



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΜΠΣ «ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»**

Υπεύθυνος Διδάσκων :
Κουτσόπουλος Κωστής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Διπλωματική Εργασία

**Ανασχεδιασμός Δικτύων Δημοσίων Αστικών Συγκοινωνιών
με Τεχνικές Ανάλυσης Δικτύων, σε Περιβάλλον Γ.Σ.Π.**

ΣΠΑΘΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2011



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΜΠΣ «ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»**

Υπεύθυνος Διδάσκων :
Κουτσόπουλος Κωστής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Διπλωματική Εργασία

**Ανασχεδιασμός Δικτύων Δημοσίων Αστικών Συγκοινωνιών
με Τεχνικές Ανάλυσης Δικτύων, σε Περιβάλλον Γ.Σ.Π.**

ΣΠΑΘΟΠΟΥΛΟΣ Ι. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2011

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι Δημόσιες Συγκοινωνίες παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα στον σχεδιασμό ενός συστήματος αστικών μεταφορών, όπως η βελτίωση της κινητικότητας για όλες τις οικονομικές τάξεις, η μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και η άμβλυση των προβλημάτων στάθμευσης, ο περιορισμός της αέριας ρύπανσης και η εξοικονόμηση ενέργειας. Σήμερα παρατηρείται ένα αξιοπρόσεκτο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, για τον σχεδιασμό των δικτύων τους. Ο σχεδιασμός και η διαχείριση δικτύων που να προσφέρουν βελτιωμένο επίπεδο εξυπηρέτησης, αλλά και οικονομική βιωσιμότητα, αποτελεί τον βασικότερο στόχο για τους φορείς Δημοσίων Συγκοινωνιών.

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών είναι ένα πρόβλημα με μεταβλητές χωρικές και την χρονικές. Οι Μέθοδοι και οι Τεχνικές Χωρικής Ανάλυσης, καθώς και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, προσφέρουν σήμερα το κατάλληλο υπόβαθρο για την ανάπτυξη μεθοδολογιών σχεδιασμού, που επιτυγχάνουν συγκεκριμένους στόχους και λαμβάνουν υπόψη τους περιορισμούς που υφίστανται.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η διερεύνηση των δυνατοτήτων των σύγχρονων μεθόδων και τεχνικών της Χωρικής Ανάλυσης και ιδιαίτερα της Ανάλυσης Δικτύων, στον σχεδιασμό συστημάτων Δημοσίων Συγκοινωνιών, σε περιβάλλον ΓΣΠ. Στο κύριο μέρος της εργασίας, αναπτύσσεται μια μεθοδολογία, βασισμένη στις τεχνικές Ανάλυσης Δικτύων, που επιτυγχάνει την βελτίωση της αποδοτικότητας ενός συστήματος λεωφορειακών γραμμών, που εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη περιοχή ή ζώνη.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία περιλαμβάνει τέσσερα βασικά βήματα : την αξιολόγηση των στάσεων, την επιλογή των στάσεων που παραμένουν, την χωροθέτηση των νέων στάσεων και τον επανασχεδιασμό των γραμμών που τροποποιούνται. Στο πρώτο βήμα υπολογίζεται το τμήμα της ζήτησης που είναι δυνατόν να εξυπηρετηθεί από καθεμία από τις υφιστάμενες στάσεις του υπάρχοντος συστήματος λεωφορειακών γραμμών. Στο δεύτερο βήμα, γίνεται κατάταξη των υφιστάμενων στάσεων κατά φθίνουσα σειρά εξυπηρετούμενης ζήτησης και από αυτές επιλέγεται ένας αριθμός στάσεων που θα διατηρηθούν και στο νέο σύστημα γραμμών και ένας αριθμός στάσεων που θα χωροθετηθούν σε νέες θέσεις. Στο τρίτο βήμα, εφαρμόζεται ανάλυση χωροθέτησης – κατανομής, ώστε να προκύψει ένας αριθμός νέων στάσεων, ίσος με τον αριθμό των στάσεων που αφαιρέθηκαν στο προηγούμενο βήμα. Τέλος, στο τέταρτο βήμα, γίνεται καταρχήν μια επιλογή των υφιστάμενων γραμμών που πρόκειται να τροποποιηθούν και ακολουθεί ο σχεδιασμός των διαδρομών των γραμμών αυτών.

Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε με τα δεδομένα αστικής περιοχής, συγκεκριμένα του Δήμου Αγίας Παρασκευής Αττικής, ώστε να δοκιμαστεί και να ελεγχθεί κατά πόσον είναι εφικτή. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής και συγκεκριμένα τόσο η χωροθέτηση των νέων στάσεων, όσο και η τροποποίηση των γραμμών, κρίνονται αναμενόμενα και λογικά. Μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας, προέκυψε αύξηση της ζήτησης που είναι δυνατόν να εξυπηρετηθεί κατά 7,18%, καθώς και μείωση του μήκους διαδρομής των γραμμών κατά 14,27%.

Τέλος, από την εργασία προκύπτουν μία σειρά από συμπεράσματα, σχετικά με την έρευνα και τις εφαρμογές στους τομείς του Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, της Ανάλυσης Δικτύων και των ΓΣΠ-Μ. Επιπλέον εντοπίζονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας και προτείνονται πιθανές βελτιώσεις και προσθήκες σε αυτήν.

ABSTRACT

Public transportation offers significant advantages in the design of an urban transportation system, such as improving the mobility of all economic classes, reducing traffic congestion and alleviating parking problems, limiting air pollution and saving energy. Today, there is a considerable interest to the scientific community, to design public transport networks. The design and management of networks, in order to provide enhanced service levels and economic sustainability, is the key objective for operators of Public Transport.

Public Transportation Network Design is a problem with spatial and temporal variables. Methods and techniques of Spatial Analysis and Geographic Information Systems, now offer a suitable basis for developing methodologies for design, achieving specific goals and taking into account the constraints.

This paper attempts to explore the possibilities of modern methods and techniques of Spatial Analysis and especially Network Analysis, in Public Transportation Systems Design, in a GIS environment. In the main section of the paper, a methodology is developed, based on network analysis techniques, which achieves improved efficiency of a system of bus routes, serving a particular region or zone.

The proposed methodology consists of four basic steps: stops evaluation, choice of stops that remain, location of new stops and redesign of modified routes. The first step contains the calculation of demand that can be served by each of the stops of the existing system of bus routes. In the second step, existing stops are sorted in order of decreasing demand and a number of stops are selected to be maintained in the new system of bus routes. In the third step, a location - allocation analysis is carried out, which results in a number of new stops, equal to the number of stops that were removed in the previous step. Finally, in the fourth step, existing bus routes to be modified are selected and the modified routes are designed.

The above methodology was applied with data of an urban area, namely the Municipality of Aghia Paraskevi in Attica, Greece, in order to be tested and to check whether it is accomplishable. The results of the application, both the location of new stops and the modification of routes, were considered to be expected and reasonable. After the application of the methodology, there was an increase in demand that can be served, by 7.18%, and a reduction of bus routes length, by 14.27%.

Finally, this study generates a series of conclusions about the research and applications in the fields of Public Transportation Network Design, Network Analysis and GIS-T. Moreover, advantages and disadvantages of the proposed methodology are identified and possible improvements and additions to the methodology are suggested.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1	Οι Μετακινήσεις σε Αστικές Περιοχές και ο Σχεδιασμός Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών	9
1.2	Στόχος και Αντικείμενα της Εργασίας	11
1.3	Δομή της Εργασίας.....	12
2.	Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΓΣΠ-Μ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	13
2.1	Ο Σχεδιασμός Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών	13
2.2	Η Διαδικασία της Δρομολόγησης στις Δημόσιες Συγκοινωνίες.....	14
2.3	Οι Μέθοδοι και Τεχνικές Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών	16
2.3.1	Οι Στόχοι του Σχεδιασμού	19
2.3.2	Οι Παράμετροι του Σχεδιασμού.....	21
2.3.3	Οι Μεθοδολογίες του Σχεδιασμού.....	23
2.4	Η Ανάλυση Δικτύων.....	27
2.4.1	Βασικά Στοιχεία της Θεωρίας των Γράφων.....	28
2.4.2	Τα Μοντέλα Δεδομένων Δικτύων	30
2.4.3	Τα βασικά προβλήματα της Ανάλυσης Δικτύων	34
2.4.4	Σύνθετα προβλήματα της Ανάλυσης Δικτύων	41
2.5	Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για τις Μεταφορές (ΓΣΠ-Μ).....	45
2.5.1	Η Αναπαράσταση των Δεδομένων στα ΓΣΠ-Μ	46
2.5.2	Οι Μέθοδοι και οι Τεχνικές Ανάλυσης στα ΓΣΠ-Μ	48
2.5.3	Οι Εφαρμογές των ΓΣΠ-Μ.....	50
3.	ΤΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	52
3.1	Οι Στόχοι της Μεθοδολογίας	52
3.2	Οι Παράμετροι και τα Απαραίτητα Δεδομένα	54
3.3	Τα Βήματα της Μεθοδολογίας.....	56
4.	Ο ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ.....	60
4.1	Η Περιοχή Μελέτης	60
4.2	Η Συλλογή, Επεξεργασία και Οργάνωση των Δεδομένων	63
4.2.1	Το Δίκτυο Κυκλοφορίας Πεζών	63

4.2.2	Το Δίκτυο Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων (Minibus)	67
4.2.3	Η Εκτίμηση και η Χωρική Κατανομή της Ζήτησης.....	70
4.2.4	Τα Δεδομένα των Υφιστάμενων Δημοσίων Συγκοινωνιών.....	82
4.3	Η Εφαρμογή της Μεθοδολογίας	86
4.3.1	Η Αξιολόγηση των Στάσεων	86
4.3.2	Η Επιλογή των Στάσεων που Παραμένουν	90
4.3.3	Η Χωροθέτηση Νέων Στάσεων.....	94
4.3.4	Ο Ανασχεδιασμός των Γραμμών που Τροποποιούνται	97
4.4	Το Προτεινόμενο Σύστημα Λεωφορειακών Γραμμών – Σχολιασμός Αποτελεσμάτων.....	101
4.4.1	Οι Προτεινόμενες Στάσεις.....	101
4.4.2	Οι Προτεινόμενες Λεωφορειακές Γραμμές.....	107
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	110
5.1	Συμπεράσματα	111
5.2	Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	114
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αστικές περιοχές συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, σε όλες τις ανεπτυγμένες χώρες. Ωστόσο, ο σχεδιασμός των περισσότερων πόλεων πριν από την καθιέρωση της χρήσης του ιδιωτικού αυτοκινήτου, οι συνθήκες μεγάλης πυκνότητας πληθυσμού και οικονομικών χρήσεων και οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες για μετακίνηση, καθιστούν ιδιαίτερα δύσκολη την ανάπτυξη ενός συστήματος μεταφορών που να εξυπηρετεί την ζήτηση ικανοποιητικά, οικονομικά και με σεβασμό προς το περιβάλλον.

Σήμερα γίνεται λόγος για την βιώσιμη κινητικότητα, δηλαδή την κινητικότητα που ανταποκρίνεται στις ανάγκες τις κοινωνίας για ελεύθερη μετακίνηση, πρόσβαση, επικοινωνία, εμπόριο και δημιουργία σχέσεων, χωρίς να θυσιάζονται άλλες ανθρώπινες ή οικολογικές απαιτήσεις, σύγχρονες ή μελλοντικές. Η βιώσιμη κινητικότητα αποτελεί στόχο της γενικότερης πολιτικής για βιώσιμη ανάπτυξη.

1.1 Οι Μετακινήσεις σε Αστικές Περιοχές και ο Σχεδιασμός Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών

Οι Δημόσιες Συγκοινωνίες είναι ευρέως αποδεκτό ότι περεχούν σημαντικά πλεονεκτήματα στον σχεδιασμό ενός συστήματος αστικών μεταφορών. Τα πλεονεκτήματα αυτά περιλαμβάνουν την βελτίωση τις κινητικότητας για όλες τις οικονομικές τάξεις, την μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης και την άμβλυση των προβλημάτων στάθμευσης, τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο παραπάνω σημαντικός ρόλος των Δημοσίων Συγκοινωνιών έχει οδηγήσει σε ένα αξιοπρόσεκτο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, για τον σχεδιασμό των δικτύων τους. Ο σχεδιασμός και η διαχείριση δικτύων που να προσφέρουν βελτιωμένο επίπεδο εξυπηρέτησης, αλλά και οικονομική βιωσιμότητα, αποτελεί τον βασικότερο στόχο για τους φορείς Δημοσίων Συγκοινωνιών.

Παρά το γεγονός ότι ένα μεγάλο τμήμα των υφιστάμενων δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών έχει σχεδιαστεί με μεθόδους εμπειρικές, οι ερευνητές έχουν πλέον διαπιστώσει πως οι εμπειρικοί κανόνες δεν είναι επαρκείς για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών συστημάτων. Οι διάφορες μέθοδοι και τεχνικές σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, που από το τέλος της δεκαετίας του 1960 και

μέχρι σήμερα εξελίσσονται και βελτιώνονται και περιλαμβάνουν μια ποικιλία προσεγγίσεων και μοντέλων καθώς και ιδιαίτερα καινοτόμες αλγοριθμικές λύσεις, μπορούν οπωσδήποτε να οδηγήσουν σε υψηλότερη ποιότητα και πιο αποτελεσματικές υπηρεσίες.

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών είναι ένα πρόβλημα με μεταβλητές χωρικές και την χρονικές. Για τον λόγο αυτό, η ανάπτυξη των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και των Μεθόδων και Τεχνικών Χωρικής Ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένης και της Ανάλυσης Δικτύων, προσφέρουν σήμερα το κατάλληλο υπόβαθρο για την ανάπτυξη της κατάλληλων μεθοδολογιών σχεδιασμού, ανάλογα με τους στόχους που τίθενται και τους περιορισμούς που υφίστανται.

1.2 Στόχος και Αντικείμενα της Εργασίας

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση των δυνατοτήτων των σύγχρονων μεθόδων και τεχνικών της Χωρικής Ανάλυσης και ιδιαίτερα της Ανάλυσης Δικτύων, στον σχεδιασμό συστημάτων Δημοσίων Συγκοινωνιών και ειδικότερα η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας, βασισμένης στις τεχνικές Ανάλυσης Δικτύων, που να επιτυγχάνει την βελτίωση της αποδοτικότητας ενός συστήματος λεωφορειακών γραμμών, που εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη αστική περιοχή ή ζώνη.

