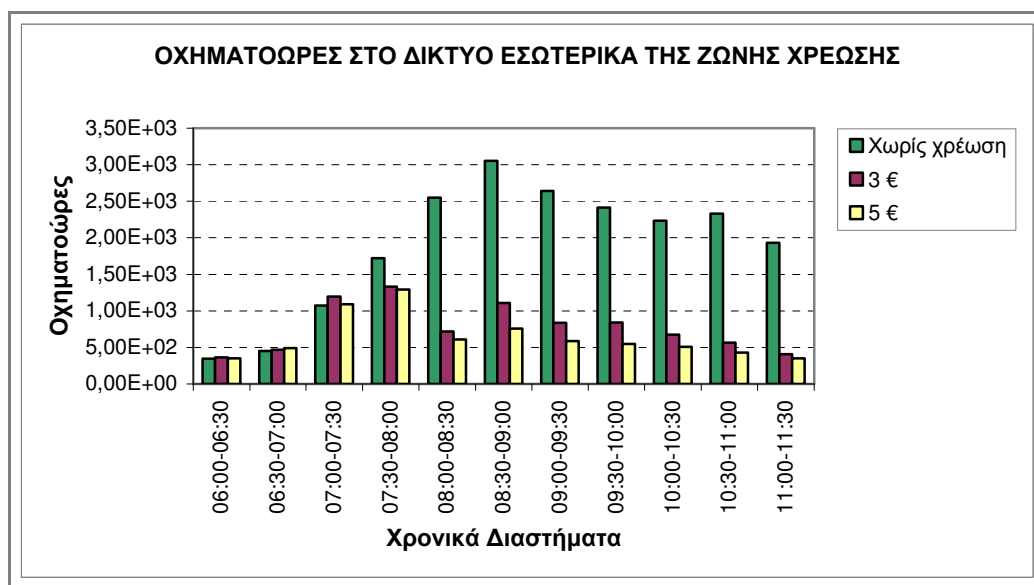
Στο χρονικό διάστημα που ξεκινάει να ισχύει η χρέωση εισόδου στη ζώνη, παρατηρείται μείωση της εισροής οχημάτων κατά 72 και 88 % αντίστοιχα, σε σχέση με πριν την εφαρμογή του μέτρου. Η τεράστια αυτή τιμή της μείωσης οφείλεται στο γεγονός ότι μεγάλο ποσοστό των μετακινήσεων που απαιτούσαν την εισαγωγή στη ζώνη χρέωσης, επέλεξαν να εισέλθουν σε αυτήν πριν την έναρξη ισχύος του μέτρου. Η διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων χρέωσης, προκαλείται από τη μεγαλύτερη τιμή διοδίου που αντιστοιχεί στη δεύτερη περίπτωση, δεδομένο που επιτρέπει την επιλογή εναλλακτικών διαδρομών με επιπρόσθετο χρόνο διαδρομής έως και 50 λεπτά, σε αντίθεση με το πρώτο που επιτρέπει έως 30 λεπτά.

Στο χρονικό διάστημα 8:30 έως 9 π.μ., παρατηρείται μία αύξηση της εισροής οχημάτων σε σχέση με το προηγούμενο διάστημα ανάλυσης. Συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση κατά 83,5 και 211 % αντίστοιχα, σε σχέση με τις εισροές του προηγούμενου διαστήματος. Η τεράστια αυτή αύξηση οφείλεται στο γεγονός ότι όσοι πρέπει να εισέλθουν στη ζώνη χρέωσης, είτε να διέλθουν μέσω αυτής λόγω έλλειψης ανταγωνιστικών εναλλακτικών διαδρομών, δεν μπορούν να αποφύγουν τη χρέωση με κάποιον τρόπο. Ωστόσο, παρατηρείται μεγάλη μείωση των εισερχόμενων οχημάτων σε σχέση με την υπάρχουσα κατάσταση. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μείωση της τάξης του 48 και 62 % αντίστοιχα.

Στα χρονικά διαστήματα που ακολουθούν έως τη λήξη της περιόδου ανάλυσης, η εισροή οχημάτων παραμένει σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με το διάστημα 8:30 με 9 π.μ., ακολουθώντας τη καμπύλη κατανομής της ζήτησης σε γενικές γραμμές. Τα οχήματα που εισέρχονται στη ζώνη χρέωσης, σε αυτά τα χρονικά διαστήματα, είναι κατά πολύ λιγότερα σε σχέση με την περίπτωση μη ισχύος του μέτρου. Συγκεκριμένα, για το πρώτο σενάριο, παρουσιάζονται μειώσεις της τάξης του 46 έως 72 %, και για το δεύτερο μειώσεις που κυμαίνονται από 59 έως 72 %, ενώ συνολικά για ολόκληρη τη χρονική περίοδο ανάλυσης, στην πρώτη περίπτωση εισέρχονται περίπου 38 % λιγότερα οχήματα, ενώ στη δεύτερη περίπου 44 % λιγότερα.

7.1.2. Οχηματοώρες

Η εφαρμογή του μέτρου των αστικών διοδίων έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση των εισερχόμενων οχημάτων στη ζώνη χρέωσης σε μεγάλο βαθμό. Οι μετακινούμενοι οι οποίοι πριν την εφαρμογή του μέτρου διέρχονταν μέσω της ζώνης χρέωσης, μετά την εφαρμογή του αναγκάστηκαν να στραφούν σε εναλλακτικές διαδρομές ή να επωμιστούν το νέο κόστος. Η επιλογή εναλλακτικών διαδρομών από την πλειοψηφία των μετακινούμενων, έχει σαν αποτέλεσμα την επιλογή διαδρομών μέσω οδικών αξόνων που μέχρι πρότινος δεν επέλεγαν, λόγω μεγαλύτερου γενικευμένου κόστους που οφειλόταν σε μεγαλύτερο χρόνο διαδρομής. Η χρήση οδικών αξόνων εκτός της ζώνης χρέωσης, έχει σαν αποτέλεσμα αυτοί οι άξονες να επωμιστούν μεγαλύτερη ζήτηση. Η εξυπηρέτηση αυτής της ζήτησης έχει σαν επίπτωση την αύξηση της κυκλοφοριακής ροής και τη δημιουργία καταστάσεων συμφόρησης, στις περιπτώσεις όπου η ζήτηση ξεπερνάει τη διαθέσιμη χωρητικότητα. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο, σχετικά με τις οχηματοώρες που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση των μετακινήσεων στο δίκτυο, για κάθε σενάριο. Συγκεκριμένα, στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι οχηματοώρες που δαπανούνται για την πραγματοποίηση των μετακινήσεων στο δίκτυο εσωτερικά της ζώνης, στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, καθώς και στο συνολικό δίκτυο, για κάθε σενάριο που μελετάται. Επισημαίνεται, για την αποφυγή δημιουργίας λάθους συμπερασμάτων σχετικά με τα διαγράμματα, ότι ο άξονας των τιμών των οχηματοωρών στην περίπτωση του δικτύου εσωτερικά της ζώνης χρέωσης, αναφέρεται σε τάξεις μεγέθους 10^3 , σε αντίθεση με τα άλλα δύο διαγράμματα που ακολουθούν και αναφέρονται σε τάξεις μεγέθους 10^4 .



Διάγραμμα 7. 2: Οχηματοώρες στο δίκτυο εντός της ζώνης χρέωσης

Στο Διάγραμμα 7.2 εμφανίζονται οι οχηματοώρες που παρουσιάζονται να δαπανούνται για την πραγματοποίηση των μετακινήσεων εσωτερικά της ζώνης χρέωσης, σε κάθε χρονικό διάστημα και σενάριο. Η πρώτη ελάχιστη αύξηση στις οχηματοώρες εμφανίζεται στο χρονικό διάστημα από τις 6:30 έως τις 7 π.μ. και είναι της τάξης του 4 και 8 % αντίστοιχα. Η αύξηση αυτή συμβαδίζει με τα αποτελέσματα που προέκυψαν στο Διάγραμμα 7.1, και δείχνουν ότι αυξάνονται τα οχήματα που εισέρχονται στη ζώνη. Στο χρονικό διάστημα που ακολουθεί (7 με 7:30 π.μ.), η αυξητική πορεία των οχηματοωρών συνεχίζεται (11 και 2 % αντίστοιχα), ωστόσο παρατηρείται μία αντίστροφη σχέση μεταξύ ροής εισόδου και οχηματοωρών. Συγκεκριμένα, ενώ εισέρχονται περισσότεροι σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο, εμφανίζεται να δαπανώνται περισσότερες οχηματοώρες στο πρώτο σενάριο. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι πιθανόν κατά το δεύτερο σενάριο οι εισερχόμενοι στη ζώνη, να εξέρχονται νωρίτερα από αυτή, επιλέγοντας να χρησιμοποιήσουν κάποιους λιγότερα φορτισμένους συνδέσμους.

Στο χρονικό διάστημα μεταξύ 7:30 και 8 π.μ., οι οχηματοώρες εσωτερικά της ζώνης μειώνονται περίπου κατά 22 και 25 % αντίστοιχα, σε σχέση με την περίπτωση χωρίς την ύπαρξη διοδίου, γεγονός που οφείλεται στη μειωμένη εισροή οχημάτων που παρατηρείται σε αυτό το διάστημα. Η αντίστροφη σχέση μεταξύ εισροής και οχηματοωρών για κάθε περίπτωση, δικαιολογείται με τον ίδιο τρόπο όπως και στο προηγούμενο χρονικό διάστημα ανάλυσης. Από την στιγμή έναρξης ισχύος του μέτρου της χρέωσης, παρατηρείται μία ραγδαία μείωση των οχηματοωρών εσωτερικά της ζώνης, απόρροια της μειωμένης εισροής οχημάτων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μείωση της τάξης του 72 και 76 % αντίστοιχα, σε σύγκριση με την περίπτωση μη εφαρμογής της χρέωσης.

Στο επόμενο χρονικό διάστημα (8:30 με 9 π.μ.), εμφανίζεται μία αύξηση των οχηματοωρών περίπου 50 και 25 % αντίστοιχα, σε σχέση με τις οχηματοώρες του προηγούμενου διαστήματος. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην αύξηση εισροής οχημάτων, αφού τα οχήματα που πρέπει να εισέλθουν στη ζώνη χρέωσης, δεν μπορούν να μεταθέσουν την ώρα αναχώρησης ώστε να αποφύγουν να επωμιστούν το κόστος της χρέωσης. Η διαφορά μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο σεναρίων χρέωσης, οφείλεται στο μεγαλύτερο κόστος διοδίου που καλούνται να πληρώσουν στην δεύτερη περίπτωση, γεγονός που περιορίζει την εισροή οχημάτων. Δεδομένου ότι κατά το χρονικό διάστημα αυτό εμφανίζεται η υψηλότερη τιμή ζήτησης, η εισροή των οχημάτων, και επομένως οι αντίστοιχες οχηματοώρες, κατά τα διαστήματα που ακολουθούν, θα εμφανίζουν συνεχώς πτωτική πορεία, με τις οχηματοώρες που αντιστοιχούν στο σενάριο των 3 € να είναι σταθερά μεγαλύτερες κατά περίπου 20 % από τις αντίστοιχες του σεναρίου των 5 €. Οι οχηματοώρες που προέκυψαν για τα δύο σενάρια, στα χρονικά διαστήματα που ακολουθούν, ακολουθούν συνεχώς πτωτική πορεία σε

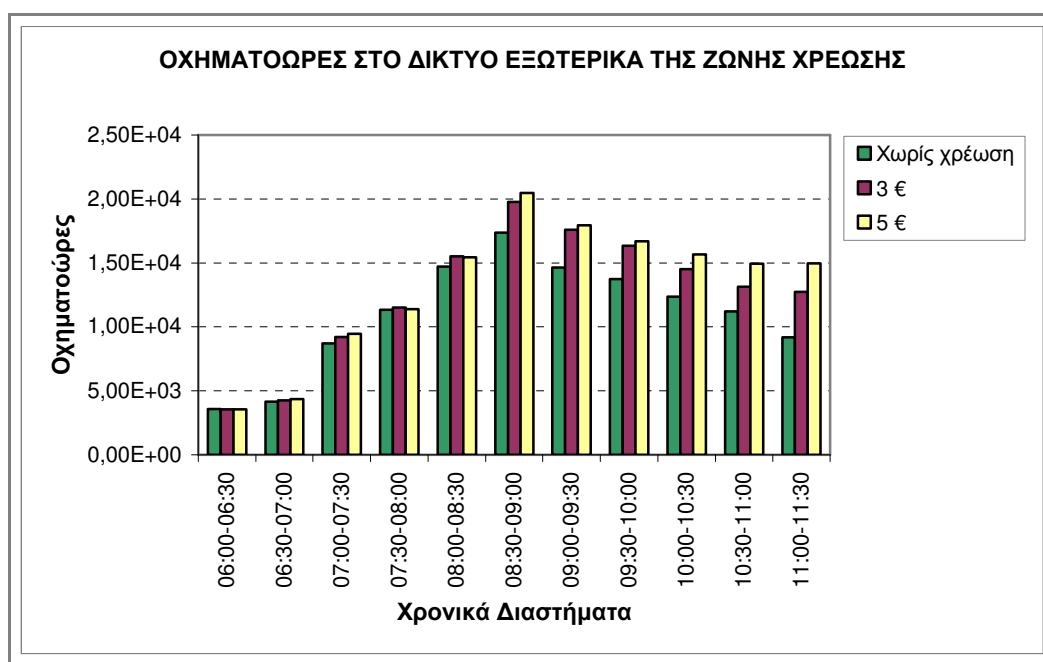
σχέση με τα αποτελέσματα του σεναρίου της υπάρχουσας κατάστασης. Συγκεκριμένα, η μείωση για το πρώτο σενάριο αρχίζει από το 65 % και καταλήγει στο 79 %, ενώ στο δεύτερο σενάριο αρχίζει από το 75 % και καταλήγει στο 81 %, γεγονός που δείχνει ότι για το δεύτερο σενάριο εμφανίζονται μικρότερες διακυμάνσεις εισροής οχημάτων, εισροή η οποία παραμένει σε χαμηλότερα επίπεδα συνεχώς από την αντίστοιχη του πρώτου σεναρίου.

Για να γίνει αντιληπτή η κομβική σημασία του οδικού δικτύου που εμπεριέχεται στη ζώνη χρέωσης, για το συνολικό οδικό σύστημα της πόλης, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί τα ποσοστά των οχηματοωρών που προέκυψαν ότι δαπανώνται εντός της ζώνης χρέωσης, επί των συνολικών οχηματοωρών του δικτύου, για κάθε σενάριο και χρονικό διάστημα.

Πίνακας 7. 1: Ποσοστά οχηματοωρών που δαπανώνται εντός της ζώνης χρέωσης, επί των συνολικών οχηματοωρών του συστήματος

Χρονικό διάστημα / Ποσοστό	Καμία χρέωση	Χρέωση 3 €	Χρέωση 5 €
06:00 - 06:30	8,86 %	9,23 %	8,99 %
06:30 - 07:00	9,80 %	9,92 %	10,10 %
07:00 - 07:30	10,96 %	11,47 %	10,35 %
07:30 - 08:00	13,18 %	10,37 %	10,18 %
08:00 - 08:30	14,77 %	4,43 %	3,80 %
08:30 - 09:00	14,96 %	5,30 %	3,56 %
09:00 - 09:30	15,30 %	4,53 %	3,18 %
09:30 - 10:00	14,95 %	4,91 %	3,16 %
10:00 - 10:30	15,32 %	4,46 %	3,14 %
10:30 - 11:00	17,20 %	4,12 %	2,79 %
11:00 - 11:30	17,39 %	3,10 %	2,30 %

Από τον Πίνακα 7.1 προκύπτει ότι πριν την εφαρμογή της χρέωσης, δαπανάται εσωτερικά στη ζώνη χρέωσης κατά την περίοδο αιχμής, περίπου το 14,9 % των συνολικών οχηματοωρών του δικτύου. Μετά την επιβολή της χρέωσης, το ποσοστό ανέρχεται περίπου στο 4,9 % και 3,7 % αντίστοιχα για κάθε σενάριο, μεταβάλλοντας κατά πολύ το ποσοστό των μετακινήσεων που διέρχονται μέσω αυτού.



Διάγραμμα 7. 3: Οχηματοώρες στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης

Στο Διάγραμμα 7.3 εμφανίζονται οι οχηματοώρες που παρουσιάζονται να δαπανούνται για την πραγματοποίηση των μετακινήσεων εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, σε κάθε χρονικό διάστημα και σενάριο. Η επιβολή του μέτρου της χρέωσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλο μέρος των μετακινούμενων να υποχρεωθεί να ακολουθήσει εναλλακτικές διαδρομές, που δεν εμπεριέχουν τη διέλευση από τη ζώνη χρέωσης, αυξάνοντας κατά πολύ την κυκλοφορία σε ορισμένους συνδέσμους του δικτύου. Η επιλογή των εναλλακτικών αυτών διαδρομών εξωτερικά της ζώνης, συμβαδίζει με την ταυτόχρονη αύξηση του χρόνου διαδρομών εξ ορισμού, καθώς και την αύξηση του χρόνου λόγω αυξημένης κυκλοφορίας. Η εφαρμογή του μέτρου έχει σαν επίπτωση την αύξηση των οχηματοωρών στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης, σε όλα τα χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα, στο χρονικό διάστημα 7 έως 7:30 π.μ. εμφανίζεται μία αύξηση των οχηματοωρών της τάξης του 6 και 9 % αντίστοιχα, που προκαλείται από την μετάθεση των χρόνων αναχώρησης των μετακινούμενων ώστε να αποφύγουν τη χρέωση για την είσοδο τους στη ζώνη χρέωσης. Αυτή η μετάθεση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κατανομής της ζήτησης, στο συγκεκριμένο διάστημα, και επομένως αύξηση της κυκλοφορίας εσωτερικά και εξωτερικά της ζώνης χρέωσης.

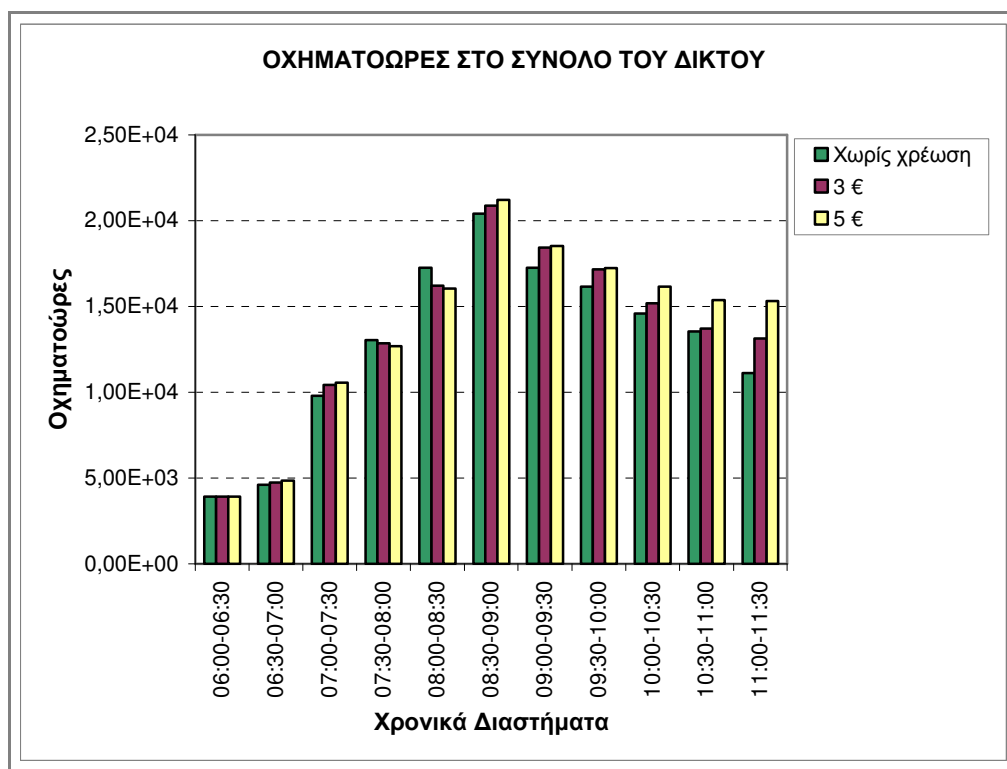
Στο χρονικό διάστημα από τις 7:30 έως τις 8 π.μ., δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική διακύμανση στις οχηματοώρες που προκύπτουν για κάθε σενάριο. Η σταθερότητα αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι μέρος των μετακινούμενων έχει μεταθέσει το χρόνο αναχώρησης του στο προηγούμενο χρονικό διάστημα, στην περίπτωση των σεναρίων χρέωσης, μειώνοντας έτσι τη ζήτηση στο διάστημα αυτό. Ωστόσο, η μετάθεση του χρόνου αναχώρησης έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη φόρτιση του δικτύου στο προηγούμενο διάστημα και επομένως οι μετακινούμενοι που κινούνται σε αυτό το διάστημα έχουν να αντιμετωπίσουν την ήδη αυξημένη κυκλοφορία οχημάτων. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραπάνω φαινομένων έχει σαν αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται σημαντικές μεταβολές στον αριθμό των οχηματοωρών αυτού του διαστήματος. Επομένως, η εφαρμογή του μέτρου φαίνεται να μην επιφέρει σημαντικές μεταβολές στις οχηματοώρες εξωτερικά της ζώνης χρέωσης που προκύπτουν για τα διαστήματα πριν τις 8 π.μ., και έναρξη ισχύος του μέτρου.

Στο χρονικό διάστημα από τις 8 έως τις 8:30, παρατηρείται μία αύξηση των οχηματοωρών που αντιστοιχούν στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, της τάξης του 5,5 και 5 % αντίστοιχα. Η αύξηση αυτή δικαιολογείται από την έναρξη ισχύος του μέτρου σε αυτό το διάστημα, και την επιλογή εναλλακτικών εκτός της ζώνης χρέωσης. Η αύξηση των οχηματοωρών παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, σε σχέση με τα αποτελέσματα των χρονικών διαστημάτων που ακολουθούν. Σε αυτό συντελεί η αλληλεπίδραση μεταξύ μετάθεσης του χρόνου αναχώρησης και αυξημένης ζήτησης, που αναφέρθηκε και παραπάνω. Στα επόμενα δύο χρονικά διαστήματα που έπονται, το σύνολο των οχηματοωρών παρουσιάζει συνεχώς αυξητική πορεία σε σχέση με το σενάριο που δεν προβλέπει χρέωση, απόρροια της αυξημένης ζήτησης και της ύπαρξης χρέωσης. Συγκεκριμένα, η πορεία της αύξησης που ακολουθείται είναι της από 14 σε 20 % για το πρώτο σενάριο, και από 18 σε 23 % για το δεύτερο. Στο διάστημα από τις 9:30 έως τις 11 π.μ., οι οχηματοώρες που προκύπτουν από το πρώτο σενάριο, διατηρούν μία σταθερή αναλογία με τις οχηματοώρες του σεναρίου χωρίς χρέωση, και συγκεκριμένα είναι σταθερά αυξημένες κατά περίπου 18 %, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα του δεύτερου σεναρίου που ακολουθούν συνεχώς αυξητική τάση, από το 21 έως το 33 %. Στο τελευταίο χρονικό διάστημα ανάλυσης, οι οχηματοώρες είναι κατά πολύ αυξημένες σε σχέση με αυτές που προέκυψαν από το αρχικό σενάριο. Συγκεκριμένα, η διαφοροποίησή τους είναι της τάξης του 39 και 63 % αντίστοιχα. Η υψηλή μεταβολή της αύξησης που παρατηρείται στα τελευταία διαστήματα ανάλυσης, θεωρείται ότι προκύπτει από την αυξημένη ζήτηση για κυκλοφορία εξωτερικά της ζώνης, που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των χρόνων προσπέλασης των συνδέσμων εξωτερικά της ζώνης χρέωσης.

Στο Διάγραμμα 7.4 παρουσιάζονται οι οχηματοώρες που προέκυψαν, για κάθε σενάριο και χρονικό διάστημα ανάλυσης, στο σύνολο του δικτύου του συγκοινωνιακού μοντέλου. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αποτελούν το άθροισμα των δύο προηγούμενων διαγραμμάτων. Γενικά, παρατηρείται αύξηση των οχηματοωρών που προέκυψαν για κάθε σενάριο, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές του αρχικού σεναρίου. Πιο συγκεκριμένα, αύξηση παρατηρείται στα διαστήματα 7 έως 7:30, και 8:30 π.μ. έως 11:30 π.μ. Τα οχηματοχιλιόμετρα

που υπολογίστηκαν για το δεύτερο σενάριο είναι συνεχώς μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του πρώτου σεναρίου, στα παραπάνω χρονικά διαστήματα, γεγονός αναμενόμενο αφού με την επιβολή μεγαλύτερης χρέωσης, αναμένεται μεγαλύτερο ποσοστό των μετακινούμενων να αποκλειστεί από την είσοδο στη ζώνη χρέωσης, και να στραφεί σε εναλλακτικές με κορεσμένους συνδέσμους. Στο διάστημα 7:30 έως 8:30 π.μ., οι οχηματοώρες μειώνονται σε σχέση με το αρχικό σενάριο, λόγω της μετάθεσης των χρόνων αναχωρήσεων σε περιόδους μη ισχύος του μέτρου της χρέωσης.

Συνολικά για ολόκληρη την περίοδο ανάλυσης, η εφαρμογή του μέτρου της χρέωσης θα έχει σαν επίπτωση την αύξηση των συνολικών οχηματοωρών που δαπανώνται στο σύστημα, κατά 6,6 και 12,1 % αντίστοιχα για κάθε σενάριο.

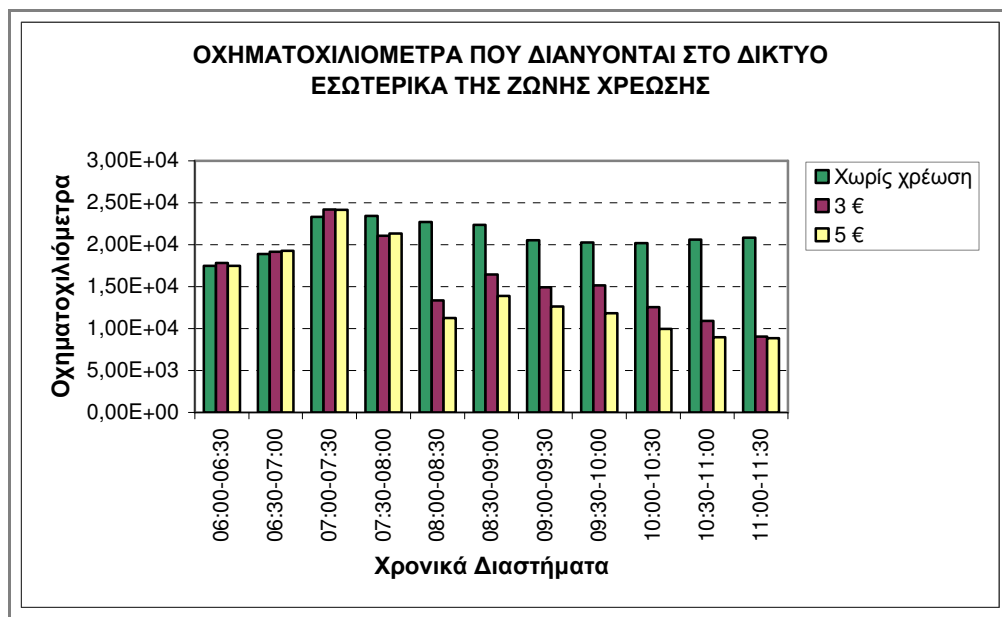


Διάγραμμα 7. 4: Οχηματοώρες στο σύνολο του δικτύου

7.1.3. Οχηματοχιλιόμετρα

Η εφαρμογή του μέτρου των αστικών διοδίων έχει σαν αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση του συστήματος μεταφορών της πόλης. Οι μετακινούμενοι κατά τη διάρκεια ισχύος του μέτρου, αναγκάζονται να στραφούν σε εναλλακτικές διαδρομές, ή να δεχτούν να επωμιστούν το νέο κόστος. Η επιλογή εναλλακτικών διαδρομών από την πλειοψηφία των μετακινούμενων, έχει σαν αποτέλεσμα την επιλογή διαδρομών μέσω οδικών αξόνων που μέχρι πρότινος δεν επέλεγαν, λόγω μεγαλύτερου γενικευμένου κόστους που οφειλόταν σε μεγαλύτερο χρόνο διαδρομής και πιθανόν και μεγαλύτερη διανυόμενη απόσταση. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το μοντέλο, σχετικά με τα οχηματοχιλιόμετρα που απαιτείται να διανυθούν, για την εξυπηρέτηση των μετακινήσεων στο δίκτυο, για κάθε σενάριο. Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται τα οχηματοχιλιόμετρα που προέκυψαν ότι διανύονται για την πραγματοποίηση των μετακινήσεων στο δίκτυο εσωτερικά της ζώνης, στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, καθώς και στο συνολικό δίκτυο, για κάθε σενάριο που μελετάται. Επισημαίνεται, για την αποφυγή δημιουργίας λάθος συμπερασμάτων σχετικά με τα διαγράμματα, ότι ο άξονας των τιμών των οχηματοχιλιομέτρων στην περίπτωση του δικτύου εσωτερικά της ζώνης χρέωσης,

αναφέρεται σε τάξεις μεγέθους 10^4 , σε αντίθεση με τα άλλα δύο διαγράμματα που ακολουθούν και αναφέρονται σε τάξεις μεγέθους 10^8 .



Διάγραμμα 7. 5: Οχηματοχιλιόμετρα στο δίκτυο εντός της ζώνης χρέωσης

Στο Διάγραμμα 7.5 παρουσιάζονται τα οχηματοχιλιόμετρα που διανύονται στο δίκτυο εσωτερικά της ζώνης χρέωσης, ανά χρονικό διάστημα και σενάριο. Συγκεκριμένα, στο διάστημα από τις 6 έως τις 7:30 π.μ., τα οχηματοχιλιόμετρα παρουσιάζουν αντίστοιχη αύξηση με τις οχηματοώρες, σε σχέση με το σενάριο μη χρέωσης, και διατηρείται η ίδια αναλογία όπως και στις οχηματοώρες στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα (Διάγραμμα 7.2). Στο χρονικό διάστημα από τις 7:30 έως τις 8 π.μ., η αυξητική πορεία έναντι του αρχικού σεναρίου συνεχίζεται, ωστόσο εμφανίζεται μία αντίθετη σχέση με τις οχηματοώρες των δύο σεναρίων. Συγκεκριμένα, αντιστοιχούν περισσότερα οχηματοχιλιόμετρα στο σενάριο με τη χρέωση των 5 €, στο οποίο αντιστοιχούν λιγότερες οχηματοώρες σε σχέση με το άλλο σενάριο χρέωσης. Από τα στοιχεία φαίνεται ότι οι μετακινούμενοι στο δεύτερο σενάριο, επιλέγουν να διέλθουν μέσω λιγότερο φορτισμένων συνδέσμων εσωτερικά της ζώνης, που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των οχηματοχιλιόμετρων και τη μείωση των οχηματοωρών έναντι του πρώτου σεναρίου.

Κατά το διάστημα έναρξης ισχύος του μέτρου της χρέωσης (8 με 8:30 π.μ.), τα οχηματοχιλιόμετρα μειώνονται σε σχέση με το αρχικό σενάριο, κατά 41 και 50 % αντίστοιχα. Εάν συνυπολογιστεί το γεγονός πως οι αντίστοιχες οχηματοώρες μειώνονται κατά 72 και 76 %, παρουσιάζεται μία σαφή βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών εσωτερικά της ζώνης. Στο χρονικό διάστημα που ακολουθεί έως τις 9 π.μ., τα οχηματοχιλιόμετρα αυξάνονται κατά περίπου 20 % και στις δύο περιπτώσεις, σε σχέση με το προηγούμενο διάστημα, απόρροια της ζήτησης αιχμής που εμφανίζεται κατά το συγκεκριμένο διάστημα. Ωστόσο, παραμένουν μειωμένα σε σχέση με το αρχικό σενάριο κατά 26 και 38 % αντίστοιχα, όπως και οι οχηματοώρες κατά 66 και 75 % αντίστοιχα, που δείχνει ότι συνεχίζουν να επικρατούν καλές κυκλοφοριακές συνθήκες εντός της ζώνης. Η ίδια εικόνα εμφανίζεται και στα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα έως το πέρας της περιόδου ανάλυσης, με τα οχηματοχιλιόμετρα να μειώνονται συνεχώς λόγω αντίστοιχης μείωσης και της ζήτησης και να φτάνουν στα επίπεδα του 40 % των αντίστοιχων οχηματοχιλιόμετρων του αρχικού σεναρίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα οχηματοχιλιόμετρα που προέκυψαν για τα διαστήματα από τις 8 έως και τις 11 π.μ., παρουσιάζουν μία σταθερή διαφορά μεταξύ τους που ισούται με περίπου το 10 % των αντίστοιχων οχηματοχιλιόμετρων του σεναρίου χωρίς χρέωση. Τα οχηματοχιλιόμετρα που έχουν υπολογιστεί για το σενάριο της χρέωσης των 5 €, είναι χαμηλότερα συνεχώς από τα

αντίστοιχα του σεναρίου των 3 € ,κατά την διάρκεια ισχύος του μέτρου. Αυτό ήταν αναμενόμενο, αφού δείχνει την ευαισθησία των μετακινουμένων στην αύξηση του διοδίου.

Για να γίνει αντιληπτή η κομβική σημασία του οδικού δικτύου που εμπεριέχεται στη ζώνη χρέωσης, για το συνολικό οδικό σύστημα της πόλης, παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί τα ποσοστά των οχηματοχιλιομέτρων που προέκυψαν ότι διανύονται εντός της ζώνης χρέωσης, επί των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων του δικτύου, για κάθε σενάριο και χρονικό διάστημα.

Πίνακας 7. 2: Ποσοστά οχηματοχιλιομέτρων που διανύονται εντός της ζώνης χρέωσης, επί των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων του συστήματος

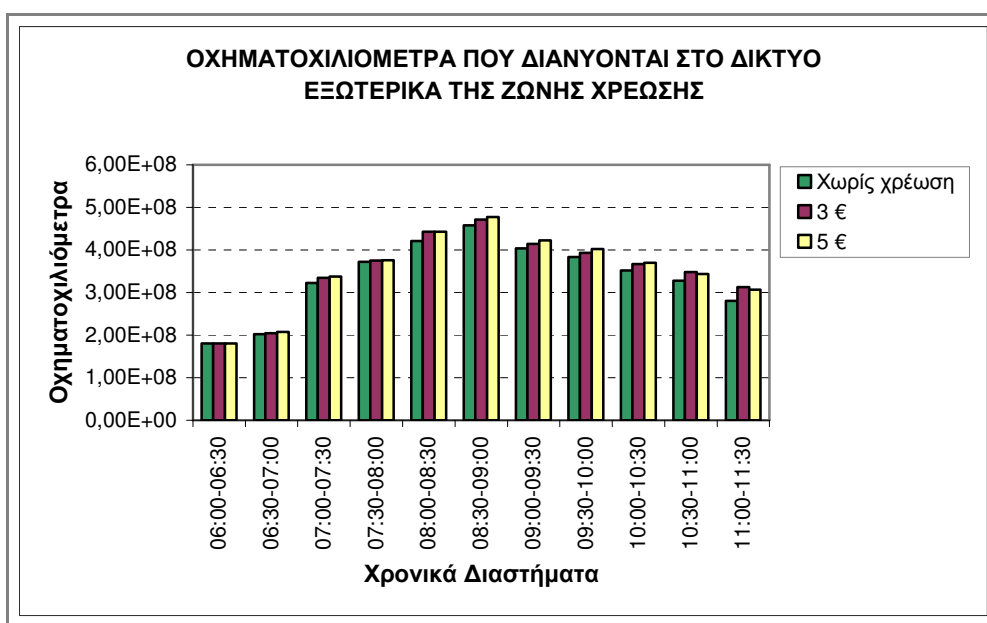
Χρονικό διάστημα / Ποσοστό	Καμία χρέωση	Χρέωση 3 €	Χρέωση 5 €
06:00 - 06:30	0,97 %	0,99 %	0,97 %
06:30 - 07:00	0,93 %	0,94 %	0,93 %
07:00 - 07:30	0,72 %	0,72 %	0,72 %
07:30 - 08:00	0,63 %	0,56 %	0,57 %
08:00 - 08:30	0,54 %	0,30 %	0,25 %
08:30 - 09:00	0,49 %	0,35 %	0,29 %
09:00 - 09:30	0,51 %	0,36 %	0,30 %
09:30 - 10:00	0,53 %	0,38 %	0,29 %
10:00 - 10:30	0,57 %	0,34 %	0,27 %
10:30 - 11:00	0,63 %	0,31 %	0,26 %
11:00 - 11:30	0,74 %	0,29 %	0,29 %

Από τον Πίνακα 7.2 προκύπτει ότι πριν την εφαρμογή της χρέωσης, διανύονται εσωτερικά της ζώνης χρέωσης κατά την περίοδο αιχμής, περίπου το 0,52 % των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων του δικτύου. Μετά την επιβολή της χρέωσης, το ποσοστό ανέρχεται περίπου στο 0,33 % και 0,27 % αντίστοιχα για κάθε σενάριο. Τα ποσοστά αυτά εάν συγκριθούν με τα αντίστοιχα των οχηματοωρών, προκύπτει μία τεράστια δυσαναλογία ποσοστών οχηματοωρών και οχηματοχιλιομέτρων, δυσαναλογία η οποία δείχνει την κομβική σημασία του κέντρου της πόλης και το λόγο εμφάνισης συχνών φαινομένων συμφόρησης εντός αυτού. Ωστόσο, με την επιβολή του μέτρου από τα στοιχεία προκύπτει ότι για το πρώτο σενάριο θα πραγματοποιηθεί μία μείωση περίπου 67 % των δαπανούμενων οχηματοωρών κατά την ώρα αιχμής, εντός της ζώνης χρέωσης σε σχέση με το αρχικό σενάριο, ενώ την ίδια στιγμή τα αντίστοιχα οχηματοχιλιόμετρα θα μειωθούν κατά 36 %. Από αυτήν τη σύγκριση, προκύπτει ότι η ταχύτητα ροής εντός της ζώνης χρέωσης, κατά την περίοδο αιχμής, αναμένεται να διπλασιαστεί σχεδόν μετά την εφαρμογή του μέτρου χρέωσης. Αντίστοιχα, για το δεύτερο σενάριο προκύπτει μία μείωση των δαπανούμενων οχηματοωρών κατά περίπου 75%, ενώ την ίδια στιγμή τα αντίστοιχα οχηματοχιλιόμετρα θα μειωθούν κατά 48 %. Επομένως, η ταχύτητα ροής εντός της ζώνης χρέωσης, κατά την περίοδο αιχμής, αναμένεται να είναι λίγο μεγαλύτερη από το διπλάσιο της ταχύτητας ροής πριν την εφαρμογή του μέτρου της χρέωσης.