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, ορίστηκαν τα ακόλουθα επιμέρους αντικείμενα της εργασίας :

- Η ανασκόπηση της υπάρχουσας ελληνικής και ξένης βιβλιογραφίας και αρθρογραφίας της σχετικής με τον σχεδιασμό δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών και τις σύγχρονες τεχνικές της Ανάλυσης Δικτύων.
- Η επιλογή μεθόδων και τεχνικών της Ανάλυσης Δικτύων, κατάλληλων για την αξιολόγηση και βελτίωση της εξυπηρέτησης μιας συγκεκριμένης περιοχής ή ζώνης από λεωφορειακές γραμμές.
- Η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας που να καταλήγει στον ανασχεδιασμό των λεωφορειακών γραμμών εντός μιας περιοχής ή ζώνης, χρησιμοποιώντας δεδομένα που είναι συχνά διαθέσιμα σε αστικές περιοχές.
- Η εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας στον Δήμο Αγίας Παρασκευής Αττικής και η διερεύνηση της λογικής και της ορθότητας των αποτελεσμάτων.
- Η αξιολόγηση της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε και η διατύπωση προτάσεων για την βελτίωσή της και τον συνδυασμό της με άλλες τεχνικές και μεθόδους, ώστε να επιτυγχάνονται διαφορετικοί στόχοι και πλήρης σχεδιασμός των λεωφορειακών γραμμών.

1.3 Δομή της Εργασίας

Η Εργασία αναπτύσσεται σε πέντε κεφάλαια. Στην συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά τα θέματα που εξετάζονται σε καθένα από αυτά :

- Στο **δεύτερο κεφάλαιο** επιχειρείται μια σύντομη ανασκόπηση της ελληνικής και διεθνούς βιβλιογραφίας και αρθρογραφίας, με θέμα τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στις Μεταφορές (ΓΣΠ-Μ) γενικά, την Ανάλυση Δικτύων και τον σχεδιασμό δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών. Αρχικά, γίνεται αναφορά στα μοντέλα αναπαράστασης δεδομένων, τις μεθόδους και τεχνικές ανάλυσης και τις εφαρμογές των ΓΣΠ-Μ. Στην συνέχεια περιγράφονται τα βασικά στοιχεία της θεωρίας των Γράφων, τα Μοντέλα Δεδομένων Δικτύων και τα βασικά αλλά και ορισμένα σύνθετα προβλήματα της Ανάλυσης Δικτύων. Τέλος, παρουσιάζονται η γενική διαδικασία δρομολόγησης στις Δημόσιες Συγκοινωνίες και οι μέθοδοι και τεχνικές σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, με αναφορά στους στόχους, τις παραμέτρους και τις μεθοδολογίες του σχεδιασμού.
- Στο **τρίτο κεφάλαιο** περιγράφεται η προτεινόμενη μεθοδολογία για τον ανασχεδιασμό των λεωφορειακών γραμμών μιας αστικής περιοχής ή ζώνης. Παρουσιάζονται οι στόχοι, οι παράμετροι, τα απαραίτητα δεδομένα και τα αναλυτικά βήματα υπολογισμών της μεθοδολογίας αυτής.
- Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρατίθεται η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, με τα δεδομένα του Δήμου Αγίας Παρασκευής. Αρχικά περιγράφεται η περιοχή μελέτης και παρουσιάζονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και η επεξεργασία που απαιτήθηκε για την χρήση τους. Ακολούθως, παρουσιάζονται οι υπολογισμοί και τα ενδιάμεσα αποτελέσματα των τεσσάρων βημάτων της μεθοδολογίας και τέλος σχολιάζονται τα τελικά αποτελέσματα της εφαρμογής.
- Στο **πέμπτο** και τελευταίο **κεφάλαιο** συγκεντρώνονται τα βασικότερα συμπεράσματα από τη μεθοδολογική προσέγγιση της εργασίας. Επίσης διατυπώνονται προτάσεις και υποδεικνύονται αντικείμενα για περαιτέρω έρευνα.

2. Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, Η ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΓΣΠ-Μ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Ο Σχεδιασμός Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών

Ο σχεδιασμός του δικτύου αποτελεί ίσως την πιο σημαντική διαδικασία που καλείται να φέρει εις πέρας ένας φορέας οργάνωσης και εκμετάλλευσης Δημοσίων Συγκοινωνιών, με καθοριστική επίδραση τόσο στην προσφερόμενη εξυπηρέτηση, όσο και στην οικονομική απόδοση του συστήματος. Ο σχεδιασμός αυτός αποτελεί τμήμα της όλης διαδικασίας δρομολόγησης, που περιλαμβάνει μια σειρά διαδικασιών με στόχο τον πλήρη καθορισμό των δρομολογίων των οχημάτων και την λεπτομερή αποτύπωση στον χρόνο της υπηρεσίας οχημάτων και προσωπικού.

Η διαδικασία του σχεδιασμού του δικτύου περιλαμβάνει τον ορισμό των γραμμών στον χώρο (υποδομή σταθερής τροχιάς ή οδικά τμήματα, θέσεις σταθμών ή στάσεων) και τον καθορισμό των λειτουργικών χαρακτηριστικών των γραμμών, όπως οι συχνότητες και ο τύπος των οχημάτων ή του τροχαίου υλικού. Οι γραμμές πρέπει να ορίζονται με βάση τις ροές επιβατών και να παρέχουν άμεση ή έμμεση σύνδεση μεταξύ θέσεων ή περιοχών που γεννούν ή έλκουν ζήτηση για μετακίνηση με Δημόσιες Συγκοινωνίες (Levinson, 1992). Για παράδειγμα, οι ροές επιβατών ανάμεσα σε ένα Μητροπολιτικό κέντρο και τα προάστια υπαγορεύουν την δημιουργία ακτινικών γραμμών, ενώ η ζήτηση για μετακινήσεις ανάμεσα σε διαφορετικές γειτονιές μπορεί να οδηγήσει στην επιλογή ορισμένων κυκλικών γραμμών που να τις συνδέουν.

Η έρευνα γύρω από τον σχεδιασμό δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών έχει ξεκινήσει ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1960. Ένα μεγάλο πλήθος μεθοδολογιών και τεχνικών έχουν προταθεί από τότε, με στόχο τον βέλτιστο σχεδιασμό γραμμών. Σε ορισμένες ερευνητικές εργασίες έχει γίνει και προσπάθεια κατηγοριοποίησης των μεθόδων και των τεχνικών αυτών.

2.2 Η Διαδικασία της Δρομολόγησης στις Δημόσιες Συγκοινωνίες

Η κλασική συνολική διαδικασία δρομολόγησης για Δημόσιες Συγκοινωνίες περιλαμβάνει πέντε βήματα (Ceder and Wilson 1986) :

- α) Σχεδιασμός Γραμμών (Design of Routes)
- β) Καθορισμός Συχνοτήτων (Setting Frequencies)
- γ) Υπολογισμός των Πινάκων Δρομολογίων (Developing Timetables)
- δ) Κατασκευή Χρονοδιαγραμμάτων Οχημάτων (Scheduling Buses)
- ε) Κατασκευή Χρονοδιαγραμμάτων Οδηγών (Scheduling Drivers)

Ο **Σχεδιασμός των Γραμμών** περιλαμβάνει τον καθορισμό αφετηρίας και τέρματος, των στάσεων, καθώς και των δρόμων (ή τμημάτων υποδομής) από τους οποίους θα διέρχονται τα οχήματα. Από τα παραπάνω, αυτομάτως καθορίζονται και το μήκος καθώς και ο χρόνος διαδρομής. Επιπλέον, στο στάδιο αυτό, συνήθως ορίζονται οι ώρες λειτουργίας της γραμμής, ο τύπος της (εξπρές, μειωμένου μήκους) καθώς και ο τύπος των οχημάτων.

Ο **Καθορισμός των Συχνοτήτων**, αφορά στην επιλογή του αριθμού των διελεύσεων οχημάτων ανά ώρα, βάσει της εκτιμώμενης επιβατικής κίνησης της γραμμής, της αποδεκτής πληρότητας οχημάτων και των ελάχιστων απαιτήσεων. Συνήθως αποτελεί διαδικασία δύο βημάτων, με έναν αρχικό υπολογισμό απαιτούμενων συχνοτήτων και με έναν δεύτερο υπολογισμό τελικών συχνοτήτων, που προκύπτουν με επεξεργασία των απαιτούμενων, ώστε να προκύπτουν σταθερές συχνότητες για διάφορες χρονικές περιόδους.

Στο βήμα του **Υπολογισμού των Πινάκων Δρομολογίων** δημιουργούνται πίνακες με τις ακριβείς ώρες αφίξεων και αναχωρήσεων των λεωφορείων στις στάσεις και τις αφετηρίες – τέρματα. Συνήθως δημιουργούνται διαφορετικοί πίνακες για καθημερινές, Σάββατα, Κυριακές και αργίες και διαφορετικοί για θερινές περιόδους.

Με την **Κατασκευή Χρονοδιαγραμμάτων Οχημάτων** γίνεται ο καθορισμός των οχημάτων που θα καλύψουν τα δρομολόγια, λαμβάνοντας υπόψη και τα σημεία στάθμευσης και διανυκτέρευσης, καθώς και τις ανάγκες για συντήρηση. Από το στάδιο αυτό προκύπτει και ο ακριβής αριθμός των απαιτούμενων οχημάτων.

Τέλος, με την **Κατασκευή των Χρονοδιαγραμμάτων Οδηγών** κατανέμεται το προσωπικό στα οχήματα και καθορίζονται οι ώρες εργασίας και ανάπαυσής του σε ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία βάση.

Ο όρος **Σχεδιασμός Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών** αναφέρεται στην διαδικασία με την οποία εκτελούνται κυρίως τα δύο πρώτα από τα πέντε βήματα της δρομολόγησης, δηλαδή ο Σχεδιασμός των Γραμμών και ο Καθορισμός των Συχνοτήτων. Εκτός από τις συμβατικές, κυρίως εμπειρικές μεθόδους σχεδιασμού δικτύων, στα ακόλουθα αναφέρονται και πολλές νεότερες μεθοδολογίες και τεχνικές που στηρίζονται σε μοντέλα και αλγοριθμικές λύσεις.

2.3 Οι Μέθοδοι και Τεχνικές Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών

Για να σχεδιαστεί ένα δίκτυο Δημοσίων Συγκοινωνιών, είναι απαραίτητοι οι στόχοι που θέτει ο φορέας των Δημοσίων Συγκοινωνιών, τα δεδομένα και οι μεταβλητές, όπως τα λειτουργικά χαρακτηριστικά και το περιβάλλον εντός του οποίου θα λειτουργήσει το δίκτυο καθώς και η επιλογή μιας μεθοδολογική προσέγγισης. Ο Σχεδιασμός ενός δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, όπου τίθενται στόχοι, καθορίζονται οι περιορισμοί και επιλέγεται μια μεθοδολογία που να επιτυγχάνει την βέλτιστη λύση.

Τα βασικά **χαρακτηριστικά του Προβλήματος** Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών κατά τον Hasselstrom (1981) είναι η ζήτηση, οι αντικειμενικές συναρτήσεις, οι περιορισμοί, η συμπεριφορά του επιβάτη, οι τεχνικές επίλυσης και ο υπολογιστικός χρόνος για την λύση του προβλήματος. Ο Chua (1984), διέκρινε τους ακόλουθους πέντε **τύπους προσεγγίσεων** του προβλήματος : τον χειρωνακτικό, την ανάλυση αγοράς, την ανάλυση συστήματος, την ανάλυση συστήματος με γραφικές μεθόδους και την μαθηματική προσέγγιση βελτιστοποίησης.

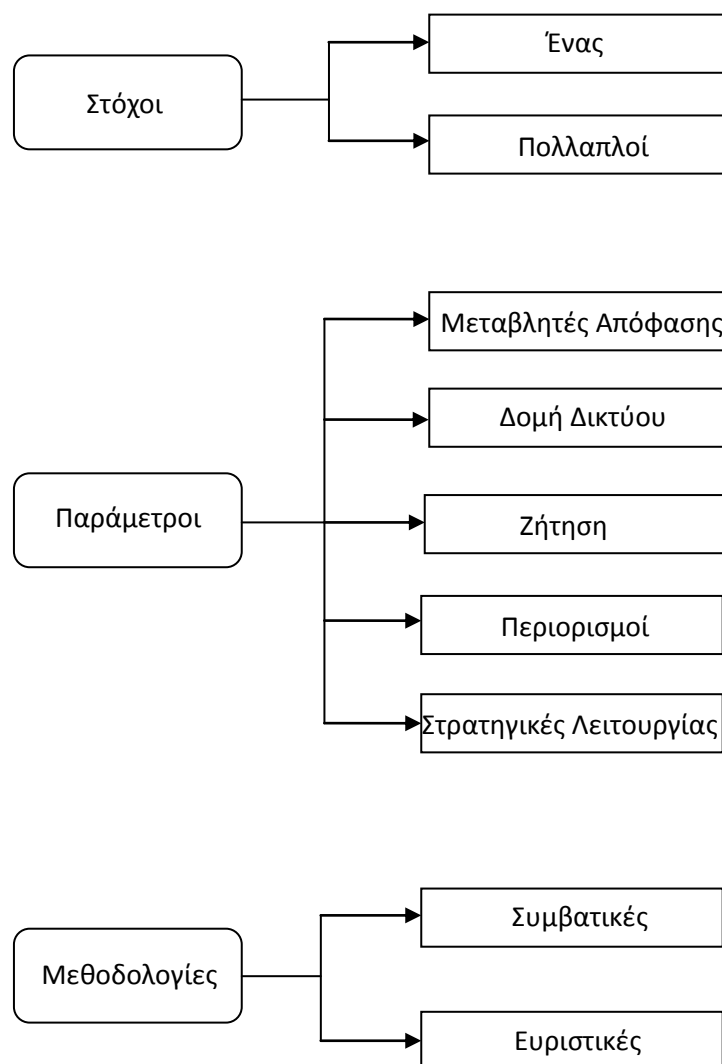
Οι Ceder και Wilson (1986) διέκριναν τις προγενέστερες μελέτες του προβλήματος σε εκείνες που χρησιμοποιούν ιδεατά δίκτυα και εκείνες που επικεντρώνονται σε πραγματικά δίκτυα οδών ή υποδομών, ενώ ως χαρακτηριστικά του προβλήματος θεώρησαν την ζήτηση, τους στόχους, τους περιορισμούς και τις τεχνικές επίλυσης.