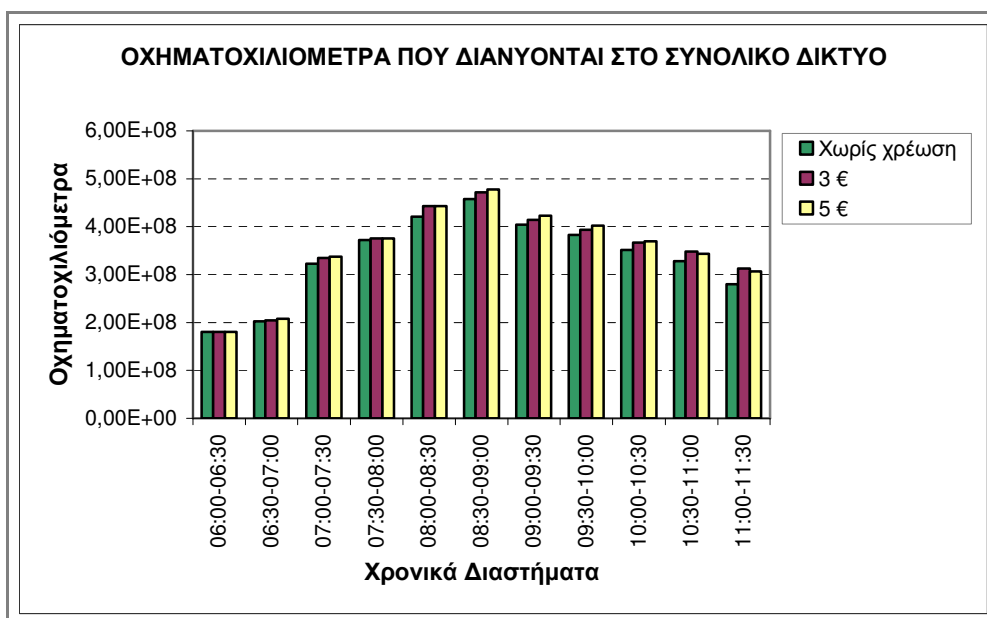
Από τον Πίνακα 7.2 προέκυψε ότι τα οχηματοχιλιόμετρα που διανύονται εντός της ζώνης χρέωσης, για κάθε χρονικό διάστημα και σενάριο, αποτελούν ελάχιστο ποσοστό (λιγότερο από 1 %) των οχηματοχιλιομέτρων στο σύνολο του δικτύου, για κάθε χρονικό διάστημα και σενάριο. Για αυτόν το λόγο, όπως φαίνεται και στα Διαγράμματα 7.6, 7.7, τα διαγράμματα που αναφέρονται στα οχηματοχιλιόμετρα που διανύονται στο συνολικό δίκτυο, αλλά και στο εξωτερικό της ζώνης χρέωσης, παρουσιάζουν ελάχιστες διαφοροποιήσεις μεταξύ τους και ως εκ τούτου, θα αναλυθούν σαν ένα.

Αρχικά, στο χρονικό διάστημα 6 έως 6:30 π.μ., δεν παρουσιάζεται κάποια μεταβολή των οχηματοχιλιομέτρων που διανύονται σε κάθε σενάριο. Στο διάστημα που ακολουθεί, εμφανίζεται μία μικρή αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων της τάξης του 1 και 2,5 % αντίστοιχα για κάθε σενάριο χρέωσης, απόρροια της μετάθεσης του χρόνου αναχώρησης ορισμένων μετακινουμένων με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους μετακίνησης τους, αφού το

συγκεκριμένο διάστημα το δίκτυο είναι ελάχιστα φορτισμένο. Κατά τη διάρκεια του διαστήματος 7 έως 7:30 π.μ., τα οχηματοχιλιόμετρα αυξάνονται κατά 2,5 και 3,5 % αντίστοιχα, σε σχέση με το σενάριο μη χρέωσης. Η αύξηση αυτή οφείλεται, όπως και στο προηγούμενο διάστημα, στην μετάθεση του χρόνου αναχώρησης νωρίτερα από την επιθυμητή ώρα. Η μετάθεση αυτή γίνεται ώστε να μπορούν, όσοι κρίνουν σκόπιμο, να εισέλθουν στη ζώνη χρέωσης πριν την έναρξη ισχύος του μέτρου. Αυτό, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ζήτησης, και επομένως της κυκλοφορίας των οχημάτων, που οδηγεί ορισμένους μετακινούμενους να στραφούν σε διαδρομές μεγαλύτερης απόστασης προκειμένου να αποφύγουν την αυξημένη κυκλοφορία σε ορισμένους συνδέσμους.



Διάγραμμα 7. 6: Οχηματοχιλιόμετρα στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης



Διάγραμμα 7. 7: Οχηματοχιλιόμετρα στο σύνολο του δικτύου

Στο χρονικό διάστημα μεταξύ 7:30 και 8 π.μ., εμφανίζεται αμελητέα αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων, που με δεδομένη την ελάχιστη αύξηση των αντίστοιχων οχηματοωρών

στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, και τη μείωση στο συνολικό δίκτυο, υποδεικνύει ότι εμφανίζονται φαινόμενα αυξημένης κυκλοφορίας και πιθανής συμφόρησης στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης. Στο διάστημα 8 με 8:30 π.μ., που ξεκινάει και η ισχύς του μέτρου, εμφανίζεται μία αύξηση της τάξης του 5 % και στα δύο σενάρια χρέωσης, ως προς τα οχηματοχιλιόμετρα του αρχικού σεναρίου. Η αύξηση αυτή είναι αναμενόμενη, αφού μεταβάλλεται ουσιαστικά το σύστημα προσφοράς και οι μετακινούμενοι επιλέγουν εναλλακτικές διαδρομές, σε συνδυασμό με την είσοδο στην ώρα αιχμής. Επομένως, εμφανίζονται φαινόμενα συμφόρησης εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, όπως δείχνει και το Διάγραμμα 7.3 όπου εμφανίζεται αύξηση των οχηματοωρών εξωτερικά της ζώνης.

Παρόμοια κατάσταση εμφανίζεται και στα διαστήματα που ακολουθούν μέχρι το πέρας της περιόδου ανάλυσης, με αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων και ταυτόχρονη αύξηση των οχηματοωρών, εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, σε σύγκριση με το αρχικό σενάριο. Η μέγιστη αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων εμφανίζεται μετά τις 10, όπου δηλαδή το σύστημα είναι φορτισμένο σε μεγάλο βαθμό και παρουσιάζεται αύξηση των οχηματοωρών, που υποδεικνύει την διατήρηση φαινομένων συμφόρησης στο δίκτυο, και επομένως οι μετακινούμενοι επιλέγουν διαδρομές μεγαλύτερης απόστασης ώστε να αποφύγουν τη συμφόρηση. Η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στο διάστημα μεταξύ 11 έως 11:30 π.μ., και είναι της τάξης του 11,5 και 9,5 % αντίστοιχα για κάθε σενάριο χρέωσης. Λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι στο συγκεκριμένο διάστημα εμφανίζεται και μεγάλη αύξηση των δαπανούμενων οχηματοωρών εξωτερικά της ζώνης, σε σχέση με το προηγούμενο διάστημα, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το σύστημα εξωτερικά της ζώνης, εμφανίζει φαινόμενα συμφόρησης σε μεγάλο βαθμό.

Συνολικά για ολόκληρη την περίοδο ανάλυσης, η εφαρμογή του μέτρου της χρέωσης θα έχει σαν επίπτωση την αύξηση των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων που διανύονται στο σύστημα, κατά 3,8 και 4,4 % αντίστοιχα για κάθε σενάριο. Η αντίστοιχη αύξηση των οχηματοωρών είναι της τάξης του 6,6 και 12,1 % αντιστοίχως. Από τα παραπάνω στοιχεία φαίνεται ότι τα οχηματοχιλιόμετρα δεν αυξήθηκαν ανάλογα με τις οχηματοώρες, σύγκριση που δείχνει ότι και στις εναλλακτικές διαδρομές εμφανίστηκαν από ένα σημείο και έπειτα, φαινόμενα συμφόρησης, που δεν επιτρέπουν την περαιτέρω μείωση των χρόνων διαδρομών, με αποτέλεσμα την αύξηση των οχηματοωρών εξωτερικά της ζώνης χρέωσης. Ωστόσο, το μέγεθος της αύξησης των οχηματοχιλιομέτρων μετά την εφαρμογή του μέτρου, δεν θεωρείται απαγορευτική και δείχνει ότι ίσως μπορεί και πρέπει να μελετηθεί και μία ενδεχόμενη διεύρυνση των ορίων της ζώνης χρέωσης, πέρα από αυτά που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Πίνακας 7. 3: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου

Τιμή χρέωσης	Ποσοστιαία αύξηση εισροής
3 €	-37,91 %
5 €	-44,27 %

Πίνακας 7. 4: Ποσοστιαία αύξηση δαπανούμενων οχηματοωρών στο δίκτυο, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης	3 €	5 €
Σύνολο δικτύου	3,51 %	3,56 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	14,23 %	4,87 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-58,97 %	-17,62 %

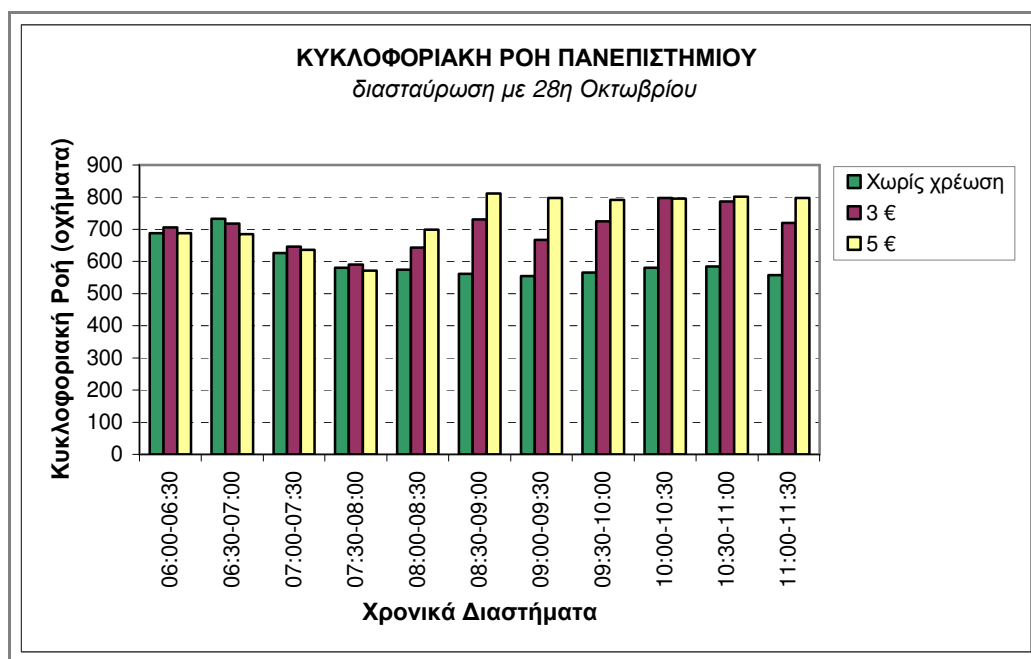
Πίνακας 7. 5: Ποσοστιαία αύξηση διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης	3 €	5 €
Σύνολο δικτύου	3,78 %	4,37 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	3,78 %	4,37 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-24,27 %	-30,80 %

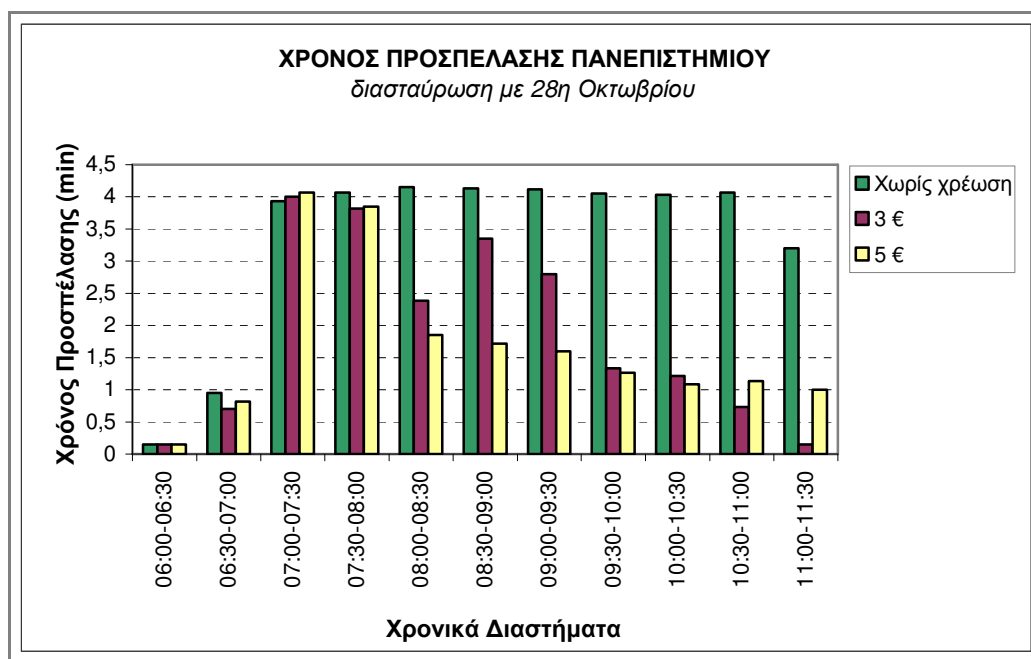
7.1.4. Επιπτώσεις μέτρου αστικών διοδίων σε συγκεκριμένες θέσεις του δικτύου

Στις ενότητες που προηγήθηκαν παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των σεναρίων που μελετήθηκαν και σχετίζονται με τη μελέτη των δυναμικών επιπτώσεων της εφαρμογής του μέτρου των αστικών διοδίων στο οδικό δίκτυο της πόλης. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, αξιοποιήθηκαν για τη μακροσκοπική ανάλυση του συστήματος και των χαρακτηριστικών αυτού. Στη συγκεκριμένη ενότητα, παρουσιάζονται κάποια ενδεικτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τη μελέτη των σεναρίων, σε συγκεκριμένες θέσεις του δικτύου. Εντούτοις, θα παρουσιαστούν δεδομένα που σχετίζονται με την κυκλοφοριακή ροή, καθώς και τους χρόνους προσπέλασης, συγκεκριμένων οδικών συνδέσμων του δικτύου. Η επιλογή έγινε με κριτήριο την πραγματοποίηση ανάλυσης των επιπτώσεων της επιβολής του μέτρου των αστικών διοδίων, σε μερικό επίπεδο.

Αρχικά, επιλέχθηκε η παρουσίαση των δυναμικών δεδομένων ενός συνδέσμου εντός της περιοχής χρέωσης, για να μπορέσουν να καθοριστούν οι επιπτώσεις των διαφορετικών σεναρίων που μελετήθηκαν. Συγκεκριμένα, στα διαγράμματα που ακολουθούν, εμφανίζονται οι τιμές της κυκλοφοριακής ροής και του χρόνου προσπέλασης, του συνδέσμου της Πανεπιστημίου, στο τμήμα πριν τη διασταύρωσή της με την 28^η Οκτωβρίου, για κάθε χρονικό διάστημα ανάλυσης και σενάριο.



Διάγραμμα 7. 8: Η κυκλοφοριακή ροή της Πανεπιστημίου (διασταύρωση με 28^η Οκτωβρίου)



Διάγραμμα 7. 9: Ο χρόνος προσπέλασης της Πανεπιστημίου (διασταύρωση με 28^η Οκτωβρίου)

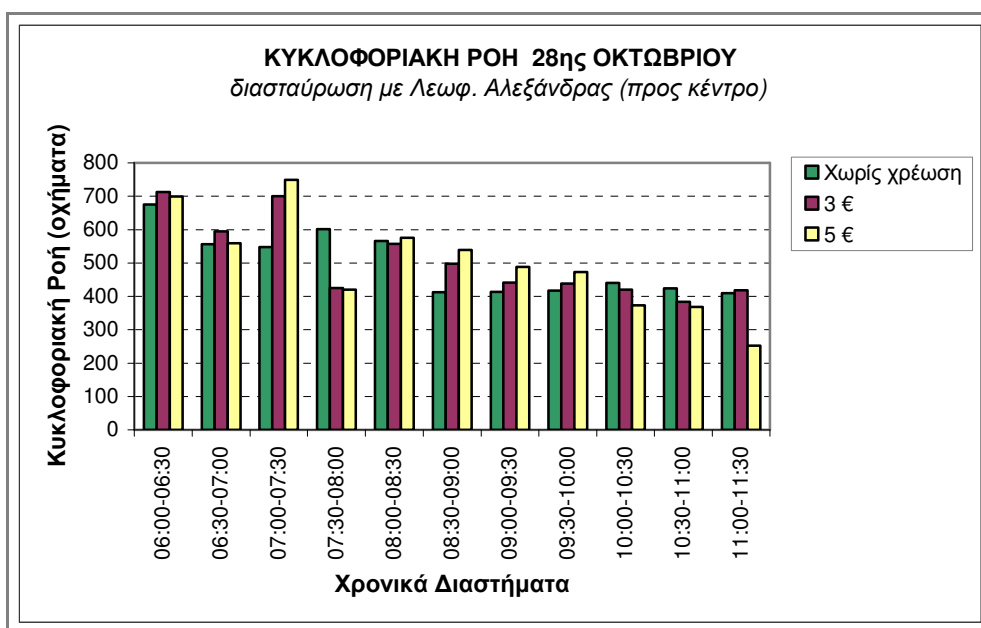
Από τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρούμε ότι ο χρόνος προσπέλασης αυξήθηκε σε σύγκριση με το σενάριο χωρίς χρέωση, μόνο κατά το διάστημα από τις 7 έως τις 7:30 π.μ., δηλαδή κατά το διάστημα που δεν είναι σε ισχύ το μέτρο και παρουσιάζεται αυξημένη εισροή οχημάτων στη ζώνη χρέωσης. Από την έναρξη ισχύος του μέτρου και έπειτα, ο χρόνος προσπέλασης που προκύπτει από τα 2 σενάρια χρέωσης, μειώνεται συνεχώς και κυμαίνεται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με το αρχικό σενάριο. Η κυκλοφοριακή ροή παραμένει επίσης σε υψηλά επίπεδα, και με δεδομένη τη μείωση του χρόνου προσπέλασης, συμπεραίνουμε ότι οι κυκλοφοριακές συνθήκες εσωτερικά της ζώνης χρέωσης, βελτιώνονται αισθητά με την εφαρμογή του μέτρου, αντίθετα με το αρχικό σενάριο που παρουσιάζονται συνθήκες κορεσμού από τις 7 και έπειτα.

Στη συνέχεια, θα γίνει προσπάθεια προσδιορισμού των επιπτώσεων της επιβολής του μέτρου, σε συνδέσμους που βρίσκονται στα όρια της ζώνης και περιφερειακά αυτών. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη μελέτη των σεναρίων για τους παρακάτω συνδέσμους, 28^η Οκτωβρίου (διασταύρωση με Λεωφόρο Αλεξάνδρας – κατεύθυνση προς κέντρο), και Μεσογείων (διασταύρωση με Κατεχάκη – κατεύθυνση προς Αγία Παρασκευή). Τα αποτελέσματα των παραπάνω συνδέσμων παρουσιάζονται στα διαγράμματα κυκλοφοριακής ροής και χρόνου προσπέλασης, που ακολουθούν.

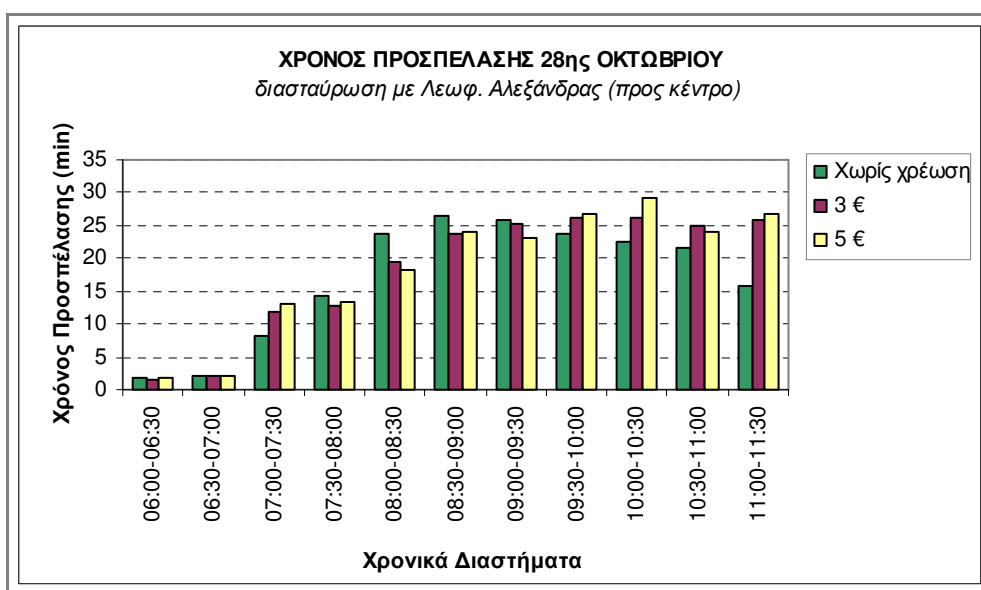
Από το Διάγραμμα 7.10 παρατηρείται ότι από την έναρξη εφαρμογής του μέτρου και έπειτα, παρουσιάζεται αρχικά μία μείωση της κυκλοφοριακής ροής, και στη συνέχεια μία σταθεροποίηση της τιμής της για τα σενάρια χρέωσης. Ωστόσο, η κυκλοφοριακή ροή των δύο σεναρίων χρέωσης, κατέρχεται σε σχέση με το σενάριο μη χρέωσης. Συγκεκριμένα, για το σενάριο της χρέωσης των 3 €, η κυκλοφοριακή ροή που εξυπηρετείται, αντιστοιχεί περίπου στο 50 % της αρχικής ροής, ενώ η κυκλοφοριακή ροή που προέκυψε για το δεύτερο σενάριο, αντιστοιχεί από το 25 έως το 40 % της αρχικής ροής. Λαμβάνοντας υπόψη και τον αυξανόμενο χρόνο προσπέλασης, με εξαίρεση το διάστημα 10:30 με 11π.μ., συμπεραίνουμε ότι με την εφαρμογή του μέτρου της χρέωσης, η ζήτηση για κυκλοφορία αυξάνεται και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία καταστάσεων εκτεταμένης χρονικά συμφόρησης, από την αρχή ισχύος του μέτρου και έπειτα.

Αρχικά, εμφανίζεται μία αύξηση της κυκλοφοριακής ροής κατά το διάστημα 7 έως και τις 7:30 π.μ. για τα δύο σενάρια, αύξηση η οποία συμβαδίζει με την αυξημένη εισροή οχημάτων εντός της ζώνης χρέωσης, όπως υπολογίστηκε κατά τη μακροσκοπική ανάλυση. Στο επόμενο διάστημα, η ροή μειώνεται και αυξάνεται ο χρόνος προσπέλασης. Στο διάστημα 8

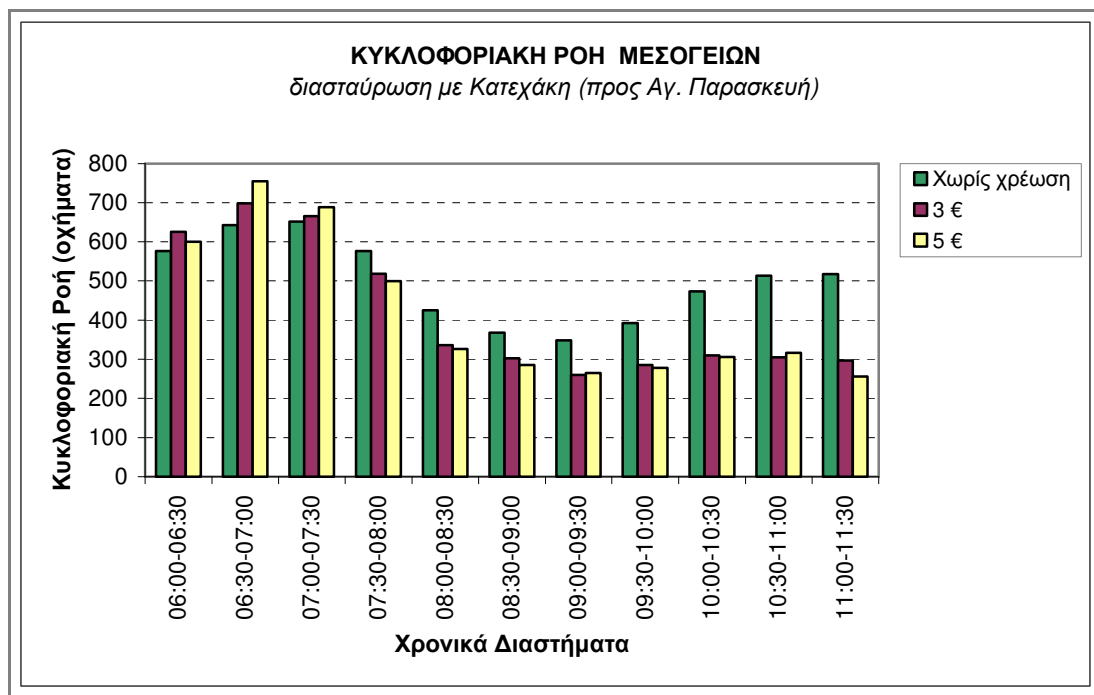
με 8:30 π.μ. Η κυκλοφοριακή ροή αυξάνεται πάλι, απόρροια της αιχμής της ζήτησης σε αυτό το διάστημα. Η αύξηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή αύξηση του χρόνου προσπέλασης, έως και τις 10:30 π.μ. Η αύξηση αυτή συνοδεύεται από μείωση της κυκλοφοριακής ζήτησης, που υποδεικνύει την εμφάνιση συμφόρησης. Έως τις 9:30 π.μ., ο χρόνος προσπέλασης που προκύπτει για τα σενάρια χρέωσης, είναι μικρότερος από τον αντίστοιχο του αρχικού σεναρίου, και η κυκλοφοριακή ροή είναι μεγαλύτερη για τα σενάρια χρέωσης. Στο χρονικό διάστημα που υπολείπεται έως το πέρας της περιόδου ανάλυσης, ο χρόνος προσπέλασης για τα σενάρια χρέωσης είναι συνεχώς μεγαλύτερος, από το αρχικό σενάριο. Στο διάστημα 9:30 έως 10 π.μ., η κυκλοφοριακή ροή που εξυπηρετείται με την εφαρμογή των σεναρίων, είναι μεγαλύτερη από το αρχικό σενάριο, και εν συνεχεία αντιστρέφονται έως το τέλος της περιόδου ανάλυσης. Στο τελευταίο διάστημα, για το δεύτερο σενάριο χρέωσης, φαίνεται να εμφανίζεται κορεσμός. Ο χρόνος προσπέλασης παραμένει μετά τις 7 π.μ., συνεχώς σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα, γεγονός που υποδηλώνει μία συνεχή κατάσταση μειωμένης εξυπηρέτησης της κυκλοφορίας.



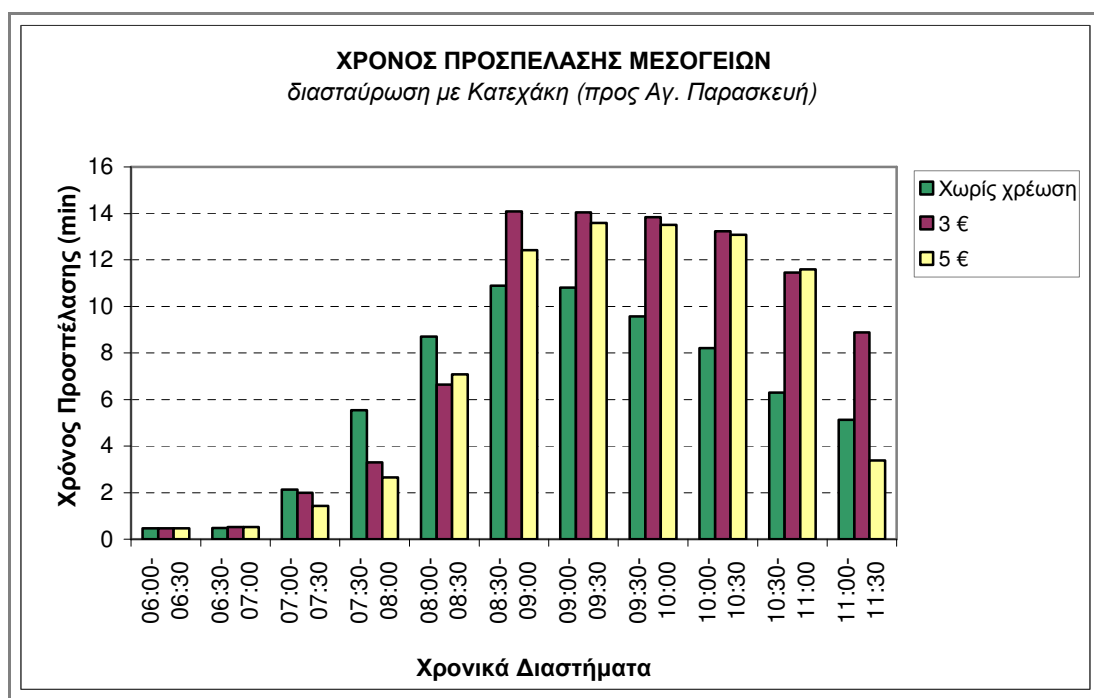
Διάγραμμα 7. 10: Η κυκλοφοριακή ροή της 28^{ης} Οκτωβρίου (διασταύρωση με Λ. Αλεξάνδρας – προς κέντρο)



Διάγραμμα 7. 11: Ο χρόνος προσπέλασης της 28^{ης} Οκτωβρίου (διασταύρωση με Λ. Αλεξάνδρας – προς κέντρο)



Διάγραμμα 7. 12: Η κυκλοφοριακή ροή της Μεσογείων (διασταύρωση με Κατεχάκη – προς Αγ. Παρασκευή)

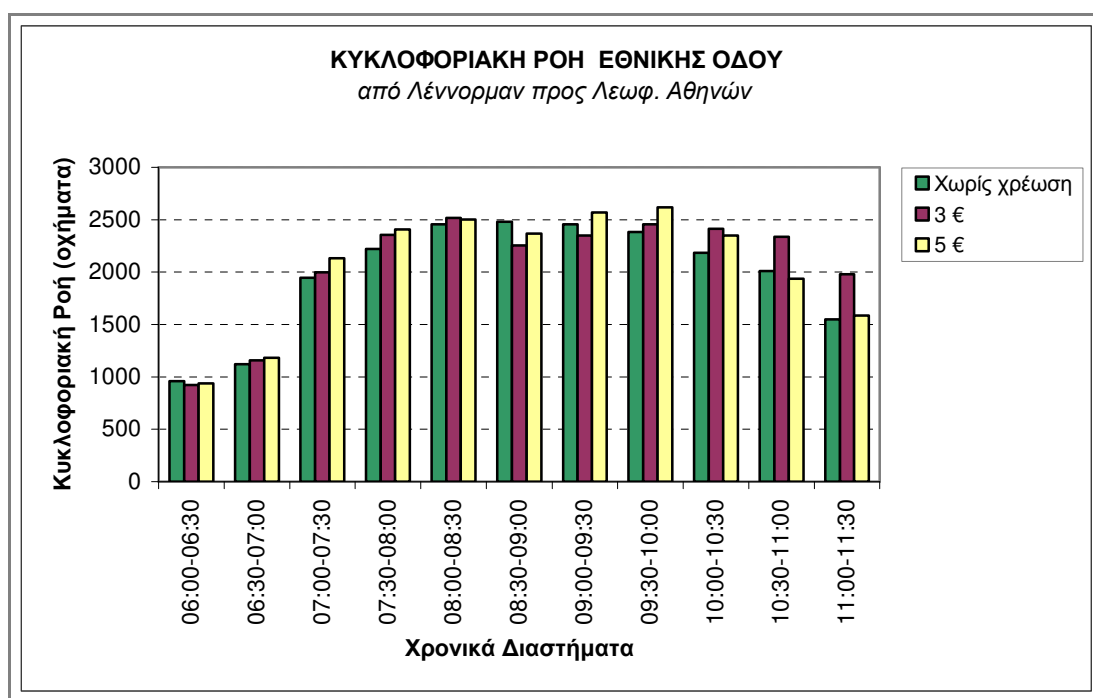


Διάγραμμα 7. 13: Ο χρόνος προσπέλασης της Μεσογείων (διασταύρωση με Κατεχάκη – προς Αγ. Παρασκευή)

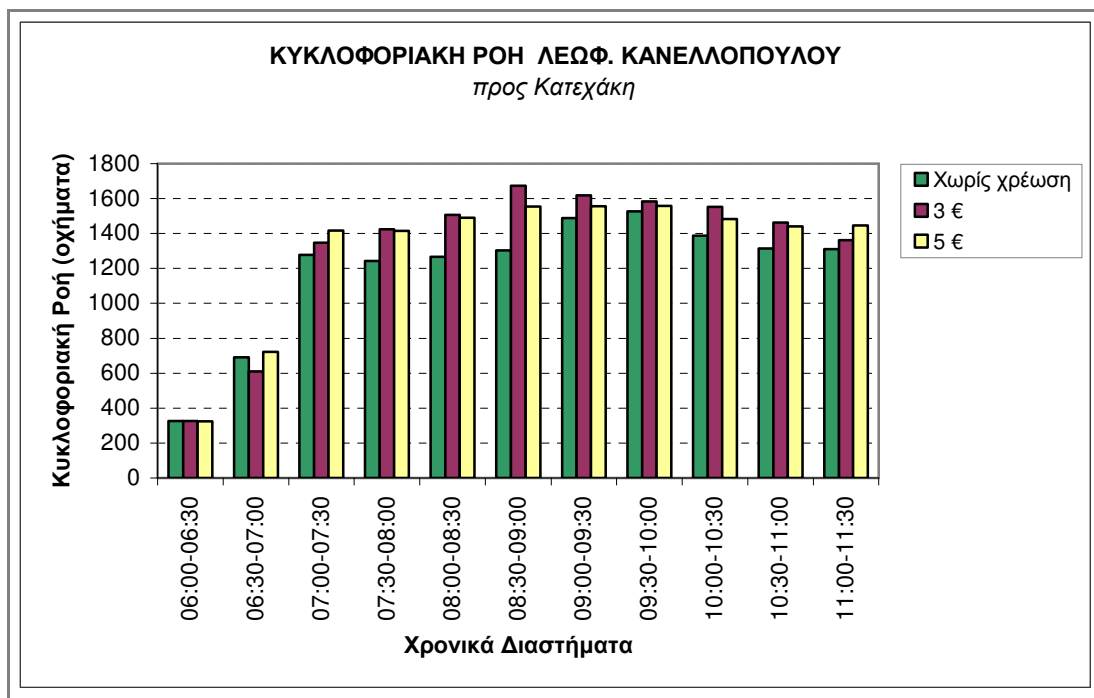
Ο συγκεκριμένος σύνδεσμος (Μεσογείων) βρίσκεται περιφερειακά της ζώνης χρέωσης και επιλέχθηκε ώστε να μελετηθούν οι επιπτώσεις του μέτρου, σε ένα σύνδεσμο που δεν βρίσκεται στην άμεση ζώνη επιρροής, αλλά στην ευρύτερη. Από την αρχή της περιόδου ανάλυσης, παρουσιάζεται μία αύξηση στη ροή κυκλοφορίας του συνδέσμου, για τα δύο σενάρια χρέωσης, σε σχέση με το αρχικό. Η αύξηση αυτή δε συνοδεύεται από αύξηση του χρόνου προσπέλασης, γεγονός που δείχνει ότι αρχικά έχουμε καταστάσεις ελεύθερης ροής. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην μετάθεση των χρόνων αναχώρησης νωρίτερα από την επιθυμητή, ώστε να αποφευχθεί η χρέωση και πιθανή αυξημένη κυκλοφορία στο δίκτυο. Στο

επόμενο χρονικό διάστημα ανάλυσης που ακολουθεί (7:30 έως 8 π.μ.), παρατηρείται μία μείωση της κυκλοφοριακής ροής, με ταυτόχρονη μείωση του χρόνου προσπέλασης, για κάθε σενάριο χρέωσης σε σύγκριση με το αρχικό. Ωστόσο, η αύξηση του χρόνου ροής με την ταυτόχρονη μείωση της ροής, για το αρχικό σενάριο, δείχνει ότι αρχίζουν να εμφανίζονται προβλήματα αυξημένης ζήτησης σε αυτήν την περίπτωση. Στις περιπτώσεις των σεναρίων, η αύξηση του χρόνου προσπέλασης κατά περίπου 100 %, προκαλεί μείωση της ροής κατά περίπου 25 %. Η μείωση της ροής συνεχίζεται έως και τις 9:30 π.μ., και συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση του χρόνου προσπέλασης, και για τα τρία σενάρια. Από τις 9:30 και μετά, η κυκλοφοριακή ροή αυξάνεται και στα τρία σενάρια, και συνοδεύεται από μείωση του χρόνου προσπέλασης. Ωστόσο, η αύξηση που παρατηρείται στη ροή για τα σενάρια χρέωσης, είναι εμφανώς μικρότερη από αυτή του αρχικού σεναρίου. Γεγονός που υποδεικνύει ότι το μέτρο της χρέωσης δυσχεραίνει τις κυκλοφοριακές συνθήκες στο συγκεκριμένο σύνδεσμο, λόγω της αύξησης της ζήτησης που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της εξυπηρετούμενης ροής, από 15 έως και 40 % σε σχέση με το αρχικό σενάριο που δεν περιλαμβάνει τη χρέωση.

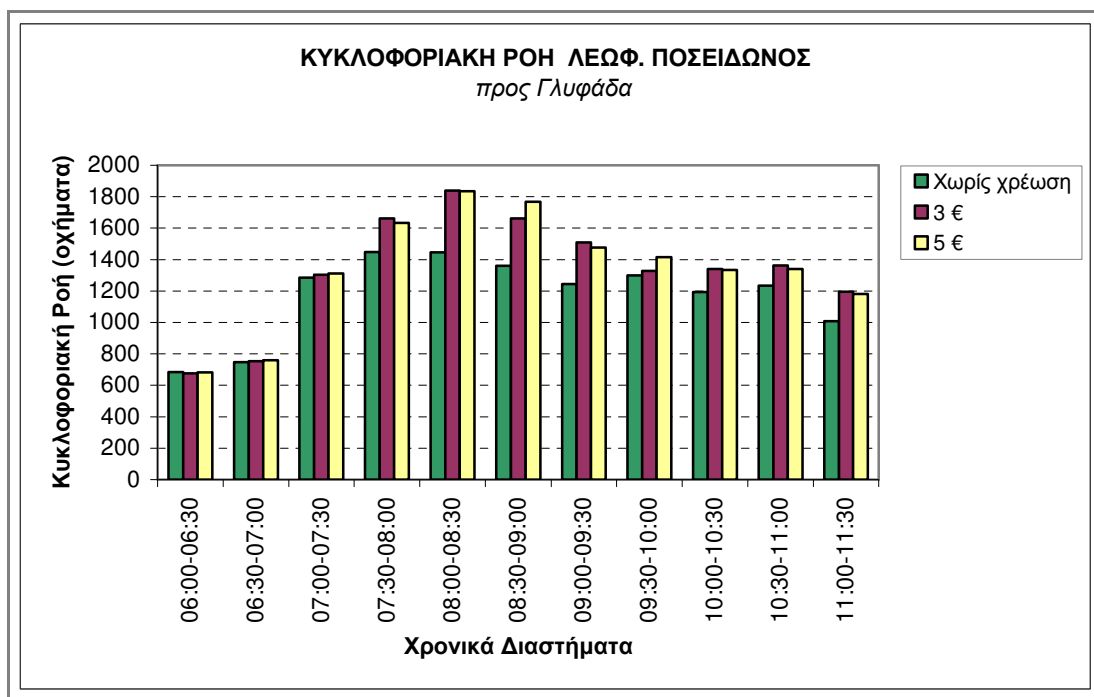
Στα διαγράμματα που ακολουθούν (Διαγράμματα 7.14 έως 7.17), εμφανίζεται η ροή των οχημάτων, για κάθε σενάριο και χρονικό διάστημα, σε ορισμένους συνδέσμους. Οι συγκεκριμένοι σύνδεσμοι επιλέχθηκαν, έτσι ώστε να σχηματιστεί μία εικόνα του καταμερισμού στο δίκτυο που γίνεται σε κάθε σενάριο. Συγκεκριμένα, η Εθνική οδός, η λεωφόρος Κανελλοπούλου, και η λεωφόρος Ποσειδώνος εμφανίζουν αύξηση της ροής κυκλοφορίας, κατά την περίοδο ισχύος του μέτρου της χρέωσης, ως αποτέλεσμα της διοχέτευσης επιπρόσθετης κυκλοφορίας σε αυτές. Η αύξηση αυτή υποδεικνύει ότι οι μετακινούμενοι επιλέγουν εναλλακτικές διαδρομές που περιέχουν τη χρησιμοποίηση κεντρικών οδικών αξόνων της πόλης, με αποτέλεσμα την εμφάνιση καταστάσεων αυξημένης κυκλοφορίας σε αυτούς. Επίσης, οι μετακινούμενοι επιλέγουν να κινηθούν περιμετρικά της ζώνης χρέωσης και να μην επωμιστούν το κόστος των διοδίων. Το Διάγραμμα 7.19, δείχνει την κυκλοφοριακή ροή στην οδό Υμηττού, η οποία εμφανίζει αύξηση της κυκλοφορίας από 10 έως 30 % με την εφαρμογή του μέτρου. Η αύξηση αυτή έχει σαν άμεση συνέπεια τη δημιουργία καταστάσεων αυξημένης κυκλοφορίας σε παρακείμενες αυτής οδούς, όπου θα εξέλθουν τα οχήματα που κυκλοφορούν σε αυτή.