Ο Chua (1984), διέκρινε τους ακόλουθους πέντε τύπους προσεγγίσεων του προβλήματος : τον χειρωνακτικό, την ανάλυση αγοράς, την ανάλυση συστήματος, την ανάλυση συστήματος με γραφικές μεθόδους και την μαθηματική προσέγγιση βελτιστοποίησης. Οι Van Nes et al. (1988) πρότειναν έξι κατηγορίες μοντέλων σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, που είναι τα αναλυτικά μοντέλα για συσχέτιση παραμέτρων του συστήματος, τα μοντέλα καθορισμού των συνδέσμων δικτύου (links) που επιλέγονται για να χρησιμοποιηθούν από τα οχήματα της Δημόσιας Συγκοινωνίας, τα μοντέλα που καθορίζουν μόνο γραμμές, τα μοντέλα που καθορίζουν συχνότητες για μια ομάδα γραμμών, τα μοντέλα δύο βημάτων που δημιουργούν γραμμές και καθορίζουν συχνότητες και τέλος, τα μοντέλα που ταυτόχρονα καθορίζουν γραμμές και συχνότητες.

Οι Ceder και Israeli (1997) διέκριναν δύο βασικές κατηγορίες μοντέλων σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών : τα μοντέλα προσομοίωσης των επιβατικών ροών και τα μαθηματικά μοντέλα προγραμματισμού. Ο Russo (1998) επιπλέον

παρατήρησε ότι τα μαθηματικά μοντέλα προγραμματισμού εγγυώνται τον βέλτιστο σχεδιασμό δικτύου αλλά θυσιάζουν το επίπεδο της λεπτομέρειας, ενώ τα μοντέλα προσομοίωσης αντιπροσωπεύουν την συμπεριφορά του επιβάτη, αλλά χρησιμοποιούν ευριστικές διαδικασίες επίλυσης.

Μια ακόμη νεότερη κατηγοριοποίηση από τους Fan και Machemehl (2004, 2006), ταξινομεί τις προσεγγίσεις σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών σε πρακτικές προσεγγίσεις, αναλυτικά μοντέλα για ιδεατές συνθήκες και μετα-ευριστικές διαδικασίες για πρακτικά προβλήματα.



Σχήμα 2.1 : Τα τρία επίπεδα ταξινόμησης των προσεγγίσεων του προβλήματος σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών

ΠΗΓΗ : Keraptsoglou και Karlaftis, 2009

Τέλος, οι Keraptsoglou και Karlaftis (2009) προτείνουν μια δομή τριών επιπέδων για την οργάνωση και κατηγοριοποίηση των προσεγγίσεων σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών. Τα τρία επίπεδα είναι οι **Στόχοι**, οι **Παράμετροι** και η **Μεθοδολογία** και καθένα από τα επίπεδα περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους χαρακτηρισμούς για κάθε μελέτη που ταξινομήθηκε.

Στα ακόλουθα χρησιμοποιούνται τα παραπάνω τρία επίπεδα των προσεγγίσεων (Στόχοι, Παράμετροι, Μεθοδολογία – Σχήμα 2.1) για να παρουσιαστούν τα χαρακτηριστικά των διαφόρων μεθόδων και τεχνικών για τον σχεδιασμό δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών.

2.3.1 Οι Στόχοι του Σχεδιασμού

Οι στόχοι που θα πρέπει να επιτυγχάνει ο σχεδιασμός ενός δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών, πρέπει να οδηγούν τόσο στην κατά το δυνατό καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών, όσο βέβαια και στον περιορισμό του κόστους των υπηρεσιών. Οι δύο αυτοί γενικοί στόχοι αντιστοιχούν και σε δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες από τις οποίες προσεγγίζεται το πρόβλημα, δηλαδή αυτή του χρήστη και αυτή του φορέα.

Στις διάφορες μεθοδολογίες και τεχνικές επίλυσης του προβλήματος του σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών τίθενται διάφοροι πιο συγκεκριμένοι στόχοι. Κατά τους Fielding (1987), Van Oudheudsen et al. (1987) και Black (1995) οι παραπάνω στόχοι συνοψίζονται στις ακόλουθες **κατηγορίες** : α) μεγιστοποίηση του οφέλους των χρηστών, β) ελαχιστοποίηση του κόστους του φορέα, γ) μεγιστοποίηση της συνολικής απόδοσης, δ) μεγιστοποίηση μεταφορικής ικανότητας, ε) εξοικονόμηση ενέργειας – προστασία περιβάλλοντος και στ) βελτιστοποίηση ατομικών παραμέτρων.

Κατά τον Mandl (1980), τα συστήματα Δημοσίων Συγκοινωνιών θα πρέπει να σχεδιάζονται με βάση διάφορους στόχους, που συχνά έρχονται σε αντίθεση μεταξύ τους. Για παράδειγμα, η μείωση του κόστους λειτουργίας μπορεί να απαιτεί την πτώση της ποιότητας των υπηρεσιών. Πάντως, οι Van Nes και Bony (2000) παρατηρούν ότι η επιλογή των συγκεκριμένων κάθε φορά στόχων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό, τόσο την ελκυστικότητα, όσο και την απόδοση των δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών.

Οι Ceder και Wilson (1986) διαπίστωσαν ότι, στις περισσότερες από τις προγενέστερες προσεγγίσεις για την ανάπτυξη δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, κυριαρχούν οι στόχοι είτε της ελαχιστοποίησης του γενικευμένου κόστους ή χρόνου μετακίνησης, είτε της μεγιστοποίησης του καταναλωτικού πλεονάσματος. Ο Berechman (1993) προτείνει την μεγιστοποίηση της συνολικής απόδοσης, ως τον πιο κατάλληλο στόχο για τον σχεδιασμό ενός δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών. Ωστόσο, οι Van Nes και Bony (2000) καταλήγουν στα συμπεράσματα ότι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους χρηστών και συστήματος φαίνεται να αποτελεί τον πιο κατάλληλο και λιγότερο σύνθετο στόχο, ενώ η μεγιστοποίηση του κέρδους του φορέα οδηγεί σε μη ελκυστικά δίκτυα Δημοσίων Συγκοινωνιών.

Τέλος, κατά τους Keraptsoglou και Karlaftis (2009), στις περισσότερες μεθοδολογίες και τεχνικές γίνεται προσπάθεια για βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος, που οδηγεί σε οφέλη τόσο για τους χρήστες, όσο και για τον φορέα λειτουργίας. Στα οφέλη των χρηστών συμπεριλαμβάνονται η ελαχιστοποίηση του

κόστους (χρόνου) διαδρομής, πρόσβασης και αναμονής, η ελαχιστοποίηση των μετεπιβιβάσεων καθώς και η μεγιστοποίηση της κάλυψης. Στα οφέλη για τον φορέα και το σύστημα περιλαμβάνονται η μέγιστη χρήση και ποιότητα παρεχόμενης εξυπηρέτησης, η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους, η μεγιστοποίηση του κέρδους και η ελαχιστοποίηση του χρησιμοποιούμενου στόλου οχημάτων. Η βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης του συστήματος συνήθως επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση του κόστους χρηστών και συστήματος.

Εκτός από την βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης, σε ορισμένες μελέτες τίθενται και άλλοι συγκεκριμένοι στόχοι, είτε από την οπτική γωνία του επιβάτη, είτε από την οπτική γωνία του φορέα, είτε και από περιβαλλοντική οπτική γωνία. Σε αυτούς τους στόχους περιλαμβάνονται η ευκολία των επιβατών, ο αριθμός των μετεπιβιβάσεων, η μεγιστοποίηση του κέρδους ή της μεταφορικής ικανότητας του συστήματος, η ελαχιστοποίηση του συνολικού χρόνου μετακίνησης και η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμων.

Η βελτιστοποίηση της συνολικής απόδοσης μπορεί να θεωρηθεί και ως μία προσπάθεια συγκερασμού των διαφόρων στόχων, αφού άλλωστε το πρόβλημα του σχεδιασμού είναι από τον ορισμό του ένα πρόβλημα με πολλαπλούς στόχους. Μια ακόμη προσέγγιση στην προσπάθεια συνδυασμού πολλαπλών στόχων είναι και ο υπολογισμός δεικτών που να τους εκφράζουν. Η επιλογή του βέλτιστου δικτύου προκύπτει από την αξιολόγηση τους, βάσει της ομάδας των δεικτών, ή ακόμη από την αξιολόγηση βάσει ενός συνολικού, συνδυαστικού δείκτη.

2.3.2 Οι Παράμετροι του Σχεδιασμού

Ως **παράμετροι** μιας μεθόδου σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, θεωρούνται όλα τα μεγέθη και οι μεταβλητές που απαιτούνται, για μία ρεαλιστική αναπαράσταση ενός τέτοιου δικτύου. Στις παραμέτρους ανήκουν οι μεταβλητές απόφασης (decision variables), οι οποίες περιγράφουν την μορφή και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του δικτύου (συχνότητες, μέγεθος στόλου κ.α.). Το λειτουργικό περιβάλλον του δικτύου (μορφή δικτύου, χαρακτηριστικά ζήτησης), οι στρατηγικές και οι κανόνες λειτουργίας, καθώς και οι διαθέσιμοι πόροι, αποτελούν επίσης παραμέτρους του προβλήματος. Οι διαθέσιμοι πόροι καλούνται ακόμη και περιορισμοί.

Ως **μεταβλητές απόφασης**, στην πλειονότητα των μελετών επιλέγονται οι γραμμές (επιλογή των διαδρομών που θα ακολουθούν τα οχήματα των Δημοσίων Συγκοινωνιών) και οι συχνότητες των γραμμών (Keraptsoglou και Karlaftis, 2009). Σε ορισμένες παλαιότερες μελέτες επιτυγχάνεται η επιλογή του βέλτιστου διαστήματος μεταξύ γραμμών σε δίκτυο καθέτων οδών, καθώς και η επιλογή των αντίστοιχων συχνοτήτων. Σε επόμενες προσεγγίσεις του προβλήματος, στις μεταβλητές απόφασης περιλαμβάνονται ο πλήρης σχεδιασμός των γραμμών (σύνδεσμοι του δικτύου από τους οποίους θα διέρχονται οι γραμμές), οι συχνότητες, το ύψος των κομίστρων, οι ζώνες εξυπηρέτησης, οι θέσεις των στάσεων καθώς και ο τύπος των οχημάτων.

Όσον αφορά στην **δομή του δικτύου**, σε μερικές από τις πρώτες προσεγγίσεις του προβλήματος, χρησιμοποιήθηκαν ιδεατά δίκτυα, ακτινωτά ή ορθογωνικά. Ωστόσο, κατά τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται ακανόνιστα ή πραγματικά δίκτυα, η ακόμη προτείνονται προσεγγίσεις στις οποίες δεν έχει σημασία η δομή του δικτύου.

Η **ζήτηση** για μετακινήσεις μπορεί να θεωρηθεί τόσο ως σταθερή (ή ανελαστική), όσο και ως ελαστική, στην περίπτωση που επηρεάζεται από την απόδοση του συστήματος και τις παρεχόμενες υπηρεσίες γενικά. Η μεταβολή της ζήτησης μπορεί επίσης, κατά τους Lee και Vuchic (2005), να διακριθεί σε δύο τύπους : την μεταβολή της ζήτησης για κάθε μεταφορικό μέσο, όταν η συνολική ζήτηση παραμένει σταθερή και την μεταβολή της συνολικής ζήτησης για μετακινήσεις, η οποία γενικά ακολουθεί τις επιδόσεις του συστήματος μεταφορών.

Επιπλέον, η ζήτηση παρουσιάζει πολύ σημαντικές μεταβολές στον χώρο και τον χρόνο (Hurdle 1973). Σε ορισμένες μελέτες, οι μεταβολές αυτές λαμβάνονται υπόψη. Στην προσέγγιση των Chien et al (2001,2003) χρησιμοποιούνται ζώνες με διαφορετικές πυκνότητες ζήτησης, ενώ στην προσέγγιση των Chang και Schonfeld

(1991,1993) αναπτύσσονται μοντέλα με ζήτηση που μεταβάλλεται στις διάφορες χρονικές περιόδους.

Για την βελτίωση της μεταφορικής ικανότητας και γενικά της απόδοσης των συστημάτων Δημοσίων Συγκοινωνιών, έχουν αναπτυχθεί και διάφορες **στρατηγικές λειτουργίας**, οι οποίες επίσης αποτελούν παραμέτρους του σχεδιασμού. Τέτοιες στρατηγικές αποτελούν, για παράδειγμα, τα δρομολόγια περιορισμένου μήκους, οι ταχείες γραμμές χωρίς στάσεις ή με παράλειψη στάσεων, η διασύνδεση γραμμών, η ρύθμιση των δρομολογίων ώστε να μειώνονται οι επιστροφές κενών οχημάτων κ.α..

Τέλος, οι **περιορισμοί**, οι οποίοι τίθενται στο πρόβλημα του σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, εκφράζουν την απόδοση του συστήματος, σε σχέση και με τα όρια που υπάρχουν στους διαθέσιμους πόρους (Fan και Machemehl, 2006). Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται το εύρος βιώσιμων συχνοτήτων, τα μέγιστα και ελάχιστα φορτία, το σχήμα, η ευθύτητα, το μέγιστο μήκος και ο αριθμός των γραμμών και πιο συχνά το μέγεθος του στόλου και ο προϋπολογισμός του φορέα των Δημοσίων Συγκοινωνιών.

2.3.3 Οι Μεθοδολογίες του Σχεδιασμού

Το πρόβλημα του σχεδιασμού ενός δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών, που, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, αποτελεί ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης, δεν είναι δυνατόν να επιλυθεί μόνο με κλασσικά μαθηματικά και παραδοσιακές τεχνικές επίλυσης. Η επιλογή των κατάλληλων διαδρομών του δικτύου για την δημιουργία των γραμμών, είναι ένα πρόβλημα που απαιτεί πολύ μεγάλο πλήθος υπολογισμών, ενώ δεν είναι εύκολο να προκύψουν λύσεις που θα είναι με βεβαιότητα οι βέλτιστες.

Κατά τους Baaj και Mahmassani (1991), πηγές της **πολυπλοκότητας** του προβλήματος σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών είναι η συνδυαστική με πολλαπλούς στόχους φύση του, οι δυσκολίες στην σχηματοποίηση του και στον ορισμό αποδεκτών γραμμών, η μη γραμμικότητα και η ύπαρξη πολλών ακρότατων στις σχέσεις που το διέπουν. Επιπλέον, έννοιες όπως οι μετεπιβιβάσεις ή η συνέχεια των γραμμών είναι δύσκολο να αναπαρασταθούν, καθιστώντας την μαθηματική επίλυση ακόμη πιο δύσκολη (Chackroborty, 2003).