Διάγραμμα 7. 14: Η κυκλοφοριακή ροή της Εθνική Οδού (από Λέννορμαν προς Λεωφ. Αθηνών)

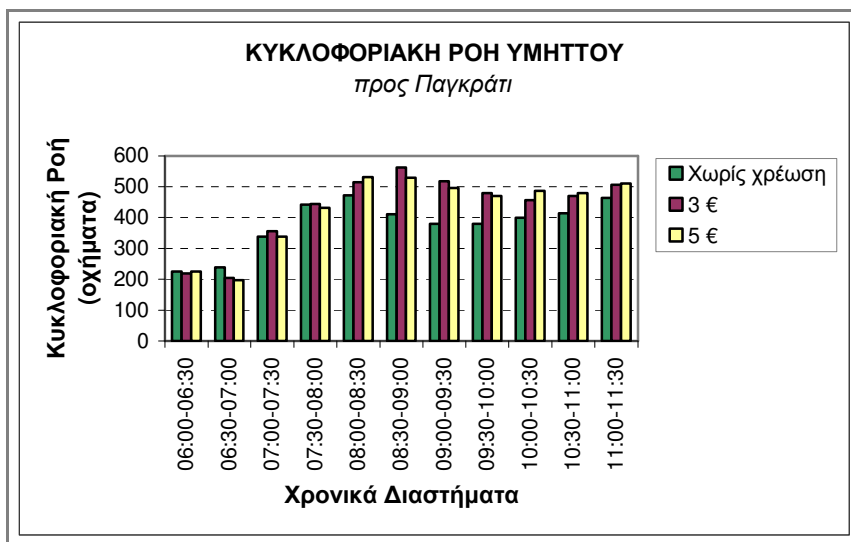


Διάγραμμα 7. 15: Η κυκλοφοριακή ροή της Λεωφ. Κανελλοπούλου (προς Κατεχάκη)

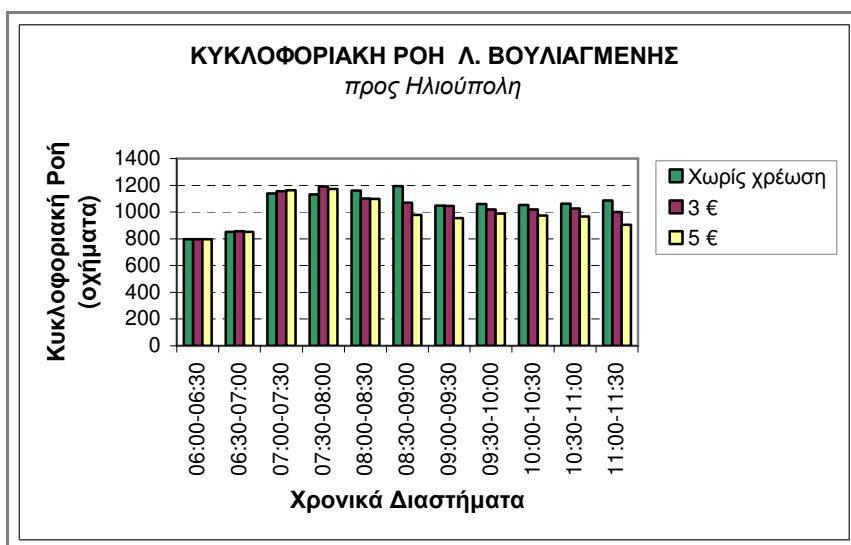


Διάγραμμα 7. 16: Η κυκλοφοριακή ροή της Λεωφ. Ποσειδώνος (προς Γλυφάδα)

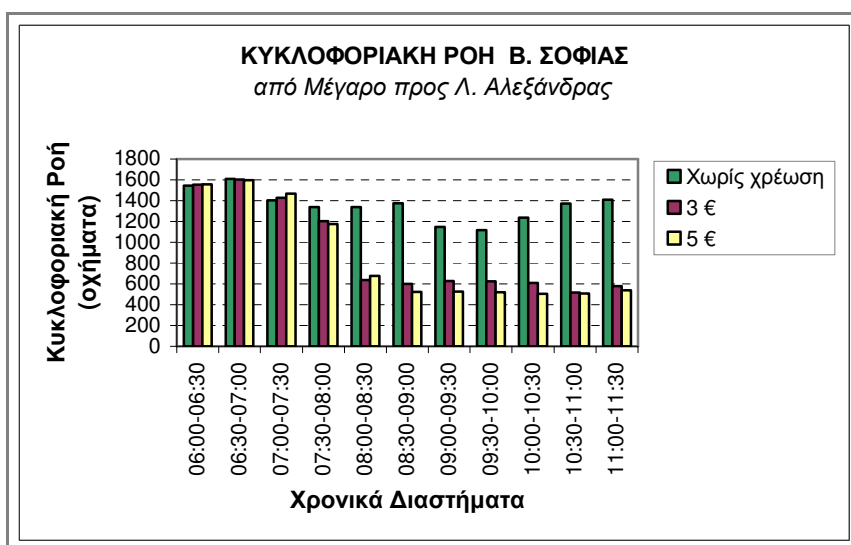
Στα διαγράμματα που ακολουθούν, έπειτα από το 7.17, εμφανίζεται η ροή κυκλοφορίας σε συνδέσμους που εμφανίζουν λιγότερη ζήτηση κυκλοφορίας μετά την εφαρμογή του μέτρου. Αυτή η μείωση της ζήτησης μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι μέρος των συνδέσμων που τροφοδοτούν το σύνδεσμο πριν την εφαρμογή του μέτρου, μετά την εφαρμογή εμφανίζουν λιγότερη ζήτηση γιατί εμπεριέχονται στη ζώνη χρέωσης, ή τροφοδοτούνται από αυτή (Διάγραμμα 7.18). Επίσης, μειωμένη ζήτηση εμφανίζεται στους συνδέσμους που βρίσκονται εσωτερικά της ζώνης χρέωσης (Διάγραμμα 7.19), όπως και στους συνδέσμους που καταλήγουν στη εντός της ζώνης χρέωσης, και δεν μπορεί μεγάλο μέρος της χωρητικότητάς τους να εξέλθει σε συνδέσμους πριν την είσοδο στη ζώνη χρέωσης.



Διάγραμμα 7. 17: Η κυκλοφοριακή ροή της Υμηττού (προς Παγκράτι)



Διάγραμμα 7. 18: Η κυκλοφοριακή ροή της Λ. Βουλιαγμένης (προς Ηλιούπολη)



Διάγραμμα 7. 19: Η κυκλοφοριακή ροή της Β. Σοφίας (από Μέγαρο προς Λ. Αλεξάνδρας)

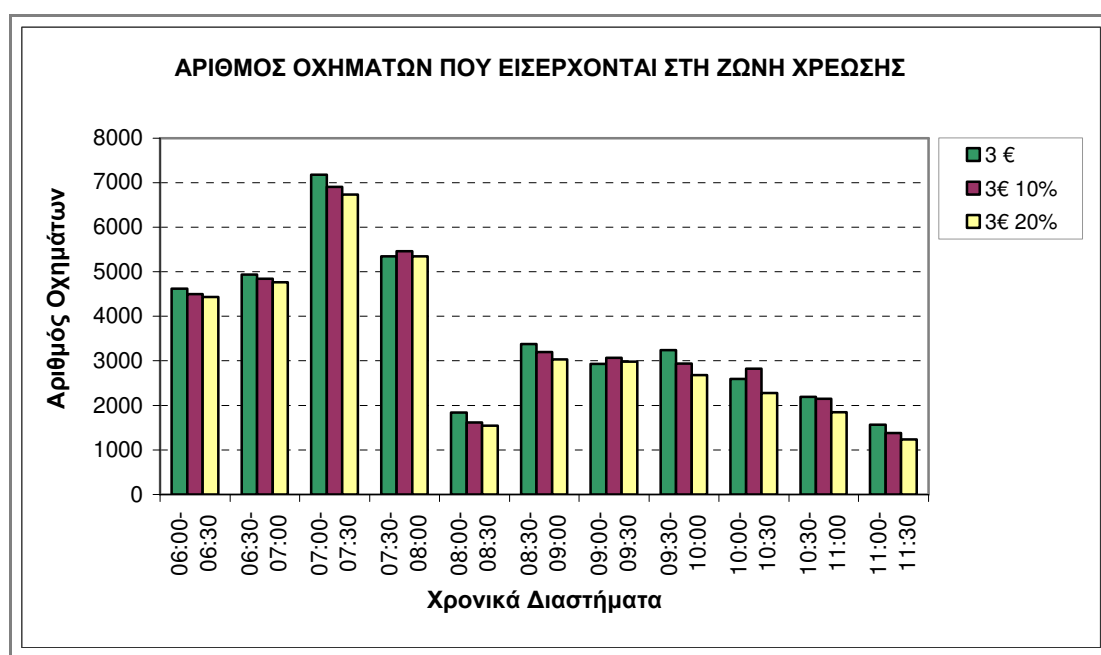
7.2. Αποτελέσματα Σεναρίων Ανάλυσης Ευαισθησίας

Τα σενάρια ανάλυσης ευαισθησίας χρησιμοποιήθηκαν για να μελετηθούν οι επιδράσεις εφαρμογής του μέτρου των αστικών διοδίων στο οδικό δίκτυο της πόλης, σε συνδυασμό με μία μείωση της ζήτησης προς τις κυκλοφοριακές ζώνες που περικλείονται ή τέμνονται από τη ζώνη χρέωσης. Η εφαρμογή του μέτρου της χρέωσης, θεωρήθηκε ότι εφαρμόζεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο όπως και στα σενάρια ανάλυσης. Η διαφοροποίηση με τα σενάρια ανάλυσης έγκειται στο γεγονός ότι σε αυτήν την ενότητα σεναρίων θεωρήθηκε ότι προκύπτει μία μείωση της ζήτησης για μετακίνηση με Ι.Χ., από την εφαρμογή του μέτρου των αστικών διοδίων. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν οι επιπτώσεις της εφαρμογής του μέτρου για τιμές χρέωσης 3 και 5 €, με ταυτόχρονη μείωση της ζήτησης προς τις κυκλοφοριακές ζώνες εντός του δακτυλίου, ίση με 10 και 20 %. Η πρώτη ενότητα παρουσιάζει τα δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή του μέτρου με ταυτόχρονες μειώσεις της ζήτησης, όπως αυτές αναφέρθηκαν, σε σχέση με τα δεδομένα που έχουν προκύψει από την εφαρμογή του μέτρου για την αρχική ζήτηση, και ίδιες τιμές χρέωσης. Η δεύτερη ενότητα είναι όμοια με την πρώτη, με μόνη διαφορά τη διαφοροποίηση των δεδομένων σύγκρισης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης τα δεδομένα που έχουν προκύψει πριν την εφαρμογή του μέτρου.

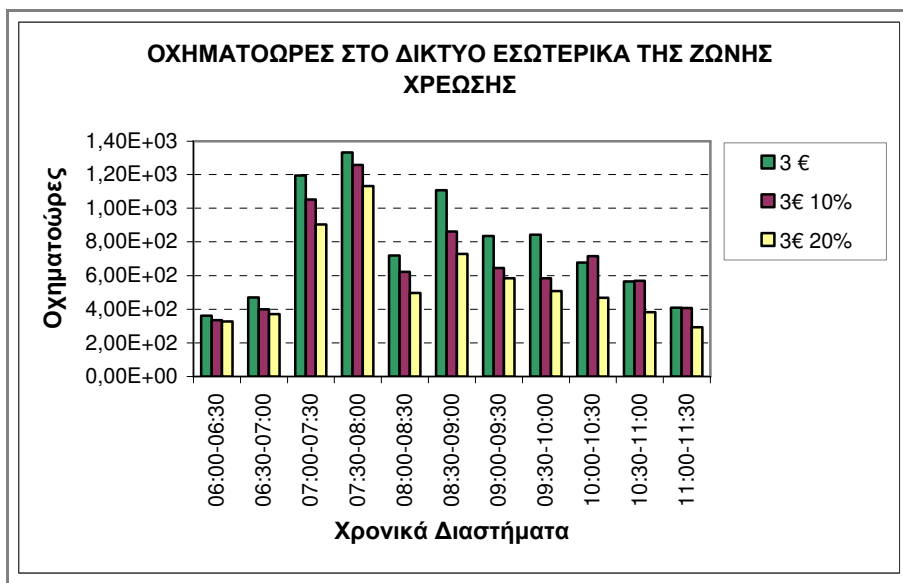
7.2.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ των εφαρμογών του μέτρου για ίδια χρέωση και διαφορετική ζήτηση

Αρχικά, παρουσιάζονται ορισμένα διαγράμματα που δείχνουν συγκεντρωτικά στοιχεία εφαρμογής του μέτρου, για ίδιες τιμές χρέωσης και διαφορετική ζήτηση. Τα συγκεντρωτικά στοιχεία που περιλαμβάνονται και αναπαρίστανται στα διαγράμματα, αφορούν, όπως και για τα σενάρια αναφοράς, δεδομένα σχετικά με τις μετακινήσεις, όπως εισροή οχημάτων στη ζώνη χρέωσης, οχηματοώρες και οχηματοχιλιόμετρα.

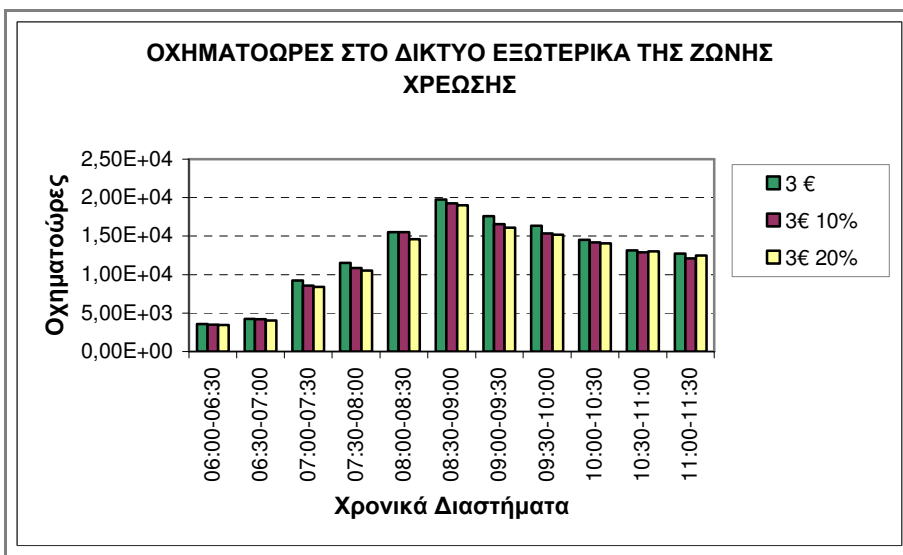
Τιμή χρέωσης 3 €



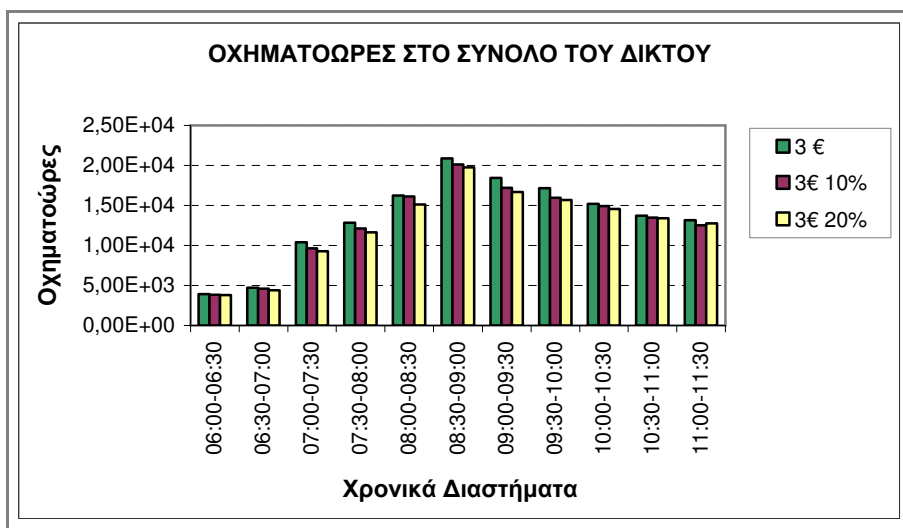
Διάγραμμα 7. 20: Αριθμός εισερχομένων οχημάτων στη ζώνη χρέωσης



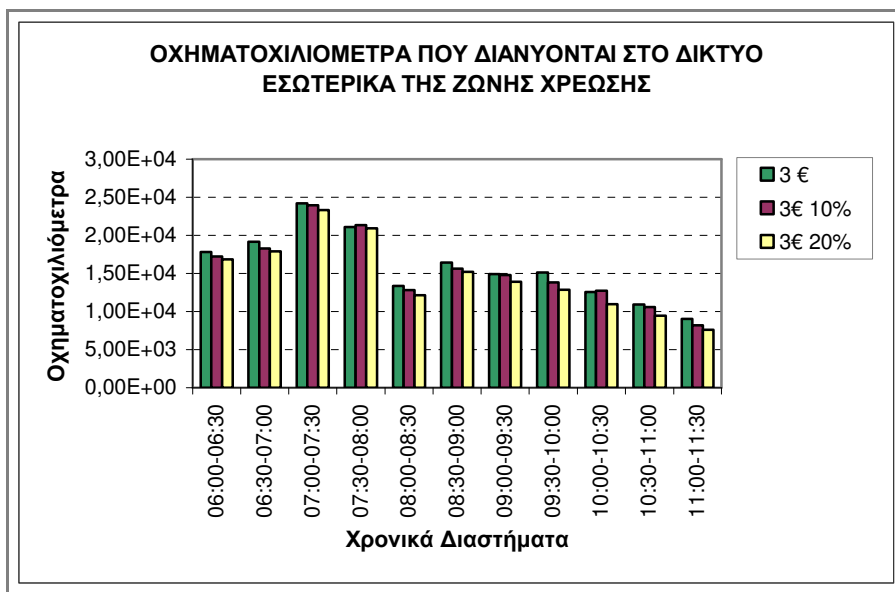
Διάγραμμα 7. 21: Οχηματοώρες εσωτερικά της ζώνης χρέωσης



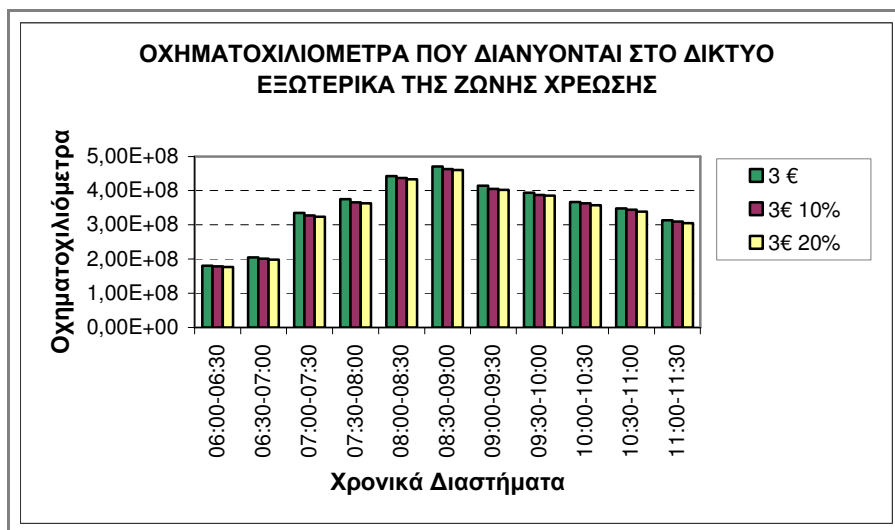
Διάγραμμα 7. 22: Οχηματοώρες εξωτερικά της ζώνης χρέωσης



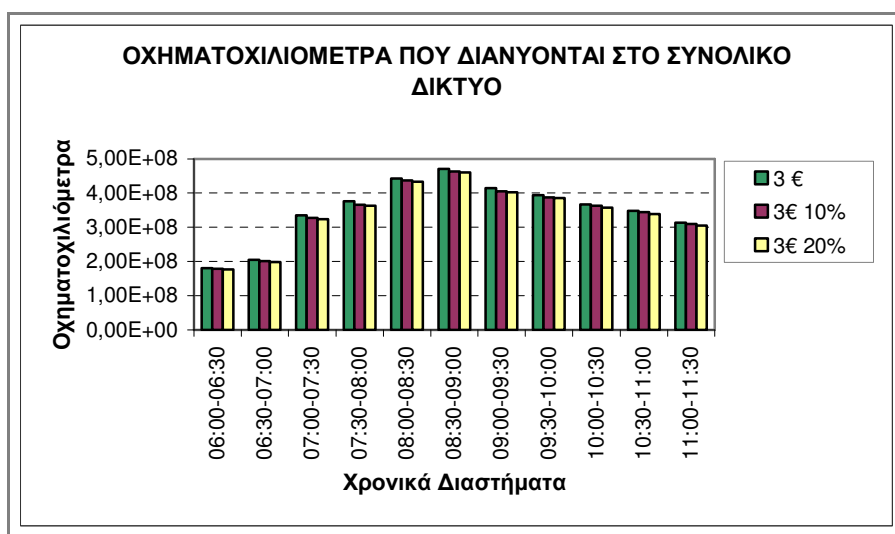
Διάγραμμα 7. 23: Οχηματοώρες στο σύνολο του δικτύου



Διάγραμμα 7. 24: Οχηματοχιλιόμετρα εσωτερικά της ζώνης χρέωσης

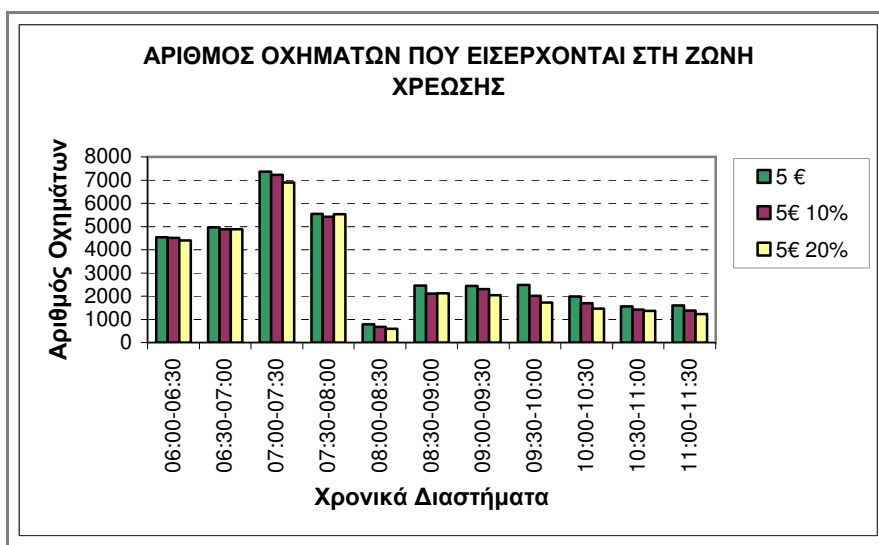


Διάγραμμα 7. 25: Οχηματοχιλιόμετρα εξωτερικά της ζώνης χρέωσης

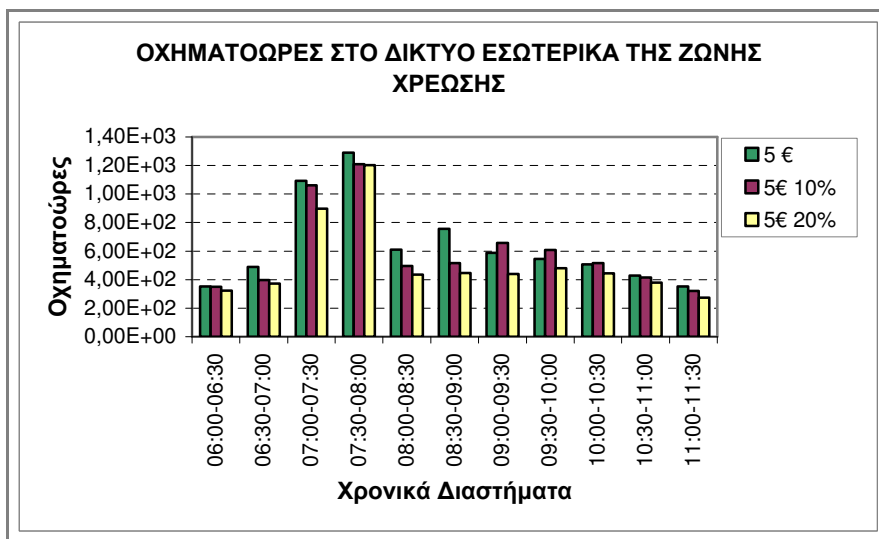


Διάγραμμα 7. 26: Οχηματοχιλιόμετρα στο σύνολο του δικτύου

Τιμή χρέωσης 5 €



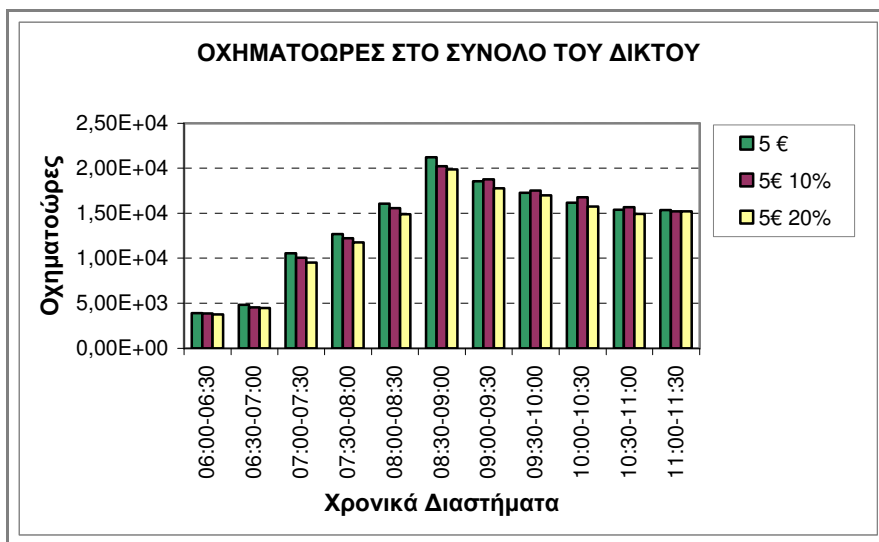
Διάγραμμα 7. 27: Αριθμός εισερχομένων οχημάτων στη ζώνη χρέωσης



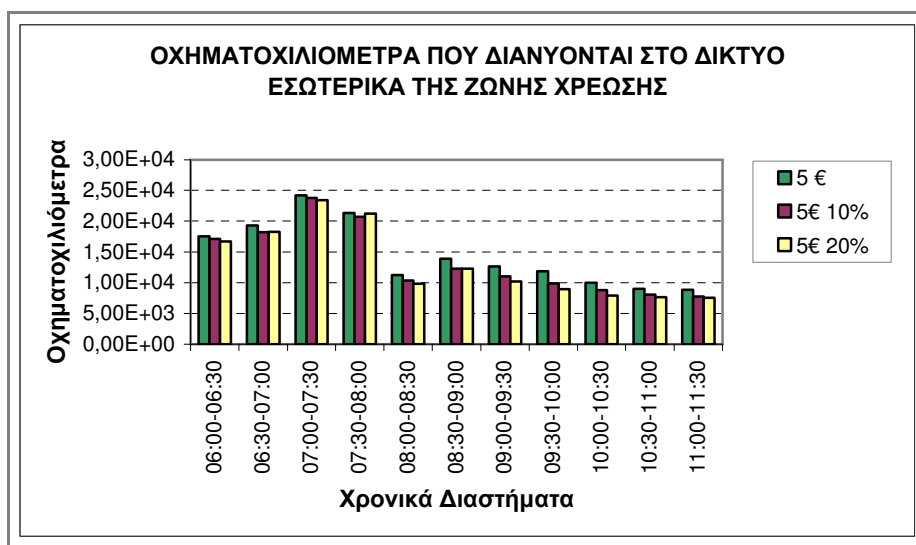
Διάγραμμα 7. 28: Οχηματοώρες εσωτερικά της ζώνης χρέωσης



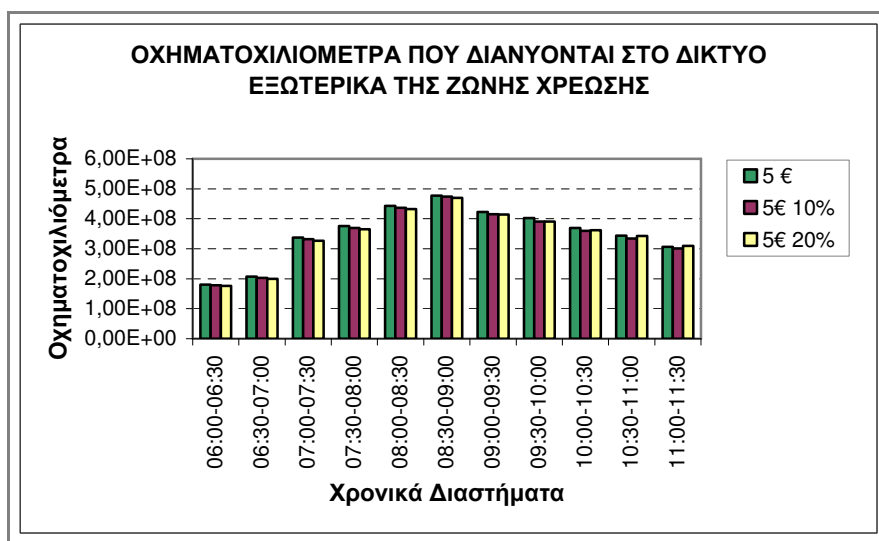
Διάγραμμα 7. 29: Οχηματοώρες εξωτερικά της ζώνης χρέωσης



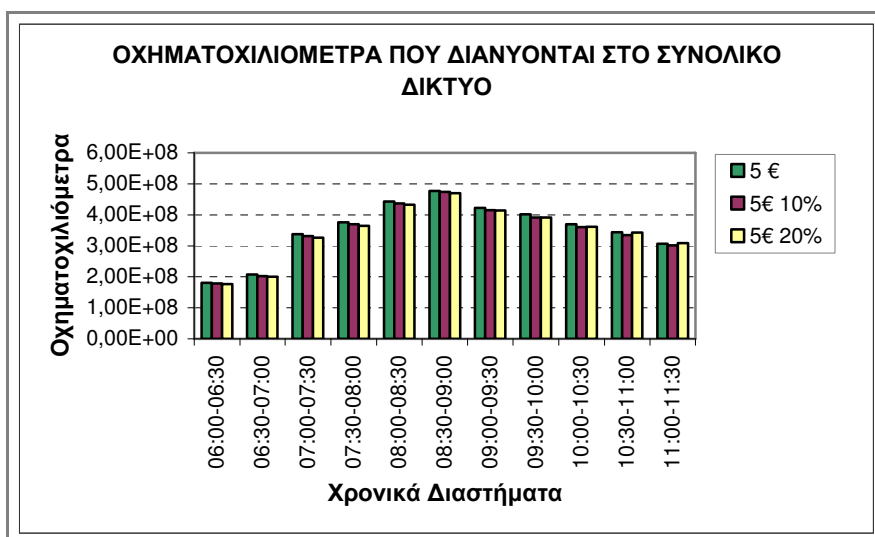
Διάγραμμα 7. 30: Οχηματοώρες στο σύνολο του δικτύου



Διάγραμμα 7. 31: Οχηματοχιλιόμετρα εσωτερικά της ζώνης χρέωσης



Διάγραμμα 7. 32: Οχηματοχιλιόμετρα εξωτερικά της ζώνης χρέωσης



Διάγραμμα 7. 33: Οχηματοχιλιόμετρα στο σύνολο του δικτύου

Ανάλυση διαγραμμάτων

Από τα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν για τις τιμές χρέωσης 3 και 5 € αντίστοιχα, φαίνεται ότι η μείωση στη ζήτηση έχει άμεση επίπτωση στον αριθμό εισερχομένων οχημάτων στη ζώνη χρέωσης. Η μείωση των οχηματοχιλιόμετρων στο σύνολο του δικτύου είναι εμφανής και για τις δύο τιμές χρέωσης, αντίστοιχη μείωση εμφανίζεται και στις οχηματοώρες. Συγκεκριμένα, οι οχηματοώρες εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, εμφανίζουν τη μεγαλύτερη μείωση, σε σχέση με τις αντίστοιχες που προέκυψαν για την αρχική ζήτηση, στην περίπτωση της μείωσης της ζήτησης κατά 20 %, και ισχύ χρέωσης ίση με 3 €. Η μείωση αυτή ήταν αναμενόμενη αφού η μείωση της ζήτησης προς τη ζώνη χρέωσης έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα τη μείωση των συνολικών μετακινήσεων. Η χρέωση των 3 €, σε σχέση με αυτή των 5 €, επιτρέπει σε μεγαλύτερο αριθμό οχημάτων να εισέλθουν στη ζώνη χρέωσης, αποφορτίζοντας και το δίκτυο εξωτερικά αυτής. Η χρέωση των 5 € αντίστοιχα, έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των οχηματοωρών εξωτερικά της ζώνης, και τη μείωση εντός. Η μείωση της ζήτησης και στις δύο περιπτώσεις, έχει άμεση επίπτωση, τόσο εσωτερικά, όσο και εξωτερικά της ζώνης χρέωσης. Τα οχηματοχιλιόμετρα εμφανίζουν αντίστοιχη συμπεριφορά με τις οχηματοώρες. Στους πίνακες που ακολουθούν εμφανίζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν για την περίοδο ανάλυσης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης, είναι τα στοιχεία που έχουν προκύψει για την εφαρμογή του μέτρου με αντίστοιχη χρέωση και χωρίς μεταβολή της ζήτησης, και βάσει αυτών υπολογίζονται οι ποσοστιαίες διακυμάνσεις.

Πίνακας 7. 6: Ποσοστιαία αύξηση εσόδων ανά τιμή χρέωσης και μείωση ζήτησης, σε σύγκριση με τα έσοδα της αρχικής ζήτησης και την αντίστοιχη χρέωση

Τιμή χρέωσης/ Μείωση ζήτησης	10 %	20 %
3 €	-3,24 %	-12,12 %
5 €	-12,91 %	-20,77 %

Πίνακας 7. 7: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης ανά τιμή χρέωσης και μείωση ζήτησης, σε σύγκριση με την εισροή για την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση

Τιμή χρέωσης/ Μείωση ζήτησης	10 %	20 %
3 €	-2,40%	-7,42 %
5 €	-5,85%	-9,75%

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω πίνακες, η μείωση της ζήτησης έχει άμεση επίπτωση στα οχήματα που εισέρχονται εντός της ζώνης, επομένως και στα έσοδα του μέτρου. Η μείωση της ζήτησης κατά 20 % επιφέρει μεγαλύτερη αναλογικά μείωση των εσόδων, σε σχέση με τον αριθμό των εισερχομένων.

Πίνακας 7. 8: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 3 €

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης, ποσοστό μείωσης ζήτησης	3 € 10%	3 € 20%
Σύνολο δικτύου	-4,22 %	-6,54 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	-3,70 %	-5,26 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-12,52 %	-27,24 %

Πίνακας 7. 9: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 5 €

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης, ποσοστό μείωσης ζήτησης	5 € 10 %	5 € 20 %
Σύνολο δικτύου	-1,03 %	-4,66 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	-0,76 %	-3,97 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-6,64 %	-18,82 %

Όπως φαίνεται στους παραπάνω πίνακες, εμφανίζεται σαφή μείωση των οχηματοωρών εσωτερικά της ζώνης χρέωσης, αντίστοιχη με το ποσοστό της μείωσης της ζήτησης. Στην περίπτωση της χρέωσης των 3 €, η μείωση των οχηματοωρών εσωτερικά της ζώνης είναι ιδιαίτερα μεγάλη, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για την αρχική ζήτηση. Η μείωση αυτή δείχνει ότι οι κυκλοφοριακές συνθήκες στο κέντρο εμφανίζουν βελτίωση και ταυτόχρονα εισέρχονται λιγότερα οχήματα. Εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, η μείωση της ζήτησης έχει άμεση επίπτωση στις οχηματοώρες που δαπανούνται, για την τιμή χρέωσης των 3 €. Στην περίπτωση της χρέωσης των 5 €, η μείωση της ζήτησης κατά 10 % δεν εμφανίζει μεγάλες διαφοροποιήσεις στις οχηματοώρες εξωτερικά του δικτύου, ωστόσο ενδεχόμενη μείωση της ζήτησης της τάξης του 20 % είναι ικανή να μεταβάλλει το σύνολο των δαπανούμενων οχηματοωρών. Στους πίνακες που ακολουθούν, παρουσιάζεται η ποσοστιαία αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων για κάθε περίπτωση χρέωσης και μείωσης της ζήτησης. Οι μειώσεις των διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων, δεν εμφανίζουν ανάλογη μείωση όπως στην περίπτωση των οχηματοωρών.

Πίνακας 7. 10: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 3 €

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης, ποσοστό μείωσης ζήτησης	3 € 10 %	3 € 20 %
Σύνολο δικτύου	-1,65 %	-2,63 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	-1,65 %	-2,63 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-3,04 %	-7,77 %

Πίνακας 7. 11: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοχιλιομέτρων στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 5 €

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης, ποσοστό μείωσης ζήτησης	5 € 10 %	5 € 20 %
Σύνολο δικτύου	-1,82 %	-1,99 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	-1,82 %	-1,99 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-7,40 %	-9,84 %

Η μείωση των οχηματοχιλιόμετρων που διανύονται στο σύνολο του δικτύου, δεν εμφανίζει σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο διαφορετικών ποσοστιαίων μειώσεων της ζήτησης, στην περίπτωση της χρέωσης των 5 €. Αντίθετα με το σενάριο χρέωσης 3 €, όπου η διαφορά της μείωσης είναι σημαντική. Από τους παραπάνω πίνακες φαίνεται το μικρό ποσοστό των οχηματοχιλιόμετρων που διανύονται εσωτερικά της ζώνης χρέωσης, συγκριτικά με το συνολικό δίκτυο, όπως παρουσιάστηκε και στον Πίνακα 7.2.