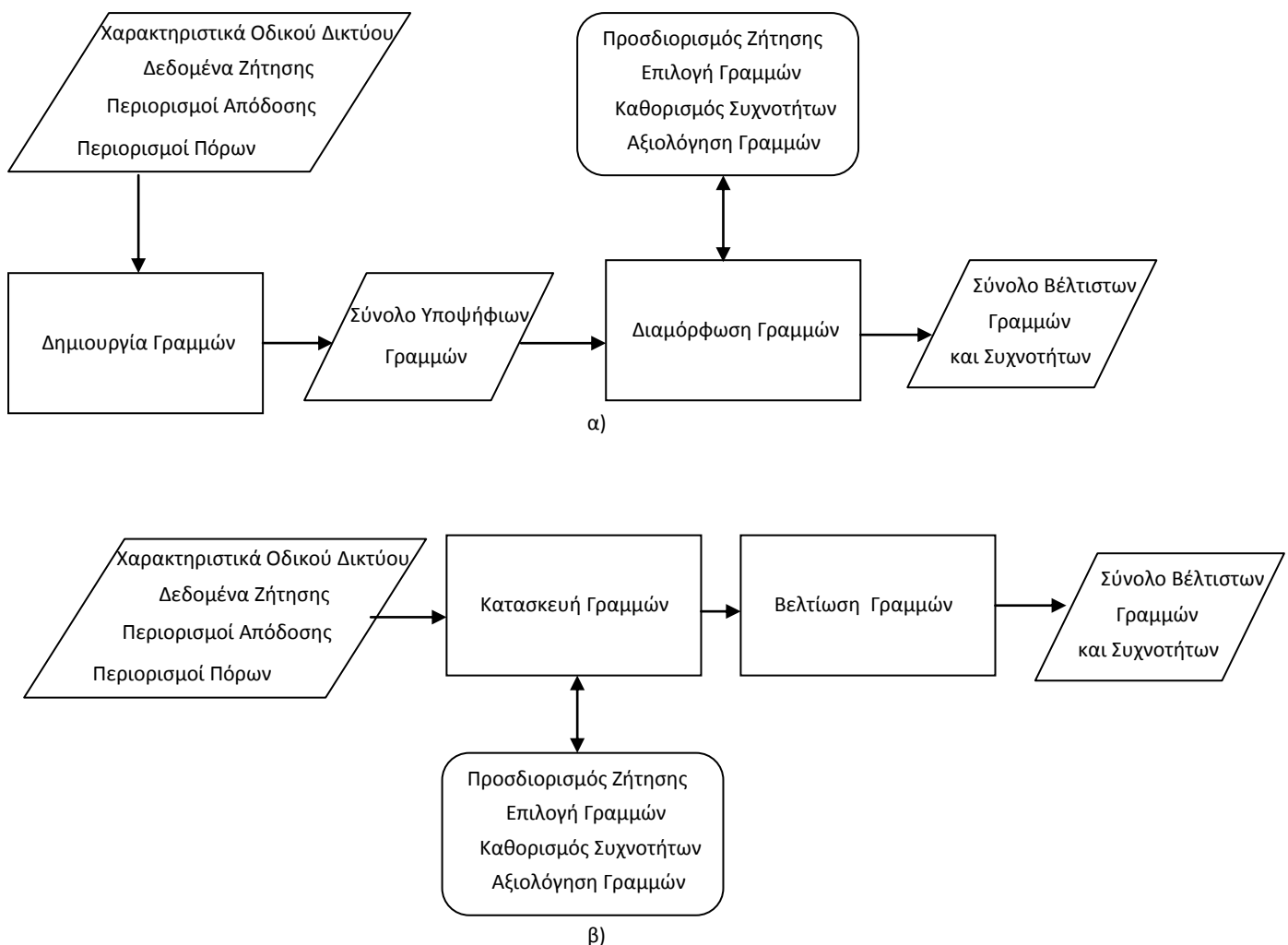
Οι διάφορες μεθοδολογικές προσεγγίσεις, που έχουν κατά καιρούς προταθεί για την επίλυση του προβλήματος, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο βασικές **κατηγορίες** : τις **συμβατικές** (conventional methods) και τις **ευριστικές** (heuristics) (Keraptsoglou και Karlaftis, 2009). Οι συμβατικές μέθοδοι μπορούν ακόμη να διακριθούν στις αναλυτικές (analytical methods) και τον μαθηματικό προγραμματισμό (mathematical programming), ενώ στις ευριστικές ανήκουν οι παραδοσιακές ευριστικές (traditional heuristics) και οι μέτα- ευριστικές (Metaheuristics).

Οι **αναλυτικές μέθοδοι** (analytical methods) επικεντρώνονται στην ανάπτυξη σχέσεων μεταξύ διαφόρων μεγεθών του δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών, οι οποίες συνήθως εφαρμόζονται σε δίκτυα μικρού μεγέθους με απλή ή ιδεατή δομή. Κατά τον Ceder (2001), τα αναλυτικά μοντέλα είναι κατάλληλα για την ανάλυση πολιτικών για τις Δημόσιες Συγκοινωνίες, οπότε και απαιτούνται προσεγγιστικές τιμές παραμέτρων, ενώ δεν προσφέρονται για έναν συνολικό σχεδιασμό. Επίσης, κατά τους Tom και Mohan (2003), τα μοντέλα αυτά παρουσιάζουν θεωρητικό μόνο ενδιαφέρον.

Για την επίτευξη του σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, έχουν προταθεί ακόμη δομές **μαθηματικού προγραμματισμού** (mathematical programming) (Van Ne et al., 1988, Baaj και Mahmassani, 1995), καθώς μοντέλα μη γραμμικού προγραμματισμού (Constantin και Florian, 1995, Russo, 1998, Delle Site και Filippi, 2001). Ωστόσο οι προσεγγίσεις αυτές δεν χρησιμοποιούν ως μεταβλητή απόφασης

τις γραμμές. Σύμφωνα με τον Chakroboroty (2003), οι προσεγγίσεις που στηρίζονται στον μαθηματικό προγραμματισμό δεν μπορούν να αναπαραστήσουν το πρόβλημα επαρκώς, αφού απαιτούν διακριτές μεταβλητές απόφασης, είναι μη γραμμικές και χρησιμοποιούν λογικές συνθήκες.

Οι **ευριστικές μέθοδοι** (heuristics), χρησιμοποιούν αντίστοιχους αλγόριθμους, σε μια προσπάθεια για ορθότερη αναπαράσταση και αποτελέσματα, καθώς και μείωση της απαιτούμενης υπολογιστικής ισχύος. Τα περισσότερα ευριστικά μοντέλα περιλαμβάνουν διαδικασίες για την δημιουργία υποψήφιων γραμμών καθώς και διαδικασίες για την τελική διαμόρφωση τους, υποστηριζόμενες συχνά από αλγορίθμους προ-επεξεργασίας και αλγορίθμους επεξεργασίας της ζήτησης (Keraptsoglou και Karlaftis, 2009). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2α, στα μοντέλα αυτά, σχηματίζεται ένα σύνολο υποψήφιων γραμμών, βάσει ορισμένων κριτηρίων και στην συνέχεια επιλέγεται το βέλτιστο υποσύνολο αυτών με την χρήση κάποιου αλγορίθμου βελτιστοποίησης.



Σχήμα 2.2 : Διαγράμματα ροής τυπικών ευριστικών μεθόδων

ΠΗΓΗ : Keraptsoglou και Karlaftis, 2009

Μια δεύτερη κατηγορία ευριστικών μοντέλων χρησιμοποιεί μια εναλλακτική προσέγγιση, με την οποία πρώτα δημιουργούνται κάποιες αρχικές γραμμές και στην συνέχεια αυτές βελτιώνονται (Mandl, 1980). Η προσέγγιση αυτή απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 2.2β. Τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις ευριστικών μεθόδων, χρησιμοποιούνται μετα-ευριστικές διαδικασίες, με τις οποίες επιτυγχάνεται απευθείας κατασκευή βέλτιστων γραμμών.

Οι διαδικασίες για την **δημιουργία υποψήφιας γραμμών** είναι συνήθως αλγόριθμοι βασισμένοι σε αυτόν της εύρεσης της συντομότερης διαδρομής (shortest path algorithm), οι οποίοι δημιουργούν γραμμές, κάτω από συγκεκριμένους περιορισμούς. Οι περιορισμοί είναι δυνατόν να αναφέρονται στον αριθμό των γραμμών, στο μήκος τους, στον χρόνο διαδρομής ή και σε άλλα μεγέθη. Η ανάπτυξη των γραμμών γίνεται με την πρόσθεση είτε συνδέσμων (links), είτε κόμβων (nodes) του οδικού δικτύου (ή της υποδομής σταθερής τροχιάς).

Οι διαδικασίες για την **διαμόρφωση των γραμμών** είναι συνήθως επαναληπτικές διαδικασίες που βασίζονται σε έναν αλγόριθμο αναζήτησης, ο οποίος υποστηρίζεται από ρουτίνες για τον προσδιορισμό της ζήτησης, την ανάλυση και την αξιολόγηση των γραμμών. Ο τύπος του αλγόριθμου αναζήτησης στις διάφορες προσεγγίσεις ποικίλλει και μπορεί να περιλαμβάνει απλή τοπική αναζήτηση, μαθηματικό προγραμματισμό, παραδοσιακές ευριστικές τεχνικές ή και μετα-ευριστικές τεχνικές. Η επιλογή των γραμμών και ο καθορισμός των συχνοτήτων είναι δυνατόν να γίνονται ταυτόχρονα ή διαδοχικά.

Οι εναλλακτικές διαδικασίες της **δημιουργίας αρχικών γραμμών και της βελτίωσής** τους παρουσιάζουν και αυτές ποικιλία. Οι αρχικές γραμμές είναι δυνατόν να είναι οι υφιστάμενες (Mandl, 1980) και να βελτιώνονται με οδηγό το κόστος τους, ή να προκύπτουν από τα διαδρομές του οδικού δικτύου με υψηλή κυκλοφορία (Carrese και Gori, 2002). Η βελτίωση των γραμμών είναι δυνατόν να επιτυγχάνεται με μείωση του αριθμού των μετεπιβιβάσεων, ή με επέκταση των γραμμών.

Ο **προσδιορισμός της ζήτησης**, δηλαδή ο καταμερισμός των επιβατών στις γραμμές αποτελεί επίσης βασική διαδικασία των διαφόρων προσεγγίσεων του προβλήματος. Στις περισσότερες ευριστικές μεθόδους, ο καταμερισμός των επιβατών, με ορισμένη προέλευση και προορισμό, γίνεται σε περισσότερες από μία διαδρομές. Ο καταμερισμός στις διάφορες εναλλακτικές γραμμές ακλουθεί την αποδοχή των χρηστών για κάθε γραμμή (Lampkin και Saalmans, 1967). Για παράδειγμα, όταν χρησιμοποιείται ο κανόνας καταμερισμού βάσει συχνότητας, η ζήτηση κατανέμεται ανάλογα με την πιθανότητα το όχημα μιας γραμμής να προσέλθει σε μία στάση νωρίτερα, από αυτά τον ανταγωνιστικών γραμμών.

Οι ευριστικές μέθοδοι επινοήθηκαν με στόχο την βελτίωση της λεπτομέρειας στην αναπαράσταση των δικτύων, σε σχέση πάντοτε και με την διαθέσιμη υπολογιστική ισχύ. Ωστόσο και για αυτές τις μεθόδους έχουν διαπιστωθεί αρκετά μειονεκτήματα, όπως η αδυναμία τους να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλα δίκτυα, η εξαγωγή αποτελεσμάτων που είναι προσεγγιστικά και όχι πάντοτε βέλτιστα, καθώς και οι περιορισμοί στα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Για την επίτευξη αποτελεσμάτων υψηλότερης ποιότητας, αναπτύχθηκαν και μέθοδοι βασισμένες σε μετα-ευριστικούς αλγορίθμους. Ανάμεσα στις **μετα-ευριστικές μεθόδους**, η χρήση Γενετικών Αλγορίθμων (Genetic Algorithms), καθώς και αλγορίθμων Βελτιστοποίησης Αποικίας Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization), έχουν συγκεντρώσει σημαντικό επιστημονικό ενδιαφέρον.

2.4 Η Ανάλυση Δικτύων

Η Ανάλυση Δικτύων περιλαμβάνει μια σειρά μεθόδων και τεχνικών, που βασίζονται στην θεωρία των γράφων και τα μοντέλα δεδομένων δικτύων, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή στην μελέτη και ανάλυση πραγματικών δικτύων μεταφορών. Η Ανάλυση Δικτύων αποτελεί επιστημονικό πεδίο που χαρακτηρίζεται από ταχεία μεθοδολογική και επιστημονική πρόοδο, τα τελευταία χρόνια.

Η **θεωρία των γράφων** (graph theory) έχει αναπτύξει μια τοπολογική και μαθηματική αναπαράσταση της φύσης και της δομής των δικτύων μεταφορών. Η θεωρία αυτή είναι δυνατόν να επεκταθεί, ώστε να επιτρέπει την πλήρη ανάλυση πραγματικών δικτύων μεταφορών, τα οποία κωδικοποιούνται σε σύστημα πληροφοριών. Η ψηφιακή αναπαράσταση των δικτύων είναι ιδιαίτερος σύνθετη, καθώς τα δεδομένα για τις μεταφορές αφορούν διάφορα συστήματα μεταφορών, εμπλέκουν πολλούς τοπικούς, εθνικούς ή διεθνείς περιορισμούς και προσεγγίζονται από διαφορετικές οπτικές γωνίες χρηστών των συστημάτων (Miller και Shaw, 2001).

Τα **μοντέλα δεδομένων δικτύων** (Network Data Models) είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα εννοιολογικά μοντέλα αναπαράστασης δεδομένων δικτύων, σε περιβάλλον ΓΣΠ. Τα εννοιολογικά μοντέλα περιγράφουν την οργάνωση των δεδομένων σε υψηλό επίπεδο αφαίρεσης, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τα ζητήματα της υλοποίησης βάσεων δεδομένων (Atzeni et al., 1999).

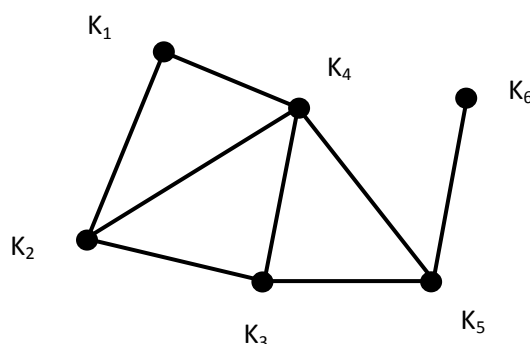
2.4.1 Βασικά Στοιχεία της Θεωρίας των Γράφων

Ο **γράφος** (graph) αποτελεί μια συμβολική αναπαράσταση ενός δικτύου και της συνδεσιμότητας του. Παρέχει μια απλοποίηση της πραγματικότητας, ώστε το δίκτυο να απλοποιείται σε ένα σύνολο συνδεδεμένων κόμβων. Η **θεωρία των γράφων** αποτελεί κλάδο των μαθηματικών, που έχει ως αντικείμενο την κωδικοποίηση των δικτύων και των μετρούμενων ιδιοτήτων τους (Rodrigue, 2009).