7.2.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων μεταξύ της εφαρμογής του μέτρου με ταυτόχρονη μείωση της ζήτησης, και της μη εφαρμογής του με διατήρηση του αρχικού επιπέδου ζήτησης

Τα συγκριτικά διαγράμματα που αναφέρονται στις ροές εισόδου στη ζώνη χρέωσης, στις οχηματοώρες, καθώς και στα οχηματοχιλιόμετρα, για κάθε σενάριο, θεωρήθηκε μη σκόπιμη η παρουσίαση τους, αφού μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα από την ταυτόχρονη παρατήρηση των διαγραμμάτων των σεναρίων αναφοράς και των σεναρίων ανάλυσης ευαισθησίας που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Τα σενάρια της παρούσας ενότητας αφορούν τη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων της επιβολής του μέτρου για τιμή χρέωσης 3 και 5 € αντίστοιχα, με την ταυτόχρονη μείωση της ζήτησης, με τα αποτελέσματα που προέκυψαν για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου και τη μείωση της ζήτησης, για την περίοδο ανάλυσης που έχει τεθεί. Τα στοιχεία που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου, αποτελούν το μέτρο σύγκρισης με τα αντίστοιχα στοιχεία των σεναρίων, και βάσει αυτών υπολογίζονται οι ποσοστιαίες μεταβολές.

Πίνακας 7. 12: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στην περιοχή χρέωσης ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης

Τιμή χρέωσης/ Μείωση ζήτησης	10 %	20 %
3	-39,40 %	-42,52 %
5	-47,52 %	-49,70 %

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται μία μείωση της εισροής των οχημάτων στη ζώνη χρέωσης, που συντελείτε με τη μείωση της ζήτησης. Τα ποσοστά εισροής είναι χαμηλότερα στην περίπτωση της ύπαρξης χρέωσης ίσης με 5 €, γεγονός που οφείλεται στο μεγαλύτερο αντίτιμο που απαιτείται για την είσοδο στη ζώνη χρέωσης.

Πίνακας 7. 13: : Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης, ποσοστό μείωσης ζήτησης	3 € 10 %	3 € 20 %	5 € 10 %	5 € 20 %
Σύνολο δικτύου	-0,85 %	-3,26 %	6,09 %	2,20 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	10,00 %	8,21 %	18,88 %	15,03 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-64,11 %	-70,14 %	-68,44 %	-72,56 %

Πίνακας 7. 14: : Ποσοστιαία αύξηση οχηματοχιλιόμετρων στο δίκτυο, ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης

Μέρος Δικτύου/ Τιμή Χρέωσης, ποσοστό Μείωσης Ζήτησης	3 € 10 %	3 € 20 %	5 € 10 %	5 € 20 %
Σύνολο δικτύου	2,07 %	1,05 %	2,47 %	2,29 %
Εκτός Ζώνης Χρέωσης	2,07 %	1,05 %	2,48 %	2,30 %
Εντός Ζώνης Χρέωσης	-26,58 %	-30,16 %	-35,92 %	-37,60 %

Τα αποτελέσματα των Πινάκων 7.13 και 7.14 αποτελούν τα βασικά συγκεντρωτικά στοιχεία σύγκρισης που θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της εφαρμογής του μέτρου των αστικών διοδίων, για τα συγκεκριμένα σενάρια. Αρχικά, στην περίπτωση της τιμής χρέωσης ίσης με 3 € και ταυτόχρονης μείωσης της ζήτησης, από και προς, τις κυκλοφοριακές ζώνες που εμπεριέχονται στη ζώνη χρέωσης, παρουσιάζεται μία αύξηση των διανυόμενων οχηματοχιλιομέτρων στο σύνολο του δικτύου. Η αύξηση αυτή εντοπίζεται στο δίκτυο εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, ενώ εσωτερικά εμφανίζεται μείωση. Τα αντίστοιχα στοιχεία για τις δαπανούμενες οχηματοώρες, δείχνουν ότι οι οχηματοώρες στο σύνολο του δικτύου θα υποστούν μία ελάχιστη μείωση, ωστόσο αυτή η μείωση προκαλείται από την βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών εντός της ζώνης χρέωσης. αντίθετα, στο δίκτυο που βρίσκεται εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, παρουσιάζεται μία αύξηση της τάξης του 10 % στο σύνολο των οχηματοωρών που αντιστοιχούν σε μετακινήσεις σε αυτό. Η αύξηση αυτή υποδηλώνει ότι η εφαρμογή του μέτρου, βελτιώνει τις συνθήκες εντός της ζώνης χρέωσης, αλλά διοχετεύει μέρος των μετακινούμενων στο εξωτερικό δίκτυο της ζώνης. Η αύξηση αυτή, σε συνδυασμό με την αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων, δείχνει ότι οι μετακινούμενοι στρέφονται σε εναλλακτικές διαδρομές, οι οποίες απαιτούν την προσπέλαση μεγαλύτερου μήκους διαδρομών, καθώς και μεγαλύτερο χρόνο διαδρομής. Η αύξηση της ζήτησης για κυκλοφορία σε δρόμους εκτός της ζώνης χρέωσης, μπορεί να προκαλέσει συνθήκες κορεσμού, στην περίπτωση όπου η ζήτηση υπερβαίνει τη διαθέσιμη χωρητικότητα των οδών.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για ίδια τιμή χρέωσης με την προηγούμενη, αλλά για μειωμένη ζήτηση, εμφανίζουν μειώσεις όσον αφορά τα οχηματοχιλιόμετρα και τις οχηματοώρες εντός και εκτός της ζώνης χρέωσης. Τα αποτελέσματα αυτά είναι απόρροια της μειωμένης ζήτησης, και θεωρείται ότι επιτυγχάνονται τα βέλτιστα αποτελέσματα της εφαρμογής του μέτρου, σε σχέση με τα υπόλοιπα σενάρια που μελετήθηκαν.

Τα σενάρια που περιλαμβάνουν τη χρέωση των 5 €, αποφέρουν τα χειρότερα αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, ο καθορισμός της υψηλής τιμής χρέωσης έχει σαν αποτέλεσμα τη διοχέτευση του μεγαλύτερου μέρους των μετακινήσεων που διερχόντουσαν από τη ζώνη χρέωσης αρχικά, στο δίκτυο εξωτερικά αυτής. Αποτέλεσμα αυτού είναι η σαφής βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών εσωτερικά της ζώνης, ωστόσο η αύξηση των οχηματοωρών που δαπανούνται εξωτερικά της ζώνης, είναι της τάξης του 18,8 % και 15 % αντίστοιχα για κάθε επίπεδο μείωσης της ζήτησης. Η αύξηση των οχηματοωρών δεν συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση των οχηματοχιλιομέτρων, γεγονός που δείχνει ότι οι μετακινούμενοι εμπλέκονται σε καταστάσεις κυκλοφοριακής συμφόρησης, σε μεγάλο μέρος του δικτύου εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, και δεν μπορούν να ακολουθήσουν διαδρομές λιγότερο κορεσμένες χωρίς να διέλθουν από τη ζώνη χρέωσης και να επωμιστούν το κόστος.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1. Συμπεράσματα

Στην παρούσα ενότητα γίνεται ανασκόπηση και παρουσίαση των βασικών συμπερασμάτων της έρευνας, η οποία αποσκοπούσε στη μελέτη των επιπτώσεων της επιβολής του μέτρου των αστικών διοδίων στο οδικό δίκτυο της Αθήνας, με χρήση δυναμικού μοντέλου προσομοίωσης. Για τη διεξαγωγή της έρευνας απαιτήθηκε η δημιουργία του συγκοινωνιακού μοντέλου της πόλης. Συγκεκριμένα, το συγκοινωνιακό μοντέλο απαρτίζεται από το μοντέλο προσφοράς, που αποτελείται από δεδομένα σχετικά με την οδική υποδομή και τη λειτουργία και διαχείριση της, καθώς και το μοντέλο ζήτησης, που περιέχει δεδομένα για τη συνολική ημερήσια ζήτηση για μετακίνηση και περιγράφει τη χρονική κατανομή αυτής.

Η ανάλυση έγινε με χρήση της λειτουργίας δυναμικού καταμερισμού, και συγκεκριμένα δυναμικού καταμερισμού ισορροπίας χρηστών (Dynamic User Equilibrium). Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διαδικασίας καταμερισμού έναντι άλλων, είναι ότι μπορεί να μοντελοποιήσει το φαινόμενο της διάδοσης της συμφόρησης στους ανάντη συνδέσμους (spill - back), δηλαδή οι χωρητικότητες ανάντη των σημείων που προκαλούν τη συμφόρηση μειώνονται έτσι ώστε να μην υπερβαίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης (μέγιστη πυκνότητα) των συνδέσμων. Επιπλέον, το μοντέλο επιλογής διαδρομής μπορεί να υιοθετήσει είτε μία ντετερμινιστική προσέγγιση, όπου φορτίζονται οι διαδρομές με το μικρότερο γενικευμένο κόστος, είτε μία στοχαστική προσέγγιση, όπου το γενικευμένο κόστος προκύπτει έτσι ώστε να αντικατοπτρίζονται οι υποκειμενικές αντιλήψεις των μετακινούμενων. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, επιλέχθηκε η χρήση μοντέλου επιλογής διαδρομής βασισμένο σε ντετερμινιστικό προσδιορισμό του κόστους της μετακίνησης.

Έχοντας δημιουργήσει το πλήρες συγκοινωνιακό μοντέλο της Αθήνας, αναπτύχθηκαν εν συνεχεία τα σενάρια που αφορούν στη μελέτη του μέτρου των αστικών διοδίων. Συγκεκριμένα, θεωρήθηκε ότι η ζώνη χρέωσης θα είναι αντίστοιχη με τα όρια του υπάρχοντος δακτυλίου, ότι η χρέωση θα είναι σταθερή κατά τη χρονική διάρκεια ισχύος του μέτρου, καθώς και ότι η συλλογή των διοδίων θα γίνεται κατά την είσοδο στη ζώνη χρέωσης και θα είναι ανεξάρτητη από τη χρονική διάρκεια παραμονής εντός αυτής ή τη διανυθείσα απόσταση. Τα σενάρια αναφοράς που αναπτύχθηκαν, αφορούν τη μελέτη των επιπτώσεων της επιβολής του μέτρου, για τιμές χρέωσης 3 και 5 €, αντιστοίχως. Κατά το σχεδιασμό και μελέτη των σεναρίων αναφοράς, θεωρήθηκε ότι η ζήτηση για μετακίνηση με Ι.Χ. παραμένει σταθερή, πριν και μετά την εφαρμογή του μέτρου. Τα ποσοτικά αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε σενάριο, συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του σεναρίου πριν την εφαρμογή του μέτρου, ανέδειξαν τις ποιοτικές επιπτώσεις επιβολής του μέτρου. Λόγω των περιορισμών, και των απλουστευτικών παραδοχών που έγιναν κατά τη δημιουργία των μοντέλων προσφοράς και ζήτησης, τα ποσοτικά αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε σενάριο, κρίθηκε ότι δεν μπορούν να αξιοποιηθούν ως απόλυτα νούμερα, αλλά μόνο ως σχετικά, σε σχέση πάντα με αντίστοιχα αποτελέσματα που έχουν προκύψει με την ίδια μεθοδολογία.

Τα ποσοτικά αποτελέσματα που προέκυψαν για κάθε σενάριο, αφορούν δυναμικά χαρακτηριστικά του δικτύου, και συγκεκριμένα κυκλοφοριακές ροές και χρόνοι προσπέλασης, ανά σύνδεσμο και χρονικό διάστημα ανάλυσης. Με κατάλληλη επεξεργασία, εξήχθησαν συγκεντρωτικά στοιχεία που σχετίζονται με τη λειτουργία του δικτύου, ανά χρονικό διάστημα ανάλυσης, ή συνολικά για τη χρονική περίοδο ανάλυσης που επιλέχθηκε (6 έως 11:30 π.μ.). Τα συγκεντρωτικά αυτά στοιχεία αναφέρονται στο αριθμό των οχημάτων που εισέρχονται στη ζώνη χρέωσης, τις οχηματοώρες που δαπανούνται στο δίκτυο, καθώς και τα οχηματοχιλιόμετρα που διανύονται για την πραγματοποίηση των μετακινήσεων. Από τη σύγκριση των παραπάνω στοιχείων για κάθε σενάριο, τα συμπεράσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων. Ωστόσο, θα πραγματοποιηθεί μία συνοπτική παρουσίαση των σημαντικότερων εξ' αυτών.

Η επιβολή του μέτρου της χρέωσης, έχει σαν συνέπεια τη μετάθεση του χρόνου αναχώρησης των μετακινουμένων, σε χρονικές στιγμές πριν την έναρξη ισχύος του μέτρου. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται μία αύξηση της κυκλοφοριακής εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης, στα διαστήματα πριν την έναρξη της ισχύος. Η αύξηση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αιχμής στο κέντρο της πόλης, στο διάστημα από τις 7 έως τις 7:30 π.μ.. Αποτέλεσμα της αιχμής είναι η αύξηση των οχηματοχιλιόμετρων και των οχηματοωρών, που προκύπτουν για αυτό το διάστημα, εσωτερικά και εξωτερικά της ζώνης χρέωσης, που υποδεικνύει την εμφάνιση αυξημένης κυκλοφορίας με αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου προσπέλασης των συνδέσμων. Μετά την έναρξη ισχύος του μέτρου, οι κυκλοφοριακές συνθήκες εντός της ζώνης βελτιώνονται σε μεγάλο βαθμό, ως απόρροια της μειωμένης εισροής οχημάτων σε αυτή. Ωστόσο, εξωτερικά της ζώνης εμφανίζεται αύξηση των οχηματοωρών και των οχηματοχιλιόμετρων, σε όλα τα διαστήματα μετά την έναρξη ισχύος του μέτρου, και παρουσιάζεται στα διαστήματα αυξημένης ζήτησης, η εμφάνιση καταστάσεων κορεσμού. Η διαφορά μεταξύ των τιμών χρέωσης μεταξύ των δύο σεναρίων, έχει άμεση επίπτωση στην επιλογή διαδρομής των μετακινουμένων. Συγκεκριμένα, οι οχηματοώρες και τα οχηματοχιλιόμετρα στο δίκτυο εκτός της ζώνης χρέωσης εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές στην περίπτωση της χρέωσης των 5 €, κατάσταση η οποία είναι αντίστροφη εσωτερικά της ζώνης. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ποσοστό των οχηματοωρών που προσδιορίστηκε ότι δαπανάται εσωτερικά της ζώνης χρέωσης, ως προς το σύνολο των οχηματοωρών του συνολικού δικτύου. Συγκεκριμένα, για το διάστημα αιχμής από τις 8:30 έως τις 9 π.μ., εμφανίζεται στο δίκτυο εσωτερικά της ζώνης να δαπανάται το 14,96 % του συνόλου των οχηματοωρών, τη στιγμή όπου για την ίδια ζώνη αντιστοιχεί μόλις το 0,49 του συνόλου των οχηματοχιλιόμετρων (Πίνακας 7.1 και 7.2). Με την εφαρμογή του μέτρου, τα ποσοστά αυτά μειώνονται σε μεγάλο βαθμό. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά στοιχεία που προέκυψαν για κάθε σενάριο, ως βάση για την εξαγωγή των ποσοστών ορίστηκαν τα στοιχεία που έχουν υπολογιστεί για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου.

Πίνακας 8. 1: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου

Τιμή χρέωσης	Ποσοστιαία αύξηση εισροής
3 €	-37,91 %
5 €	-44,27 %

Πίνακας 8. 2: Ποσοστιαία αύξηση δαπανούμενων οχηματοωρών στο δίκτυο, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης	3 €	5 €
Σύνολο δικτύου	3,51 %	3,56 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	14,23 %	4,87 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-58,97 %	-17,62 %

Πίνακας 8. 3: Ποσοστιαία αύξηση διανυόμενων οχηματοχιλιόμετρων στο δίκτυο, συγκριτικά με τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει για το δίκτυο χωρίς την εφαρμογή του μέτρου

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης	3 €	5 €
Σύνολο δικτύου	3,78 %	4,37 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	3,78 %	4,37 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-24,27 %	-30,80 %

Εκτός από τα παραπάνω συγκεντρωτικά στοιχεία, για τα σενάρια αναφοράς, παρατηρήθηκαν και τα δυναμικά χαρακτηριστικά ορισμένων συνδέσμων, για να προσδιοριστεί η επίπτωση του μέτρου σε συγκεκριμένες θέσεις του δικτύου. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι η κυκλοφοριακή ροή, και σε περιόδους αυξημένης ζήτησης ο χρόνος προσπέλασης, σε συνδέσμους που βρίσκονται περιφερειακά της ζώνης χρέωσης και δεν εκβάλλουν τα οχήματα εντός αυτής, παρουσίασε αύξηση που σε ορισμένα διαστήματα μετουσιώθηκε σε καταστάσεις συμφόρησης. Στις περιπτώσεις των συνδέσμων που βρίσκονται περιμετρικά της ζώνης χρέωσης, η κυκλοφοριακή ροή παρουσίασε αύξηση, ωστόσο στις περιπτώσεις των συνδέσμων που καταλήγουν εντός της ζώνης χρέωσης, παρατηρήθηκε μείωση της ροής. Στους συνδέσμους που βρίσκονται εσωτερικά της ζώνης, παρουσιάστηκε μείωση του χρόνου προσπέλασης και ταυτόχρονη μείωση της ζήτησης με αύξηση της ικανότητας εξυπηρέτησης της οδού.

Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν και μελετήθηκαν τα σενάρια ανάλυσης ευαισθησίας, τα οποία περιέχουν τον υπολογισμό των συγκεντρωτικών στοιχείων του δικτύου, για τις υπάρχουσες τιμές χρέωσης, και για ταυτόχρονη μείωση της ζήτησης για μετακίνηση με Ι.Χ., από και προς, τις κυκλοφοριακές ζώνες που περιλαμβάνονται ή τέμνονται από τη ζώνη χρέωσης. Οι ποσοστιαίες μείωσης της ζήτησης που μελετήθηκαν, αφορούν μειώσεις της τάξης του 10 και 20 % αντίστοιχα. Οι μειώσεις αυτές επιλέχθηκαν ώστε να μελετηθούν οι επιπτώσεις του μέτρου, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή μείωση στη ζήτηση που θα προκύψει από την εφαρμογή του. Πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των σεναρίων χρέωσης, καθώς και με το σενάριο που δεν περιλαμβάνει την εφαρμογή του μέτρου των αστικών διοδίων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 8. 4: Ποσοστιαία αύξηση εσόδων ανά τιμή χρέωσης και μείωση ζήτησης, σε σύγκριση με τα έσοδα της αρχικής ζήτησης και την αντίστοιχη χρέωση

Τιμή χρέωσης/ Μείωση ζήτησης	10 %	20 %
3 €	-3,24 %	-12,12 %
5 €	-12,91 %	-20,77 %

Πίνακας 8. 5: Ποσοστιαία αύξηση της εισροής οχημάτων στη ζώνη χρέωσης ανά τιμή χρέωσης και μείωση ζήτησης, σε σύγκριση με την εισροή για την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση

Τιμή χρέωσης/ Μείωση ζήτησης	10 %	20 %
3 €	-3,24 %	-12,12 %
5 €	-12,91 %	-20,77 %

Πίνακας 8. 6: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 3 €

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης, ποσοστό μείωσης ζήτησης	3 € 10%	3 € 20%
Σύνολο δικτύου	-4,22 %	-6,54 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	-3,70 %	-5,26 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-12,52 %	-27,24 %

Πίνακας 8. 7: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, σε σύγκριση με την αρχική ζήτηση και την αντίστοιχη χρέωση 5 €

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης, ποσοστό μείωσης ζήτησης	3 € 10%	3 € 20%
Σύνολο δικτύου	-4,22 %	-6,54 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	-3,70 %	-5,26 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-12,52 %	-27,24 %

Ακολουθούν τα αποτελέσματα της σύγκρισης των σεναρίων χρέωσης με ταυτόχρονη μειωμένη ζήτηση, με αυτά που προέκυψαν για το σενάριο της μη εφαρμογής του μέτρου, χωρίς μείωση στη ζήτηση.