Στα ακόλουθα συνοψίζονται οι βασικές έννοιες της θεωρίας των γράφων :

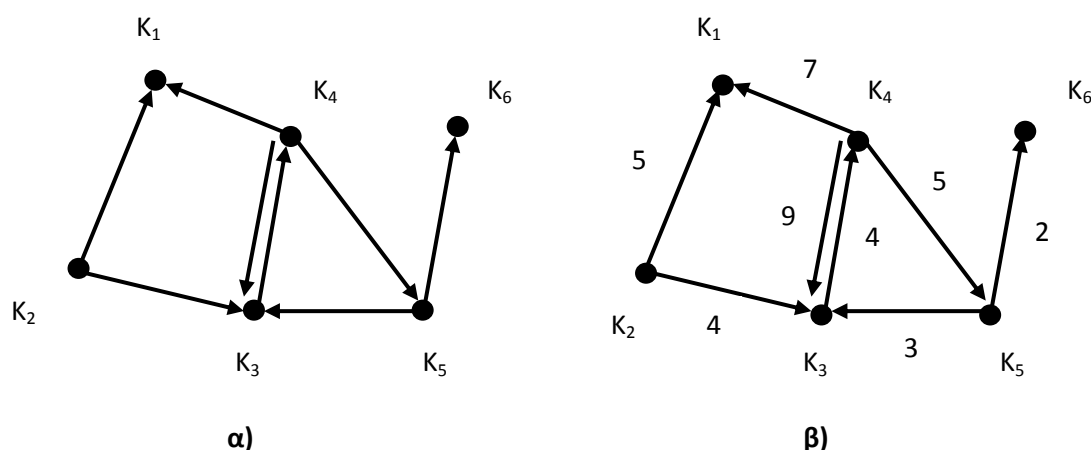
- Ένας **γράφος** $\Gamma(K,A)$ είναι ένα σύνολο κόμβων K που συνδέονται με ακμές (συνδέσμους) A .
- Ένας **κόμβος** K (node) είναι ένα τερματικό σημείο ή ένα σημείο σύνδεσης του γράφου $\Gamma(K,A)$. Αποτελεί την αφαιρετική αναπαράσταση μια θέσης, όπως μιας πόλης, μια διοικητικής περιφέρειας, μιας διασταύρωσης ή ενός τερματικού σταθμού ενός συστήματος μεταφορών.
- Μια **ακμή** A (edge) είναι ένας σύνδεσμος μεταξύ δύο κόμβων K . Αποτελεί την αφαιρετική αναπαράσταση ενός τμήματος υποδομής μεταφορών, που παρέχει την δυνατότητα μετακίνησης ανάμεσα στους δύο κόμβους. Μπορεί να έχει κατεύθυνση, η οποία συνήθως απεικονίζεται γραφικά με ένα βέλος.

Στο Σχήμα 2.1 δίνεται ένα παράδειγμα γράφου με 6 κόμβους, K_1 έως K_6 και 8 ακμές. Μια ακμή που καταλήγει σε κόμβο, που δεν συνδέεται με άλλη ακμή, όπως η ακμή (K_5, K_6) του σχήματος, καλείται **τυφλή**. Δύο ακμές που καταλήγουν στον ίδιο κόμβο, όπως οι ακμές (K_1, K_2) και (K_2, K_3) του σχήματος, καλούνται **γειτονικές**. Δύο κόμβοι που υπάρχει ακμή που τους συνδέει άμεσα, όπως οι K_1 και K_2 που συνδέονται με την ακμή (K_1, K_2) , καλούνται επίσης **γειτονικοί**.



Σχήμα 2.1 : Παράδειγμα Γράφου $\Gamma(K,A)$

ΠΗΓΗ : Στεφανάκης, 2003



Σχήμα 2.2 : Παράδειγμα α) Κατευθυνόμενου Γράφου, β) Κατευθυνόμενου Γράφου με Βάρη

ΠΗΓΗ : Στεφανάκης, 2003

- **Κατευθυνόμενος γράφος** (directed graph) καλείται ο γράφος στον οποίο καθορίζονται κατευθύνσεις στις ακμές του. Ένας κατευθυνόμενος γράφος απεικονίζεται στο σχήμα 2.2α.

- **Γράφος με βάρη** (weighted graph) καλείται ο γράφος στον οποίο ανατίθενται βάρη στις ακμές του. Ένας κατευθυνόμενος γράφος με βάρη απεικονίζεται στο σχήμα 2.2β.

Η οργάνωση των κόμβων και των ακμών σε έναν γράφο διαμορφώνει μία δομή που μπορεί να περιγραφεί και να ταξινομηθεί. Στις **βασικές δομικές ιδιότητες** ενός γράφου συμπεριλαμβάνονται η συμμετρία, η πληρότητα, η συνδεσιμότητα, η συμπληρωματικότητα κ.α.

Διάφορα **μέτρα και δείκτες** μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να αναλυθεί η αποτελεσματικότητα ενός γράφου. Με τα μεγέθη αυτά είναι δυνατόν να εκφραστούν σχέσεις μεταξύ τιμών των χαρακτηριστικών ενός δικτύου και των αντίστοιχων δομών που αναπαριστούν, να συγκριθούν διάφορα δίκτυα μεταξύ τους ή να μελετηθεί η εξέλιξη ενός δικτύου με τον χρόνο. Εκτός από τα απλά μέτρα, όπως ο αριθμός κόμβων και ακμών ή το συνολικό μήκος ακμών, υπάρχει πλήθος πιο σύνθετων μέτρων και δεικτών, όπως η διάμετρος, ο αριθμός κύκλων, η πυκνότητα δικτύου, οι δείκτες Pi, Eta, Theta, Beta, Alpha, Gama, η ιεραρχία, το μέσο μήκος συντομότερης διαδρομής κ.α..

2.4.2 Τα Μοντέλα Δεδομένων Δικτύων

Τα διάφορα μοντέλα δεδομένων δικτύων παρέχουν την δυνατότητα για κατάλληλη κωδικοποίηση, επεξεργασία, ανάλυση, αποθήκευση, ανάκτηση και απεικόνιση των δικτύων μεταφορών. Περιγράφουν την οργάνωση των δεδομένων σε υψηλό επίπεδο αφαίρεσης και ορίζουν βασικές αρχές, όπως οι χρησιμοποιούμενες οντότητες, οι ιδιότητές τους και οι μεταξύ τους σχέσεις. Επιτρέπουν δε την συνακόλουθη δημιουργία των λογικών μοντέλων, τα οποία παρέχουν τα - κατάλληλα για το σύστημα- διαγράμματα οργάνωσης των δεδομένων (Atzeni et al., 1999).

Η κατασκευή της γεωμετρίας των δικτύων εξαρτάται από τα μέσα που χρησιμοποιούνται και την κλίμακα από την οποία αναλύονται. Για παράδειγμα, τα αστικά οδικά δίκτυα μπορούν να προκύψουν από αεροφωτογραφίες ή τοπογραφικές αποτυπώσεις, ενώ τα δίκτυα αεροπορικών μεταφορών είναι δυνατόν να δημιουργηθούν βάσει των θέσεων των αεροδρομίων, και των προγραμμάτων πτήσεων ανάμεσα στα αεροδρόμια.

Το απλούστερο μοντέλο δεδομένων δικτύων, το οποίο παρέχει μόνο την **βασική αναπαράσταση** της γεωμετρίας του δικτύου, περιλαμβάνει κόμβους και συνδέσμους, καθώς και τις μεταξύ τους συσχετίσεις (Rodrigue, 2009). Το λογικό μοντέλο, που προκύπτει από το μοντέλο της βασικής αναπαράστασης, περιλαμβάνει μόνο δύο πίνακες :

- Ο **πίνακας κόμβων** (node table) περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τρία πεδία : ένα γνώρισμα - κλειδί και δύο πεδία για τις συντεταγμένες x και y αντίστοιχα. Οι συντεταγμένες μπορούν να αναφέρονται σε οποιοδήποτε καρτεσιανό σύστημα αναφοράς. Επιπλέον μπορεί να περιλαμβάνει και πεδία με περιγραφικές πληροφορίες για κάθε κόμβο.

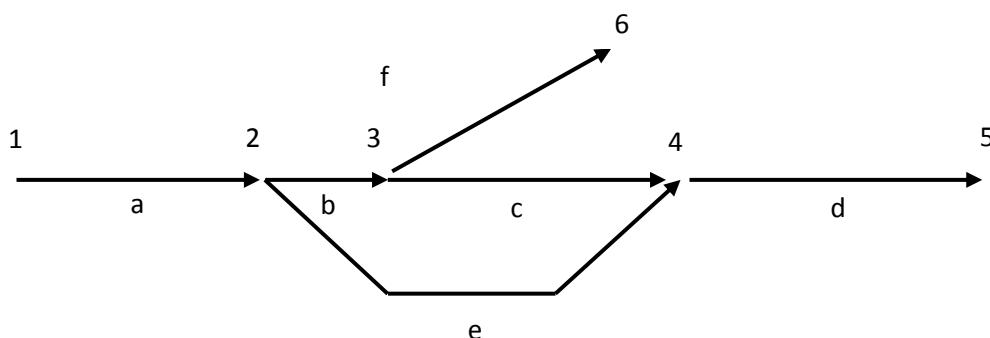
- Ο **πίνακας συνδέσμων** (link table) περιλαμβάνει επίσης τρία πεδία τουλάχιστον : ένα γνώρισμα - κλειδί, ένα πεδίο που περιλαμβάνει τον κόμβο αρχής και ένα ακόμη που περιλαμβάνει τον κόμβο τέλους. Ένα τέταρτο πεδίο είναι δυνατόν να περιλαμβάνει την πληροφορίες για την κατεύθυνση του συνδέσμου. Επιπλέον πεδία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις περιγραφικές πληροφορίες κάθε συνδέσμου (π.χ. το βάρος).

Όταν οι παραπάνω δύο πίνακες του μοντέλου της βασικής αναπαράστασης έχουν οριστεί, είναι δυνατός πλέον ο ορισμός της τοπολογίας του δικτύου και ο υπολογισμός των μέτρων και των δεικτών των γράφων. Ωστόσο, για να είναι δυνατή

η χρήση του μοντέλου αυτού σε εφαρμογές χαρτογραφίας, γεωκωδικοποίησης ή δρομολόγησης απαιτούνται αρκετές βελτιώσεις.

Στο **γεω-σχεσιακό μοντέλο** (georelational model) δικτύων, η χωρικές και οι περιγραφικές πληροφορίες για το δίκτυο διαχωρίζονται σε δύο διαφορετικά μοντέλα δεδομένων. Ένα λογικό μοντέλο χωρικών δεδομένων (διανυσματικό μοντέλο) κωδικοποιεί τους κόμβους και τους συνδέσμους, διατηρώντας την γεωμετρική και τοπολογική πληροφορία, ενώ η περιγραφική πληροφορία διατηρείται σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων. Γνωρίσματα – κλειδιά χρησιμοποιούνται για την συσχέτιση των χωρικών οντοτήτων (κόμβοι, σύνδεσμοι) με τις εγγραφές της σχεσιακής βάσης δεδομένων (Longley et al., 2001).

Στο Σχήμα 2.3 απεικονίζεται ένα απλό δίκτυο και η αντίστοιχη σχεσιακή βάση με τις περιγραφικές πληροφορίες για αυτό.



ID_Συνδ.	Όνομα Οδού	Αρ. Λωρίδων	Άλλες Ιδιότητες
A	Λεωφόρος Α	2	
B	Λεωφόρος Α	4	
C	Λεωφόρος Α	4	
D	Λεωφόρος Α	2	
E	Ποταμός	2	
F	Οδός Λόφων	2	

Πίνακας Περιγραφικών Πληροφοριών Συνδέσμων

ID_Κόμβου	Σηματοδότηση	Άλλες Ιδιότητες
1	O	
2	N	
3	O	
4	N	
5	O	
6	O	

Πίνακας Περιγραφικών Πληροφοριών Κόμβων

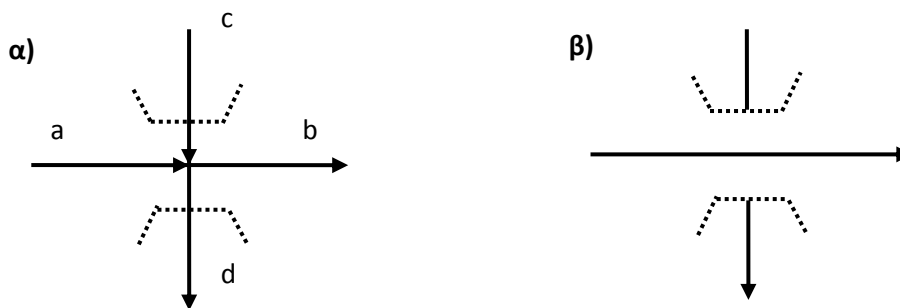
Σχήμα 2.3 : Παράδειγμα Γεω-σχεσιακού Μοντέλου Δεδομένων Δικτύων

ΠΗΓΗ : Goodchild, 1998

Στα περισσότερα ΓΣΠ-Μ, τα χρησιμοποιούμενα μοντέλα ταξινομούν τα δεδομένα σε επίπεδα, το καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει και μια διαφορετική κατηγορία γεωγραφικών οντοτήτων. Για τον λόγο αυτό οι κόμβοι και οι σύνδεσμοι των δικτύων χωρίζονται σε δύο διαφορετικά επίπεδα. Έτσι γίνεται λόγος για την **βασισμένη σε επίπεδα προσέγγιση** (layer-based approach)-(Rodrigue, 2009).

Επιπλέον, στα ΓΣΠ-Μ, οι απαιτήσεις για ακρίβεια θέσης και ορθή οπτικοποίηση, οδήγησαν στην **κατάτμηση κάθε συνδέσμου** των δικτύων σε ένα πλήθος τμημάτων, που αποδίδουν ορθότερα την γεωμετρία του στοιχείου της υποδομής μεταφορών που αναπαριστούν. Οι κόμβοι ανάμεσα στα τμήματα που αποτελούν ένα σύνδεσμο δεν αποτελούν και κόμβους του δικτύου που αναπαριστάται.

Η ύπαρξη στα διάφορα συστήματα μεταφορών (οδικά, σιδηροδρομικά) ανισόπεδων κόμβων, με άνω και κάτω διαβάσεις που δεν διασταυρώνονται, οδήγησε στην δημιουργία μοντέλων **μη επίπεδων δικτύων**. Στα μοντέλα αυτά, είναι δυνατή η διασταύρωση συνδέσμων, χωρίς να δημιουργείται κόμβος στο σημείο της διασταύρωσης.



Από_Συνδ	Προς_Συνδ.	Στροφή
a	c	O
a	b	N
a	d	O
b	a	N
b	c	O
b	d	O
c	a	O
c	b	O
c	d	N
d	a	O
d	b	O
d	c	N

Πίνακας Στροφών

Σχήμα 2.4 : Μοντέλο Ανισόπεδου Κόμβου α) Με Επίπεδο Δίκτυο και Πίνακα Στροφών β) με Μη Επίπεδο Δίκτυο

ΠΗΓΗ : Goodchild, 1998

Οι απαγορεύσεις στροφών ή η αδυναμία εκτέλεσης στρεφουσών κινήσεων από κατηγορίες οχημάτων (π.χ. φορτηγά) δημιούργησαν την ανάγκη για ενσωμάτωση στα μοντέλα δεδομένων δικτύων, πληροφοριών για την δυνατότητα σύνδεσης ενός συνδέσμου με έναν άλλον. Για τον λόγο στα μοντέλα δεδομένων δικτύων προστέθηκε ακόμη η έννοια των στρεφουσών κινήσεων και ο αντίστοιχος **πίνακας στροφών** (turn table). Οι στρέφουσες κινήσεις είναι δυνατόν να διαθέτουν και ιδιότητες, όπως καθυστερήσεις.

Τέλος, τα **αντικειμενοστραφή μοντέλα** (object-oriented models) αποτελούν την τελευταία εξέλιξη στα μοντέλα χωρικών δεδομένων. Στην προσέγγιση αυτή κάθε γεωγραφική οντότητα αναπαριστάται με ένα αντικείμενο, το οποίο διαθέτει ένα σύνολο ιδιοτήτων και ένα σύνολο συσχετίσεων με άλλα αντικείμενα.

Αντίστοιχα, στο αντικειμενοστραφές μοντέλο δεδομένων δικτύων (object-oriented network data model), τα δίκτυα αναπαριστώνται με αντικείμενα και συγκεκριμένα κόμβους και συνδέσμους. Η τοπολογία, που αποτελεί βασική αρχή στα μοντέλα δεδομένων δικτύων, ενσωματώνεται στις συσχετίσεις μεταξύ των αντικειμένων. Τα βασικά στοιχεία των αντικειμενοστραφών μοντέλων δεδομένων δικτύων είναι οι τάξεις (classes), που κατηγοριοποιούν τα αντικείμενα, οι ιδιότητες (properties), που αποτελούν μετρήσιμα χαρακτηριστικά κάθε τάξης και οι συσχετίσεις (relationships), που περιγράφουν λογικές σχέσεις ανάμεσα στα αντικείμενα.

Τα αντικειμενοστραφή μοντέλα δικτύων, εξαιτίας της δομής τους και της ενσωματωμένης τοπολογίας, είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά στην επίλυση προβλημάτων της ανάλυσης δικτύου. Ωστόσο βρίσκονται ακόμη σε φάση σχεδιασμού και τα περισσότερα ΓΣΠ-Μ ακολουθούν σήμερα την βασισμένη σε επίπεδα προσέγγιση.

2.4.3 Τα βασικά προβλήματα της Ανάλυσης Δικτύων

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, στην Ανάλυση Δικτύων, με βάση την θεωρία των γράφων και με την βοήθεια την κωδικοποίησης των δικτύων, που προσφέρουν τα μοντέλα δεδομένων δικτύων, γίνεται χρήση συγκεκριμένων αλγορίθμων και επιλύεται μία σειρά από προβλήματα που συναντώνται ευρύτατα στον τομέα των μεταφορών. Στα ακόλουθα περιγράφονται ορισμένα από τα πιο βασικά αυτά προβλήματα.

α) Η επιλογή διαδρομής (route selection – routing)

Η επιλογή της σύνδεσης μιας θέσης με μια άλλη και πιο συγκεκριμένα η **επιλογή της διαδρομής** (route selection) από την μία θέση στην άλλη, αποτελεί μέρος του γενικότερου προβλήματος της επιλογής διαδρομής, που προσαρμόζεται σε συγκεκριμένους περιορισμούς. Παρά το γεγονός ότι η επιλογή διαδρομής διαφέρει ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο μεταφορικό μέσο, οι γενικές αρχές παραμένουν ίδιες. Στην πιο απλή της μορφή, η επιλογή της διαδρομής R πρέπει να ακολουθεί δύο γενικούς περιορισμούς (Rodrigue, 2009) :

$$R = f(\min C : \max E)$$

Στην διαδικασία της επιλογής διαδρομής τίθεται ο στόχος της εύρεσης εκείνης της διαδρομής, η οποία ελαχιστοποιεί τα κόστη (C) και μεγιστοποιεί την αποδοτικότητα (E). Στην παραπάνω εξίσωση υπάρχουν δύο βασικές διαστάσεις :

- **Ελαχιστοποίηση του κόστους (C).** Μια καλή επιλογή διαδρομής ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος του μεταφορικού συστήματος. Η ελαχιστοποίηση περιλαμβάνει τόσο τα κόστη κατασκευής, όσο και τα κόστη λειτουργίας. Η πιο ευθύγραμμη οδός δεν είναι υποχρεωτικά και η λιγότερο δαπανηρή, ιδιαίτερα εάν ληφθεί υπόψη και το ανάγλυφο του εδάφους. Συνήθως, όμως, μια ευθύγραμμη διαδρομή είναι πολύ πιθανό να επιλεγεί. Η ελαχιστοποίηση του κόστους, τέλος, μπορεί να περιλαμβάνει και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- **Μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας (E).** Μια διαδρομή θα πρέπει να υποστηρίζει τις οικονομικές δραστηριότητες, παρέχοντας ένα επίπεδο προσβασιμότητας που ικανοποιεί τις ανάγκες της περιφερειακής ανάπτυξης. Ακόμη και μια διαδρομή που παρουσιάζει μεγαλύτερο μήκος από άλλες, γεγονός που συνεπάγεται και μεγαλύτερο κόστος κατασκευής και λειτουργίας, είναι δυνατόν να παρέχει πολύ σημαντικές υπηρεσίες σε μια περιοχή. Στην περίπτωση αυτή, η αποδοτικότητα της οδού υπερσχύει σε σχέση με το κόστος της.

Το **πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή** (travelling salesman problem) είναι ένα επίσης κλασσικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει η ανάλυση δικτύων, εύκολο στην διατύπωσή του και ιδιαίτερος δύσκολο στην επίλυσή του. Συνίσταται στη επιλογή της διαδρομής με το ελάχιστο κόστος η οποία συνδέει ένα σύνολο κόμβων, ώστε σε κάθε κόμβο να γίνεται ακριβώς μία επίσκεψη. Η διαδρομή αρχίζει και τελειώνει σε συγκεκριμένες θέσεις που καλούνται τερματικοί σταθμοί (Fisher, 1995).

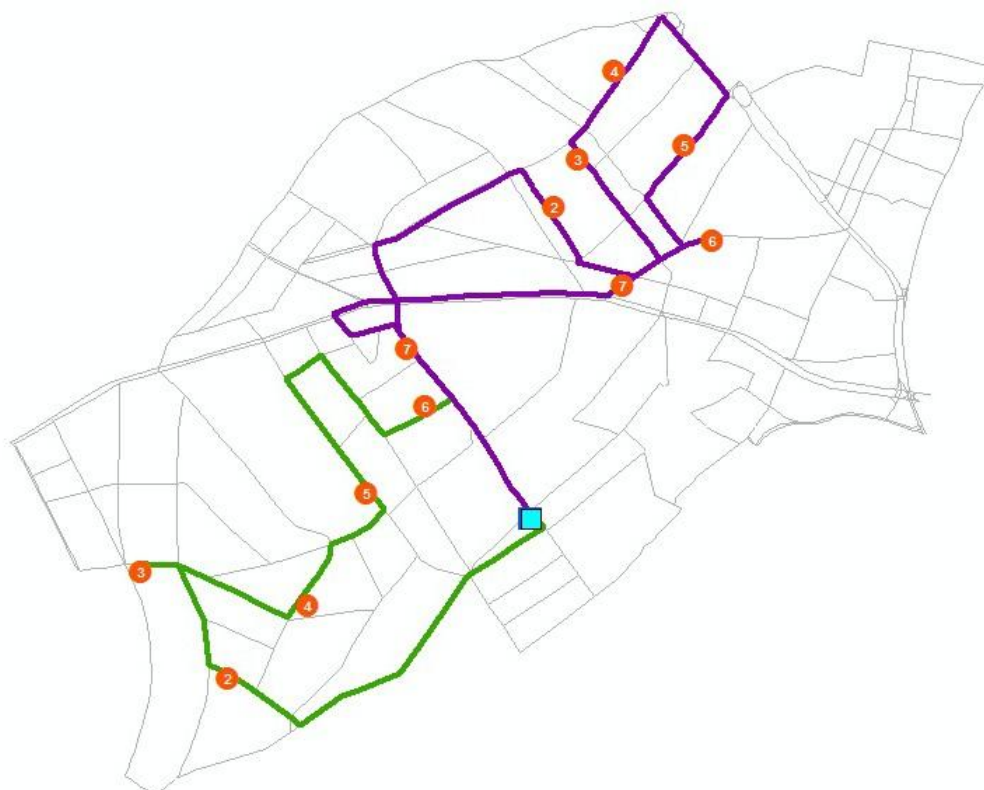
Στο **πρόβλημα της επιθεώρησης του οδικού δικτύου** (route inspection problem), ή αλλιώς **πρόβλημα του κινέζου ταχυδρόμου** (Chinese postman problem), το ζητούμενο είναι η εύρεση της συντομότερης διαδρομής για την επίσκεψη του συνόλου (ή τμήματος) των συνδέσμων ενός δικτύου, ώστε σε κάθε σύνδεσμο να γίνει τουλάχιστον μία επίσκεψη. Η διαδρομή είναι δυνατόν να αρχίζει και να τελειώνει στο ίδιο σημείο, δημιουργώντας ένα κύκλωμα.

β) Η δρομολόγηση οχημάτων (vehicle routing problem)

Το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή είναι δυνατόν να γενικευτεί με διάφορους τρόπους, ώστε να ανταποκρίνεται καλύτερα σε πραγματικά προβλήματα. Συχνά η γενίκευση συνίσταται στην ύπαρξη περισσότερων του ενός οχημάτων. Στις περιπτώσεις αυτές η διαίρεση των στάσεων σε ομάδες που θα εξυπηρετηθούν από κάθε όχημα αποτελεί μια απ' τις σημαντικότερες παραμέτρους (Longley et al., 2001).

Μία από τις γενικεύσεις του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή οδηγεί και στο πρόβλημα που είναι γνωστό ως **πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων** (vehicle routing problem). Σε αυτό, ένας προκαθορισμένος αριθμός οχημάτων πρέπει να δρομολογηθεί για να εξυπηρετήσει έναν αριθμό σημείων ζήτησης, με τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος μεταφοράς και να μην παραβιαστεί η χωρητικότητα των οχημάτων. Τα οχήματα ξεκινούν και τελειώνουν το δρομολόγιο τους σε συγκεκριμένη θέση που καλείται τερματικός σταθμός.

Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επίλυσης του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων, με 2 οχήματα, 12 σημεία ζήτησης και 1 τερματικό σταθμό.



Σχήμα 2.6 : Παράδειγμα Προβλήματος Δρομολόγησης Οχημάτων

ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

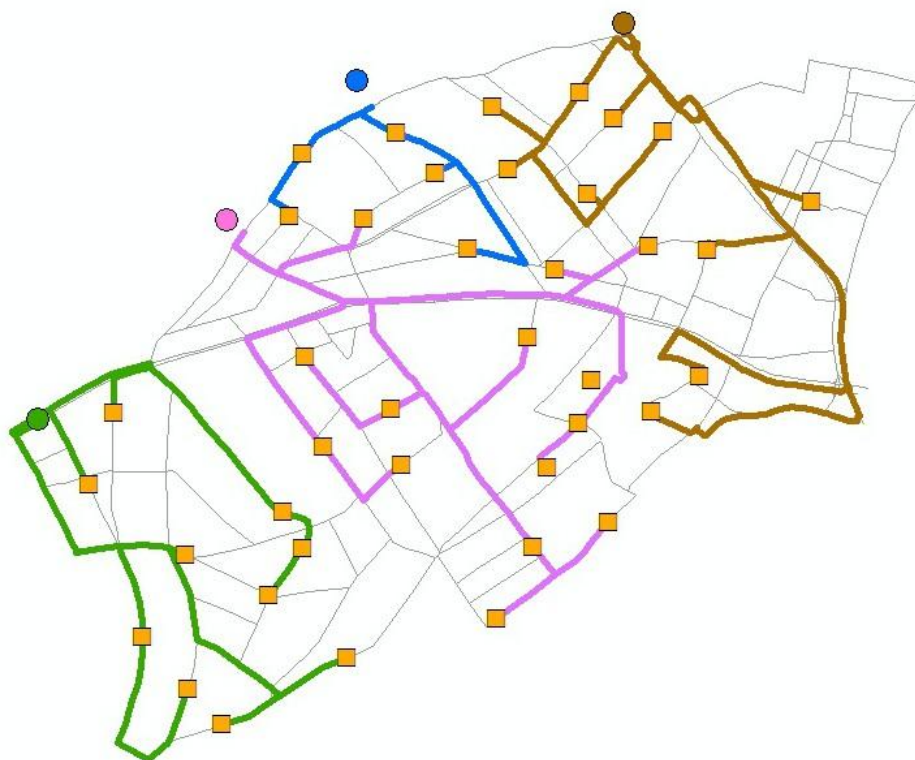
Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων. Συχνά στο πρόβλημα προστίθενται χρονικοί περιορισμοί στη εξυπηρέτηση κάθε σημείου, η μορφή της ζήτησης γίνεται στοχαστική ή εισάγονται πολλοί τερματικοί σταθμοί με κάθε όχημα να εξυπηρετεί έναν συγκεκριμένο. Το πρόβλημα και οι παραλλαγές του παρουσιάζουν αξιοσημείωτο πρακτικό ενδιαφέρον και για τον λόγο αυτό έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός ευριστικών αλγορίθμων που το επιλύουν, κατά τα τελευταία 35 χρόνια (Bodin et. Al, 1983, Golden και Assad, 1986, Fischer, 1995).