Πίνακας 8. 8: Ποσοστιαία αύξηση εισροής οχημάτων στην περιοχή χρέωσης ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης

Τιμή χρέωσης/ Μείωση ζήτησης	10 %	20 %
3	-39,40 %	-42,52 %
5	-47,52 %	-49,70 %

Πίνακας 8. 9: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοωρών στο δίκτυο, ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης

Μέρος δικτύου/ Τιμή χρέωσης, ποσοστό μείωσης ζήτησης	3 € 10 %	3 € 20 %	5 € 10 %	5 € 20 %
Σύνολο δικτύου	-0,85 %	-3,26 %	6,09 %	2,20 %
Εκτός ζώνης χρέωσης	10,00 %	8,21 %	18,88 %	15,03 %
Εντός ζώνης χρέωσης	-64,11 %	-70,14 %	-68,44 %	-72,56 %

Πίνακας 8. 10: Ποσοστιαία αύξηση οχηματοχιλιόμετρων στο δίκτυο, ανά τιμή χρέωσης και ποσοστό μείωσης της ζήτησης

Μέρος Δικτύου/ Τιμή Χρέωσης, ποσοστό Μείωσης Ζήτησης	3 € 10 %	3 € 20 %	5 € 10 %	5 € 20 %
Σύνολο δικτύου	2,07 %	1,05 %	2,47 %	2,29 %
Εκτός Ζώνης Χρέωσης	2,07 %	1,05 %	2,48 %	2,30 %
Εντός Ζώνης Χρέωσης	-26,58 %	-30,16 %	-35,92 %	-37,60 %

Από τα παραπάνω συγκεντρωτικά στοιχεία, παρατηρούμε ότι τα αποδοτικότερα αποτελέσματα προκύπτουν για χρέωση της τάξης των 3 €, με ταυτόχρονη μείωση της ζήτησης για μετακίνηση, από και προς, τις κυκλοφοριακές ζώνες που περικλείονται από τη ζώνη χρέωση, κατά 20 %. Επίσης, το σενάριο που περιλαμβάνει χρέωση 3 €, και μείωση της ζήτησης κατά 10 %, επιφέρει μικρότερες αυξήσεις στις τιμές των συγκεντρωτικών στοιχείων, από το αντίστοιχο σενάριο χρέωσης 5 €, με μείωση της τάξης του 20 %, σε εξαίρεση με τα στοιχεία εντός της ζώνης χρέωσης.

8.2. Κριτική Αξιολόγηση – Προτάσεις

Κατά τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας, προέκυψαν προβλήματα σχετικά με την εύρεση δεδομένων και στοιχείων, σε πολλά στάδια αυτής. Η αδυναμία εύρεσης στοιχείων, οδήγησε σε ορισμένες παραδοχές και απλοποιήσεις, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Αρχικά, το πρώτο πρόβλημα που προέκυψε ήταν η αδυναμία εύρεσης υπόβαθρου του οδικού δικτύου του νομού Αττικής, το συγκεκριμένο πρόβλημα επιλύθηκε με τη ψηφιοποίηση του δικτύου και κυρίως των κεντρικών οδικών αξόνων του. Ο καθορισμός των λειτουργικών χαρακτηριστικών του δικτύου, όπως χωρητικότητες, ταχύτητες διέλευσης κ.α., πραγματοποιήθηκε με τον καθορισμό ορισμένων γενικών παραδοχών και περιορισμών, λόγω έλλειψης σχετικών στοιχείων. Εν συνεχεία, η αδυναμία εύρεσης μητρώου μετακινήσεων που να αναπαριστά τη σημερινή ζήτηση για μετακίνηση με Ι.Χ. ήταν ένα από τα κύρια προβλήματα που προέκυψαν. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας δεν κατέστη δυνατή η δημιουργία ενός μητρώου μετακινήσεων που να αναπαριστά την πραγματική σημερινή ζήτηση, με τη χρήση κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων. Το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με τη χρησιμοποίηση

ενός παλαιότερου μητρώου μετακινήσεων (του 1996), στο οποίο πραγματοποιήθηκαν απλής μορφής παρεμβάσεις και αναγωγές, για την πιστότερη αναπαράσταση της σημερινής ζήτησης. Επίσης, το μοντέλο που αναπτύχθηκε περιλαμβάνει μόνο τις μετακινήσεις που πραγματοποιούνται με ιδιωτικά μέσα μετακίνησης, μη έχοντας συμπεριλάβει τα δημόσια συστήματα μεταφοράς, στο συνολικό μοντέλο, και δεν συμπεριλαμβάνει τη πιθανότητα ματαίωσης της μετακίνησης, ή την ενδεχόμενη αλλαγή του μέσου. Τα ποσοτικά αποτελέσματα που προέκυψαν βάσει των παραπάνω παραδοχών, θεωρείται ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως απόλυτα στοιχεία, αλλά μόνο ως σχετικά σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα αποτελέσματα που προέκυψαν, για τον καθορισμό των γενικών τάσεων των επιπτώσεων της επιβολής του μέτρου των αστικών διοδίων.

Στόχο της συγκεκριμένης εργασίας δεν αποτελεί η εξέταση ή η αξιολόγηση της εφαρμογής του μέτρου των αστικών διοδίων, στην Αθήνα. Ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των επιπτώσεων από μία πιθανή μελλοντική επιβολή του μέτρου, βάσει των στοιχείων προσφοράς και ζήτησης που ισχύουν σήμερα. Τα στοιχεία που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη σε καμία περίπτωση δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ως κριτήρια για την αξιολόγηση ή μη της εφαρμογής, αφού η παρούσα εργασία έγινε στα πλαίσια εκπαιδευτικών σκοπών. Το μέτρο των αστικών διοδίων αποτελεί ένα μέτρο για την αντιμετώπιση των κυκλοφοριακών προβλημάτων στο δίκτυο της πόλης, ωστόσο, η παρατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης στην Αθήνα, οδηγεί στην παρατήρηση ότι υπάρχουν πιο άμεσοι και εύκολοι τρόποι περιορισμού της ζήτησης για μετακίνηση. Συγκεκριμένα, η λήψη μέτρων που να σχετίζονται με την ανάπτυξη και προώθηση των μέσων μαζικής μεταφοράς, αποτελεί την πλέον αποτελεσματική μέθοδο για αειφόρο ανάπτυξη και επίλυση των κυκλοφοριακών προβλημάτων του δικτύου. Επίσης, η χρησιμοποίηση μέτρων μεγιστοποίησης της χρησιμοποίησης της υφιστάμενης χωρητικότητας αποτελεί την πλέον άμεση και ήπια μέθοδο για την βελτίωση των κυκλοφοριακών συνθηκών του δικτύου της πόλης. Αυτή, περιλαμβάνει την ελαχιστοποίηση των παραγόντων που μειώνουν την κυκλοφοριακή ικανότητα (έλεγχος/ αστυνόμευση στάσης και στάθμευσης), την πραγματοποίηση κυκλοφοριακών ρυθμίσεων, τη χρήση προηγμένων συστημάτων σηματοδότησης, καθώς και τη δημιουργία συστημάτων πληροφόρησης και καθοδήγησης των οδηγών βάσει της δυναμικής κατάστασης του δικτύου. Στην περίπτωση όπου εξαντληθούν οι ηπιότεροι τρόποι περιορισμού της ζήτησης, τα αστικά διόδια μπορεί να αποτελέσουν μια χρήσιμη εναλλακτική προσέγγιση στα μέτρα των αρχών.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν, φαίνεται ότι ίσως θα πρέπει να πραγματοποιηθούν και κάποιες μελέτες σχετικά με την επίδραση του μέτρου, στην περίπτωση όπου τα όρια της ζώνης χρέωσης καλύπτουν μεγαλύτερη έκταση και περικλείουν περισσότερους οδικούς άξονες της ευρύτερης περιοχής. Επίσης, η διεξαγωγή ολοκληρωμένης μελέτης των επιπτώσεων της εφαρμογής του μέτρου των αστικών διοδίων, με χρησιμοποίηση πραγματικών στοιχείων ζήτησης και προσφοράς, μπορεί να αποφέρει σημαντικά αποτελέσματα τα οποία να μπορούν να αξιοποιηθούν και κατά απόλυτους αριθμούς, ώστε να μπορέσουν να προσδιοριστούν τα πραγματικά οφέλη και κόστη μίας πιθανής επιβολής του μέτρου.

8.3. Μελλοντικές Προσπάθειες

Το συγκοινωνιακό μοντέλο της πόλης που έχει αναπτυχθεί, μπορεί με ορισμένες μικρής έκτασης παρεμβάσεις, να αξιοποιηθεί για τη μελέτη διάφορων σεναρίων σχετικά με παρεμβάσεις στο δίκτυο και τον καθορισμό των επιπτώσεων τους, όπως πράσινο δακτύλιος, πεζοδρομήσεις, επιπτώσεις ατυχημάτων, ατμοσφαιρική και ηχητική ρύπανση, κ.α. Επίσης, το συγκεκριμένο μοντέλο που αναπτύχθηκε μπορεί μελλοντικά να συμπεριλάβει και τα δημόσια συστήματα μεταφοράς, ώστε να αποτελέσει ολοκληρωμένη απεικόνιση του συνολικού συστήματος μεταφορών της πόλης. Με την προηγούμενη προσθήκη, είναι δυνατή η μελέτη του συνόλου των μετακινήσεων που πραγματοποιούνται με όλα τα μέσα, καθώς και οι πιθανές αλλαγές μέσου μετακίνησης στις περιπτώσεις όπου τα δημόσια μέσα μεταφοράς,

προσφέρουν μεγαλύτερη ωφέλεια (μικρότερο γενικευμένο κόστος μετακίνησης). Επίσης, το μοντέλο μπορεί να υποστεί βελτιώσεις, ώστε να παρουσιάζεται καλύτερη προσομοίωση της πραγματικότητας σε αυτό, και να βελτιστοποιείται η μελέτη της δυναμικής αλληλεξάρτησης μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Adams J., *“Transport Planning – Vision and Practice”*, Routledge and Kegan Paul Ltd, 1981.
2. Akiva M. B., Palma D. A., and Kaysi I., *Dynamic Network Models and Driver Information Systems*, *Tranp. Res. – A*, Vol. 25A, No. 5, pp. 251 – 266. 0191 – 2607/ 91, © 1991 Pergamon Press plc.
3. Antoniou C., Matsoukis E. and Roussi P., *A Methodology for the Estimation of Value – of – Time Using State – of – the – Art Econometric Models*, *Journal of Public Transportation*, Vol. 10, No. 3, 2007.
4. Βυθούλακας Π., *“Συστήματα Μεταφορών – Σημειώσεις”*, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής, Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα, 2006.
5. Bellei G., Gentile G., Meschini L., Papola N., *A Demand Model with Departure Time Choice for Within – Day Dynamic Traffic Assignment*, *EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH* 175 (2006) 1557 – 1576. Available online: www.sciencedirect.com
6. Bellei G., Gentile G., Papola N., *A Within – Day Dynamic Traffic Assignment Model for Urban Road Networks*, *TRANSPORTATION RESEARCH PART B* 37 (2003) 225 – 249.
7. Bhatt K., Higgings T., and Berg J. T., *U.S. and Worldwide Experience with Congestion Pricing, An Overview*, *TR News* 263, July – August 2009.
8. Black J., *“Urban Transport Planning”*, © 1981 John Black.
9. Böbel I., Rham D. C., *Road Pricing, Traffic Congestion and Economic Welfare: A Note*, Fifth Framework Programme of the European Commission.
10. Buxbaum J. M., *Congestion Pricing Basics*, *TR News* 263, July – August 2009.
11. Calthrop E., Proost S. and Dender V. K., *Optimal Urban Road Tolls in the Presence of Distortionary Taxes*, Centre for Economic Studies, Catholic University of Leuven, 5 January 2000, Belgium.
12. Cascetta E., *“Transportation Systems Engineering: Theory and Methods”*, © 2001 Kluwer Academic Publishers.
13. European Conference of Ministers of Transportation (ECMT), *Assessing the Benefits of Transport*, © 2001 OEDC Publications Service for ECMT Publications.
14. Gentile G., Meschini L., Papola N., *Macroscopic Arc Performance Models with Capacity Constraints for Within – Day Dynamic Traffic Assignment*, *TRANSPORTATION RESEARCH PART B* 39 (2005) 319 – 338. Available online: www.sciencedirect.com
15. Gentile G., Meschini L., Papola N., *Spillback Congestion in Dynamic Traffic Assignment: A Macroscopic Flow Model with Time – varying Bottlenecks*, *TRANSPORTATION RESEARCH PART B* 41 (2007) 1114 – 1138. Available online: www.sciencedirect.com
16. Goulias K. G., *“Transportation Systems Planning – Methods and Applications”*, © 2003 CRC Press LLC.
17. Hall R. W., *“Handbook of Transportation Science”*, Second Edition, © 2003 Kluwer Academic Publishers.
18. Han S., *Dynamic Traffic Modelling and Dynamic Stochastic User Equilibrium Assignment for General Road Networks*, *TRANSPORTATION RESEARCH PART B* 39 (2005) 1 – 29.
19. Henser D. A., Kenneth B. J., *“Handbook of Transport Modelling”*, © 2000 Elsevier Ltd.
20. Ieromonachou P., Potter S., Warren J. P., *Norway’s urban toll rings: Evolving towards congestion charging?*, *Transport Policy* 13 (2006) 367 – 378.
21. Jensen – Butler C., Sloth B., Larsen M. M., Madsen B., Nielsen O. A., *“Road Pricing, The Economy and the Environment”*, © Springer – Verlag Berlin Heidelberg.
22. Knight F. (1924), *Some Fallacies in the Interpretation of Social Cost*, *Quarterly Journal of Economics*, 36: 564-574.
23. Lam T., *Evaluating Value – Pricing Projects with Both Scheduling and Route Choices*, *Regional Science and Urban Economics* 34 (2004) 225 – 240. Available online: www.sciencedirect.com
24. Liu L. N., *Multi – period Congestion Pricing Models and Efficient Tolls in Urban Road Systems*, *Review of Network Economics*, Vol. 3, Issue 4 – December 2004.
25. Maddison D., Pearce D., Johansson O., Calthrop E., Litman T., Verhoef E., *“The True Costs of Road Transport”*, © CSERGE, 1996.
26. Marshall A. (1890), *“Principles of economics”*, London: Macmillan and Co., Ltd.

27. Mayeres I., Proost S., *Performing Transport Pricing: An Economic Perspective on Equity, Efficiency and Acceptability*. Published as Chapter 6 in: J. Schade and B. Schlag (2003), *Acceptability of Transport Pricing Strategies*, Elsevier Science.
28. Newbery D.M. (1998), *Fair and Efficient Pricing and the Finance of Roads*, (53rd Spurrier Lecture), The Proceedings of the Chartered Institute of Transport in the UK, 7(3), October, 3-19.
29. Newbery D. M., *Pricing and Congestion: Economic Principles Relevant to Pricing Roads*, OXFORD REVIEW OF ECONOMIC POLICY, DRAFT AT 4, October 1990.
30. Newbery (2000), *Road Pricing and Road Finance*, ch. 4 in *Integrated Transport Policy: Implications for regulation and competition*, ed. J. Preston, H. Lawton Smith and D. Starkie, Aldershot: Ashgate
31. Ortuzar J. D., Willumsen L. G., *“Modelling Transport”*, Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, December 2002.
32. Palma D. A., Kilani M., Lindsey R., *Congestion Pricing on a Road Network: A Study Using the Dynamic Equilibrium Simulator METROPOLIS*, TRANSPORTATION RESEARCH PART A 39 (2005) 588 – 611. Available online: www.sciencedirect.com
33. Pigou A. (1920), *“The Economics of Welfare”*, London: MacMillan and Co., Ltd.
34. Rye T., Gaunt M., Ison S. (2008), *Edinburgh's Congestion Charging Plans: An Analysis of Reasons for Non – Implementation*, Transportation Planning and Technology, Volume 31, Issue 6 December 2008, pages 641 – 661.
URL: <http://dx.doi.org/10.1080/03081060802492686>
35. Σιόλας Α., *“Άνθρωπος και Χώρος”*, Τομέας Γεωγραφικού & Περιφερειακού Σχεδιασμού, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
36. Santos G., Frader G., *Road Pricing: Lessons from London*, LONDON CONGESTION CHARGING, October 2005 Panel Meeting of Economic Policy in London.
37. Santos G., Newbery D., Rojey L., *Traffic Management with Congestion Charging in Different English Towns*.
38. Santos G. & Rojey L., *Distributional Impacts of Road Pricing: The Truth Behind the Myth*, Transportation 31: 21 – 42, 2004, © 2004 Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
39. Santos G., Rojey L. and Newbery D., *The Environmental Benefits from Road Pricing*, Department of Applied Economics Cambridge, England October 2000.
40. Small K. A., *Road Pricing and Public Transit: Unnoticed Lessons from London*, Forthcoming, Access, No. 26, spring 2005, Publication of the University of California Transportation Center.
41. Small K. A., Gomez – Ibanez J. A., *Road Pricing for Congestion Management: The Transition from Theory to Policy*, Reprint UCTC No. 391, The University of California Transportation Center.
42. Standing Advisory Committee on Trunk Road Appraisal (SACTRA), *Transport and the Economy, Full Report*.
43. Tezcan O. H., *General Review of Road Pricing and its Applicability in Istanbul*, Seventh International Congress on Advances in Civil Engineering, October 11 – 13, 2006, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey.
44. Verhoef E. T., Bliemer M., Steg L., and Wee V. B., *“Pricing in Road Transport”*, Edward Elgard Publishing Inc., 2008.
45. Verhoef E. T., *The Economics of Urban Road Pricing*, Capita Selecta, Presentation Free University Amsterdam.
46. Verhoef E.T. (2001), *An integrated dynamic model of road traffic congestion based on simple carfollowing theory: exploring hypercongestion*, Journal of Urban Economics 49 505 – 542.
47. Verhoef E.T. (2002), *Second-best congestion pricing in general static transportation networks with elastic demands*, Regional Science and Urban Economics 32 281 – 310.
40. Verhoef E.T. (2002), *Second-best congestion pricing in general networks: heuristic algorithms for finding second-best optimal toll levels and toll points*, Transportation Research 36B 707 – 729.
41. Verhoef E.T. (2003), *Speed-flow relations and cost functions for congested traffic: theory and empirical analyses*, Discussion paper TI 2003 – 064/3, Tinbergen Institute, Amsterdam – Rotterdam.
42. Verhoef E.T. and K.A. Small (2004), *Product differentiation on roads: second-best congestion pricing with heterogeneity under public and private ownership*, Journal of Transport Economics and Policy 38 (1) 127 – 156.

43. Vythoulkas P. C., *A Dynamic Stochastic Assignment Model for the Analysis of General Networks*, *Tranp. Res. – B*, Vol. 24B, No. 6, pp. 453 – 469. 0191 – 2615/ 90, © 1990 Pergamon Press plc.
44. Wilson N. H. M., Nuzzolo A., *“Schedule-Based Dynamic Transit Modelling”*, © 2004 Kluwer Academic Publishers.
45. Whittles M. J., *“Urban Road Pricing: Public and Political Acceptability”*, Ashgate Publishing Company 2003.

Why do they call it rush hour when nothing moves?

Robin Williams
(from *Mork and Mindy*)



Αθήνα, Νοέμβριος 2009