γ) Η επιλογή του πλησιέστερου σημείου εξυπηρέτησης (closest facility problem)

Ως γενίκευση του προβλήματος της εύρεσης της συντομότερης διαδρομής ανάμεσα σε δύο θέσεις, μπορεί να θεωρηθεί και το **πρόβλημα επιλογής του πλησιέστερου σημείου εξυπηρέτησης** (closest facility problem). Στην περίπτωση αυτή, είναι γνωστό το ένα άκρο της διαδρομής, αλλά για το δεύτερο υπάρχει μια σειρά από υποψήφιες θέσεις, από τις οποίες επιλέγεται η πλησιέστερη.

Στην πλήρη μορφή του προβλήματος, υπάρχουν μια ομάδα από θέσεις που καλούνται περιστατικά ή συμβάντα και μια σειρά από θέσεις που καλούνται σημεία εξυπηρέτησης. Η λύση του προβλήματος είναι η επιλογή του πλησιέστερου (με το ελάχιστο κόστος διαδρομής) σημείου εξυπηρέτησης για κάθε περιστατικό. Εκτός από το πλησιέστερο σημείο εξυπηρέτησης προκύπτει και η αντίστοιχη διαδρομή ελαχίστου κόστους από το περιστατικό προς το σημείο εξυπηρέτησης ή αντίστροφα.

Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επιλογής των πλησιέστερων σημείων εξυπηρέτησης, με 4 σημεία εξυπηρέτησης, και 39 περιστατικά.



Σχήμα 2.7 : Παράδειγμα Επιλογής Πλησιέστερων Σημείων Εξυπηρέτησης

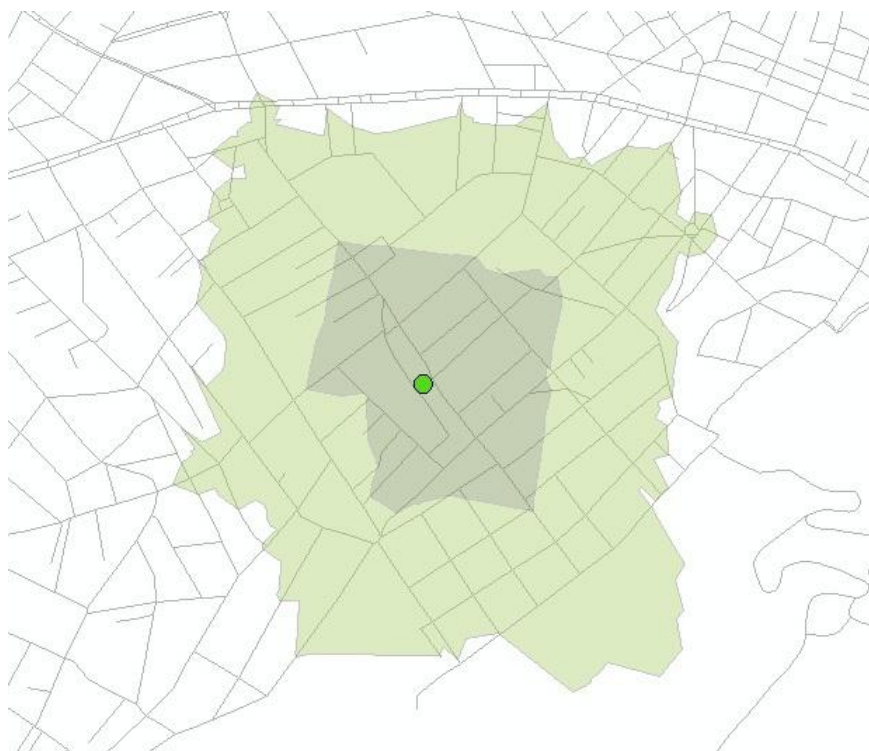
ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

δ) Ο προσδιορισμός της περιοχής εξυπηρέτησης (service area problem)

Σε ορισμένες περιπτώσεις αναλύσεων, είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε τα τμήματα ενός του δικτύου που είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν από ένα κέντρο, με ένα όριο μέγιστου κόστους διαδρομής. Πρόκειται για το **πρόβλημα προσδιορισμού της περιοχής εξυπηρέτησης (service area problem)**, με το οποίο δημιουργείται μια ζώνη γύρω από το κέντρο που καλείται και σημείο εξυπηρέτησης, με τρόπο ώστε για όλα τα τμήματα του δικτύου εντός της ζώνης το κόστος διαδρομής προς το σημείο εξυπηρέτησης να είναι μικρότερο του μέγιστου.

Στην πλήρη μορφή του προβλήματος, μπορούν να υπάρχουν περισσότερα του ενός σημεία εξυπηρέτησης, τα οποία να λειτουργούν συμπληρωματικά ή ανταγωνιστικά.

Στο Σχήμα 2.8 απεικονίζεται ένα παράδειγμα προσδιορισμού περιοχής εξυπηρέτησης για ένα κέντρο, με μέγιστο κόστος διαδρομής τα 5 και τα 10 λεπτά περπάτημα.



Σχήμα 2.8 : Παράδειγμα Υπολογισμού Περιοχής Εξυπηρέτησης (Δίκτυο Πεζών)

ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

2.4.4 Σύνθετα προβλήματα της Ανάλυσης Δικτύων

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στα βασικά προβλήματα της Ανάλυσης Δικτύων είναι δυνατόν να συνδυαστούν και με τις τεχνικές και μεθόδους της χωρικής ανάλυσης γενικότερα, των μοντέλων αστικής εξέλιξης, του σχεδιασμού μεταφορών και της κυκλοφοριακής τεχνικής, ώστε να είναι δυνατή η επίλυση ακόμη πιο σύνθετων προβλημάτων. Στα ακόλουθα γίνεται αναφορά σε ορισμένα από τα σύνθετα αυτά προβλήματα.

α) Τα προβλήματα χωροθέτησης κατανομής (location – allocation problems)

Τα **προβλήματα χωροθέτησης κατανομής** (location – allocation problems), παρουσιάζουν αρκετές διαφοροποιήσεις και παραλλαγές. Στην γενική μορφή του προβλήματος το ζητούμενο είναι, με δεδομένο ένα χωρικό σύστημα ζήτησης, να χωροθετηθούν κέντρα παροχής υπηρεσιών (σημεία εξυπηρέτησης) και να περιφερειοποιηθεί ο χώρος ως προς αυτά τα κέντρα, κατά τον «καλύτερο δυνατό τρόπο» (Κουτσόπουλος, 2002). Ο παραπάνω στόχος επιτυγχάνεται μέσω της βελτιστοποίησης κάποιας αντικειμενικής συνάρτησης, όπου μεγιστοποιείται το όφελος ή ελαχιστοποιείται η απώλεια από τη χρησιμοποίηση των εν λόγω κέντρων εξυπηρέτησης.

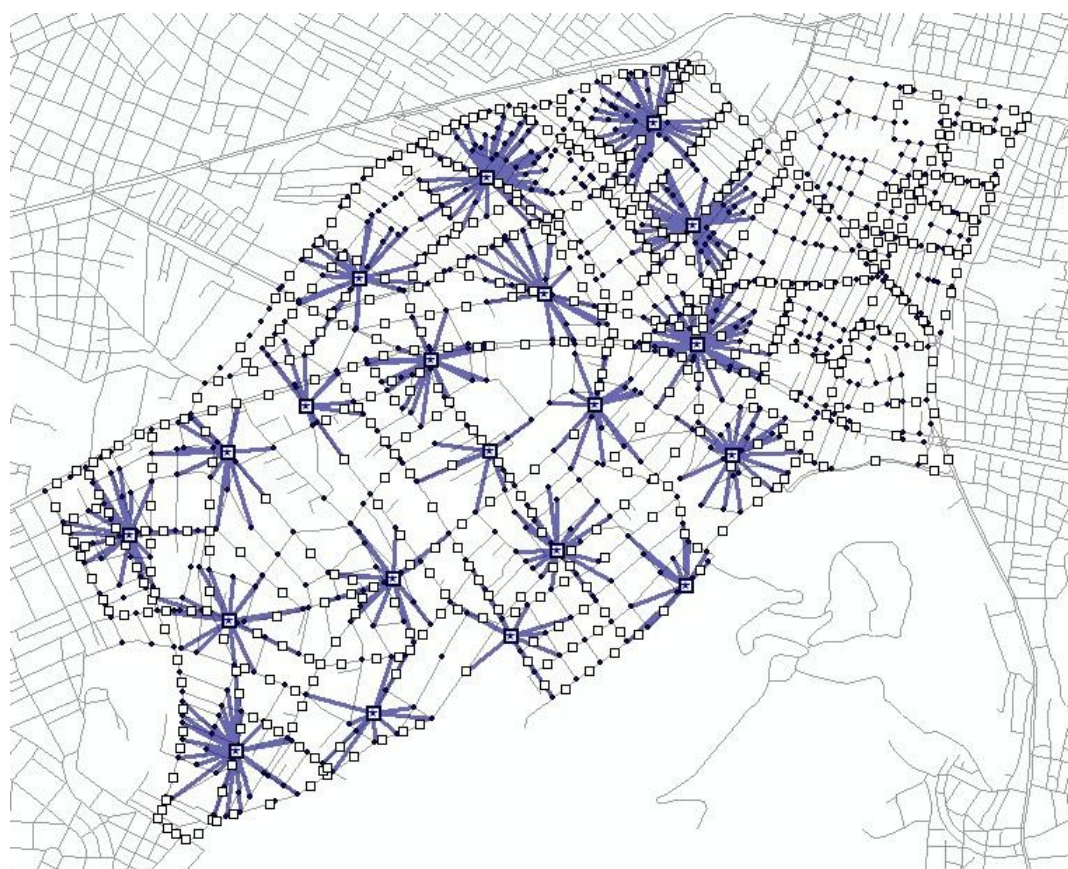
Στην γενική μορφή, εισάγονται περιορισμοί που αφορούν στη ζήτηση ή την εξυπηρέτηση και τη διατύπωση εναλλακτικών αντικειμενικών συναρτήσεων και υποθέσεων και έτσι προκύπτει η ποικιλία των χωροθετικών προβλημάτων (Φώτης, 2010). Μερικά από τα πιο γνωστά προβλήματα χωροθέτησης κατανομής, με ευρεία πρακτική εφαρμογή περιγράφονται στα ακόλουθα :

- Στο **πρόβλημα p-διάμεσος** (p-median), ζητείται η χωροθέτηση p σημείων εξυπηρέτησης, ώστε να ελαχιστοποιείται η συνολικά διανυόμενη (ή μέση) απόσταση των σημείων ζήτησης προς αυτά.
- Στο **πρόβλημα p-κέντρο** (p-center), η χωροθέτηση των p σημείων εξυπηρέτησης θα πρέπει να ελαχιστοποιεί ή να μεγιστοποιεί την απόσταση που διανύει το περισσότερο απομακρυσμένο σημείο ζήτησης προς το πλησιέστερο από σημείο εξυπηρέτησης.
- Στο **πρόβλημα του συνόλου της κάλυψης** (set covering), θα πρέπει να χωροθετηθεί ο ελάχιστος αριθμός σημείων εξυπηρέτησης ώστε το κάθε σημείο ζήτησης να απέχει λιγότερο από μια δεδομένη κρίσιμη απόσταση από το πλησιέστερο κέντρο.

- Στο **πρόβλημα της μέγιστης κάλυψης** (maximum covering), ζητείται η χωροθέτηση p σημείων εξυπηρέτησης με στόχο την μεγιστοποίηση του ποσοστού της ζήτησης που μπορεί να ικανοποιηθεί, στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου σταθερότυπου λειτουργίας (π.χ. η ζήτηση να βρίσκεται εντός κρίσιμης απόστασης από την εξυπηρέτηση).

Με τον συνδυασμό των μοντέλων δεδομένων δικτύων και των τεχνικών της Ανάλυσης Δικτύων, τα προβλήματα χωροθέτησης κατανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων χωροθέτησης υπηρεσιών ή καταστημάτων, με μεγάλη λεπτομέρεια. Οι μεταβλητές των αποστάσεων υπολογίζονται επί δικτύων που προσομοιώνουν τα πραγματικά δίκτυα μεταφορών και λαμβάνονται υπόψη και οι κατευθύνσεις των οδών, οι επιτρεπόμενες στροφές, η κυκλοφοριακή φόρτιση κάθε στοιχείου του δικτύου κ.α.

Στο Σχήμα 2.9 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ανάλυσης χωροθέτησης κατανομής, για το πρόβλημα της μέγιστης κάλυψης, με 20 σημεία εξυπηρέτησης που επιλέγονται από 595 υποψήφια σημεία, για την εξυπηρέτηση 845 σημείων ζήτησης.



Σχήμα 2.9 : Παράδειγμα Χωροθέτησης Κατανομής (Μέγιστη Κάλυψη)

ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

β) Τα προβλήματα χωρικής αλληλεπίδρασης (spatial interaction problems)

Η **χωρική αλληλεπίδραση** (spatial interaction) ανάμεσα σε γεωγραφικές περιοχές και ζώνες, οδηγεί στην δημιουργία ροών ανάμεσα στις περιοχές. Οι ροές αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως στον σχεδιασμό μεταφορών και την μελέτη των αλληλεπιδράσεων συγκοινωνιακών και μεταφορικών συστημάτων με τις χρήσεις γης και την ανάπτυξη γενικότερα.

Τα αντίστοιχα μοντέλα χωρικών αλληλεπιδράσεων (spatial interaction models), όπως τα μοντέλα βαρύτητας, συνδυάζονται επίσης με τα μοντέλα και τις τεχνικές της Ανάλυσης Δικτύου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη λεπτομέρεια στα αποτελέσματα των μοντέλων και καλύτερη προσομοίωση των πραγματικών φαινομένων.

γ) Τα προβλήματα καταμερισμού κυκλοφορίας στο δίκτυο (traffic assignment)

Το **πρόβλημα καταμερισμού κυκλοφορίας στο δίκτυο** (traffic assignment problems) αφορά στην κατανομή της κυκλοφορίας σε ένα δίκτυο, βάσει της ζήτησης για μετακινήσεις ανάμεσα στις διάφορες θέσεις και της προσφοράς, που παρέχουν τα διάφορα μεταφορικά συστήματα (Rodrigue, 2009). Οι τεχνικές και οι μέθοδοι καταμερισμού κυκλοφορίας στο δίκτυο αναζητούν ένα τρόπο να προσομοιωθεί η κατανομή της κυκλοφορίας, σύμφωνα με ένα σύνολο περιορισμών, που σχετίζονται με την χωρητικότητα – μεταφορική ικανότητα του δικτύου, τον χρόνο και το κόστος.

Για την κατανομή της κυκλοφορίας σε ένα δίκτυο, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, οι οποίες επιλέγονται ανάλογα με το πρόβλημα, το σύστημα μεταφορών και την κλίμακα του δικτύου (αστικό, υπεραστικό, εθνικό, διεθνές). Οι πιο γνωστές από αυτές περιγράφονται στη συνέχεια (Abraham, 2001) :

- Στην **μέθοδο της συντομότερης διαδρομής** (shortest path method), που είναι γνωστή και ως all or nothing, γίνεται η υπόθεση ότι οι οδηγοί, για να μετακινηθούν μεταξύ δύο θέσεων, ακολουθούν την διαδρομή με το ελάχιστο κόστος. Στην μέθοδο αυτή, όλοι οι οδηγοί χρησιμοποιούν την συντομότερη διαδρομή, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη την κυκλοφορική συμφόρηση που πιθανόν να εμφανιστεί.
- Στην **μέθοδο της ελάχιστης διαδρομής με περιορισμό χωρητικότητας** (minimum path with capacity restraint), ορίζονται σχέσεις ανάμεσα στην φόρτιση όλων των τύπων οδών και την αντίστοιχη ταχύτητα κυκλοφορίας. Τα οχήματα καταμερίζονται στο δίκτυο σύμφωνα με το κόστος των αντίστοιχων διαδρομών και τελικά επιτυγχάνεται μια ισορροπία ανάμεσα στον φόρτο, την χωρητικότητα και την ταχύτητα των στοιχείων της υποδομής.

- Στην **μέθοδο της ισορροπίας των χρηστών** (user equilibrium method), γίνεται η υπόθεση ότι ο κάθε οδηγός επιλέγει την διαδρομή που ελαχιστοποιεί τον χρόνο μετακίνησής του. Η ισορροπία επιτυγχάνεται όταν κάθε οδηγός χρησιμοποιεί την καλύτερη δυνατή διαδρομή, δεδομένων των κυκλοφοριακών συνθηκών. Πρόκειται για ισορροπία, καθώς δεν υπάρχουν διαδρομές που αν επιλεγούν να βελτιώνουν τον χρόνο κάποιου χρήστη και επομένως κανένας χρήστης δεν προτίθεται να αλλάξει διαδρομή.

Οι τεχνικές και οι αρχές της Ανάλυσης Δικτύων και των μοντέλων δεδομένων δικτύων, λειτουργούν υποστηρικτικά σε όλα τα προβλήματα καταμερισμού κυκλοφορίας στο δίκτυο και στους αντίστοιχους ευριστικούς κυρίως αλγορίθμους επίλυσής τους.

2.5 Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για τις Μεταφορές (ΓΣΠ-Μ)

Ανάμεσα στο ευρύ πεδίο εφαρμογών των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών - ΓΣΠ, ο Σχεδιασμός Μεταφορών έχει δεχτεί μεγάλο ενδιαφέρον. Σήμερα, έχει πλέον αναπτυχθεί ένας ιδιαίτερος κλάδος των ΓΣΠ, ο οποίος βρίσκει εφαρμογή στα προβλήματα μεταφορών και ο οποίος καλείται, σύμφωνα με την Αμερικάνικη Ένωση Εθνικών Οδών και Μεταφορών (AASHTO), με τον όρο Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για της Μεταφορές - ΓΣΠ-Μ (Geographic Information Systems for Transportation - GIS-T).

Κατά τους Miller και Shaw (2001), ο όρος **Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για τις Μεταφορές ΓΣΠ-Μ** αναφέρεται στις αρχές και τις εφαρμογές, με τις οποίες οι τεχνολογίες της γεωγραφικής πληροφορίας αξιοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων του τομέα των μεταφορών.

Η έρευνα στον τομέα των ΓΣΠ για τις Μεταφορές αναπτύσσεται προς δύο διαφορετικές αλλά αλληλοσυνδεόμενες **κατευθύνσεις**. Η πρώτη κατεύθυνση αφορά στην γενική ανάπτυξη και βελτίωση των ΓΣΠ, ώστε να ικανοποιούν τις ανάγκες των εφαρμογών του τομέα των μεταφορών. Η δεύτερη κατεύθυνση αναζητά τους τρόπους με τους οποίους οι υπάρχουσες σήμερα εφαρμογές ΓΣΠ είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν ώστε να διευκολύνουν και να βελτιώσουν τις μελέτες μεταφορών (Shaw, 2002).

Τα κυριότερα **αντικείμενα της έρευνας** στον τομέα των ΓΣΠ-Μ μπορούν, κατά τους Shaw και Rodrigue (2009), να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες :

- **Αναπαράσταση των Δεδομένων** : Η σχετική έρευνα αναζητά μοντέλα με τα οποία τα διάφορα τμήματα των συστημάτων μεταφορών μπορούν να αναπαρασταθούν στα ΓΣΠ.
- **Μέθοδοι και Τεχνικές Ανάλυσης** : Στην περίπτωση αυτή ερευνώνται οι τρόποι με τους οποίους οι μεθοδολογίες στις μεταφορές μπορούν να υλοποιηθούν εντός των ΓΣΠ.
- **Εφαρμογές** : Στην κατηγορία αυτή αναζητούνται οι εφαρμογές που είναι κατάλληλες για τα ΓΣΠ-Μ.

2.5.1 Η Αναπαράσταση των Δεδομένων στα ΓΣΠ-Μ

Για να χρησιμοποιηθεί ένα ΓΣΠ στην επίλυση πραγματικών προβλημάτων, είναι απαραίτητο να αναπαρασταθούν τα δεδομένα του σε ένα ψηφιακό υπολογιστικό περιβάλλον. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των ΓΣΠ είναι η δυνατότητά τους να ενσωματώνουν χωρική και περιγραφική πληροφορία, με στόχο να ικανοποιούν τις ανάγκες της χωρικής και μη ανάλυσης και της απεικόνισης δεδομένων και αποτελεσμάτων.

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα δεδομένων, για την χρήση τους στα ΓΣΠ. Οι δύο βασικές προσεγγίσεις αναπαράστασης των γεωγραφικών δεδομένων είναι το διανυσματικό μοντέλο (vector) ή μοντέλο αντικειμένων (object-based) και το ψηφιδωτό μοντέλο (raster) ή μοντέλο πεδίων (field-based).

Στο **διανυσματικό μοντέλο** (ή μοντέλο αντικειμένων) (vector model, object-based model) γίνεται η θεώρηση ότι ο γεωγραφικός χώρος καταλαμβάνεται από διακριτά και αναγνωρίσιμα αντικείμενα. Οι διάφορες οντότητες συχνά αναπαριστώνται ως σημεία, γραμμές και πολύγωνα.

Στο **ψηφιδωτό μοντέλο** (ή μοντέλο πεδίων) (raster model, field-based model) ο γεωγραφικός χώρος θεωρείται ότι καταλαμβάνεται από χαρακτηριστικά του πραγματικού κόσμου, τα οποία μεταβάλλονται συνεχώς από θέση σε θέση. Ο χώρος συχνά αναπαριστάται με κανονικές ψηφίδες (π.χ. τετραγωνικός κάρναβος) ή μη κανονικές ψηφίδες (π.χ. δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων).

Στις μελέτες μεταφορών έχουν χρησιμοποιηθεί τόσο το διανυσματικό, όσο και το ψηφιδωτό μοντέλο. Ορισμένα προβλήματα μεταφορών είναι ευκολότερο να επιλυθούν με την χρήση του πρώτου μοντέλου και ορισμένα με την χρήση του δεύτερου. Για παράδειγμα, στην ανάλυση δικτύων, που στηρίζεται στην θεωρία των γράφων (graphs), τα δίκτυα αναπαριστώνται ως σύνολα κόμβων (nodes) και συνδέσμων (links). Στην περίπτωση λοιπόν αυτή, το διανυσματικό μοντέλο αποτελεί την καλύτερη εναλλακτική για αντίστοιχες εφαρμογές.

Ορισμένα δεδομένα μεταφορών απαιτούν ακόμη επεκτάσεις στα γενικά μοντέλα ΓΣΠ. Για παράδειγμα, ο χειρισμός δεδομένων με γραμμική αναφορά, όπως οι χιλιομετρικές θέσεις των ατυχημάτων, δεν είναι εύκολος και αποδοτικός σε δισδιάστατο σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων. Για την αντιμετώπιση της ανάγκης αυτής των ΓΣΠ-Μ, επινοήθηκε το μοντέλο της δυναμικής κατάτμησης (dynamic segmentation) δεδομένων. Ακόμη, τα δεδομένα Προέλευσης – Προορισμού, που συχνά χρησιμοποιούνται σε μελέτες μεταφορών, συνήθως

παρουσιάζονται σε μορφή πίνακα. Ωστόσο, το σχεσιακό μοντέλο, που χρησιμοποιείται ευρέως στα εμπορικά ΓΣΠ, δεν παρέχει επαρκή υποστήριξη για την διαχείριση τέτοιων δεδομένων. Για τον λόγο αυτό, αναπτύχθηκε λογισμικό ΓΣΠ-Μ με λειτουργίες και κατάλληλους τύπους αρχείων για δεδομένα σε πίνακες.

Τέλος, η ανάγκη για χρήση μονοδιάστατων, διδιάστατων, τρισδιάστατων και χρονικών δεδομένων για την υποστήριξη συγκεκριμένων εφαρμογών στον τομέα των μεταφορών, επίσης οδήγησε στην ανάπτυξη των γενικών μοντέλων. Από την παραπάνω ανάγκη, προέκυψε η επινόηση των πολυδιάστατων (multidimensional) μοντέλων ΓΣΠ, που αναπαριστούν συνήθως σε τρεις διαστάσεις τα διάφορα χωροχρονικά δεδομένα.

2.5.2 Οι Μέθοδοι και οι Τεχνικές Ανάλυσης στα ΓΣΠ-Μ

Οι καθιερωμένες λειτουργίες των ΓΣΠ, όπως η κατασκευή ερωτημάτων (queries), η γεωκωδικοποίηση (geocoding), η δημιουργία περιοχών επιρροής (buffering), η αλληλεπίθεση επιπέδων (overlay) κ.α. χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό από τις διάφορες εφαρμογές των ΓΣΠ-Μ. Ωστόσο, στον σχεδιασμό μεταφορών, όπως και στα περισσότερα επιστημονικά πεδία, έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερες μέθοδοι και τεχνικές ανάλυσης.

Οι κυριότερες μέθοδοι και τεχνικές ανάλυσης, που η εμφάνισή τους προέρχεται κυρίως από τον τομέα των μεταφορών, μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες **κατηγορίες** (Rodrigue, 2009):

- Η **ανάλυση δικτύων** (Network Analysis), γνωστή και ως θεωρία των γράφων, που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, χρησιμοποιείται για την μελέτη της μορφής και της δομής των δικτύων μεταφορών, ειδικά σε διάφορες χρονικές περιόδους. Στην κατηγορία αυτή, όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα, ταξινομούνται μέθοδοι και τεχνικές όπως η εύρεση της συντομότερης διαδρομής (shortest path), η επίλυση του προβλήματος του πλανόδιου πωλητή (traveling salesman problem), ή του προβλήματος δρομολόγησης οχήματος (vehicle routing problem). Γενικά πάντως, η ανάλυση δικτύων χρησιμοποιείται και σε συνδυασμό με τις περισσότερες από τις μεθόδους και τεχνικές στις μεταφορές.
- Η **ανάλυση αλληλεπιδράσεων χρήσεων γης και μεταφορών** (Land Use – Transport Interactions) χρησιμοποιείται από ερευνητές διαφόρων επιστημονικών πεδίων όπως τα συστήματα μεταφορών, η πολεοδομία και η γεωγραφία. Σήμερα, έχει αναπτυχθεί ένα σημαντικό πλήθος μοντέλων που παρουσιάζουν ολοένα αυξανόμενη πολυπλοκότητα.
- Η **τεσσάρων σταδίων διαδικασία πρόβλεψης της ζήτησης για αστικές μετακινήσεις** (Four-Stage Urban Transportation Modeling) περιλαμβάνει την γένεση μετακινήσεων, την κατανομή μετακινήσεων, τον καταμερισμό στα μέσα και τον καταμερισμό στο δίκτυο. Χρησιμοποιείται για την κατανόηση και την πρόβλεψη αστικών χωρικών προτύπων.
- Με τα **μοντέλα κυκλοφοριακής ροής** (Traffic Flow Models) είναι δυνατόν να μελετηθεί και να προβλεφθεί ή φόρτιση των οδικών ή άλλων δικτύων, κάτω από κανονικές ή ιδεατές συνθήκες. Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται για παράδειγμα τα μοντέλα του προβλήματος της ροής ελάχιστου κόστους (minimum cost flow problem), της μέγιστης ροής (maximum flow problem), ή της ροής ισορροπίας του δικτύου (network flow equilibrium model).

• Τα **μοντέλα χωροθέτησης - κατανομής** (Location – Allocation Models) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία περιφερειών, ή την χωροθέτηση εγκαταστάσεων. Σε αυτά περιλαμβάνονται για παράδειγμα τα μοντέλα του προβλήματος των π-κέντρων (p-center problem), των π-διαμέσων (p-median problem), του συνόλου της κάλυψης (set covering problem), της μέγιστης κάλυψης (maximum covering problem) κ.α.

Οι πιο απλές από τις μεθόδους και τεχνικές των παραπάνω κατηγοριών έχουν ήδη ενσωματωθεί στα γενικά εμπορικά ΓΣΠ.

2.5.3 Οι Εφαρμογές των ΓΣΠ-Μ

Τα ΓΣΠ-Μ αποτελούν σήμερα ένα από τα κυρίαρχα πεδία των ΓΣΠ, που βρίσκει εφαρμογή σε όλο το φάσμα των μεταφορών και της εφοδιαστικής αλυσίδας. Ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών ΓΣΠ-Μ χρησιμοποιείται ήδη από πλήθος φορέων μεταφορών και ιδιωτικών εταιριών.

Στα αντικείμενα των εφαρμογών ΓΣΠ-Μ περιλαμβάνονται, σήμερα, ο σχεδιασμός και η διαχείριση υποδομών μεταφορών, η αναλύσεις ασφάλειας των μεταφορών, οι αναλύσεις ζήτησης για μεταφορές, η διαχείριση της κυκλοφορίας, ο σχεδιασμός δημοσίων συγκοινωνιών, η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τα έξυπνα συστήματα μεταφορών (Intelligent Transportation Systems – ITS), η διαχείριση στόλου οχημάτων (fleet management), η χωροθέτηση υπηρεσιών (site selection) και η ανάλυση των περιοχών εξυπηρέτησης από αυτές (service area analysis), η διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας (supply chain management) κ.α..

Για καθεμία από τις παραπάνω εφαρμογές, οι απαιτήσεις για την αναπαράσταση και την ανάλυση των δεδομένων, που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα υποκεφάλαια, είναι και διαφορετικές. Η αναπαράσταση του οδικού δικτύου με τους άξονες των οδών μπορεί να είναι επαρκής για εφαρμογές σχεδιασμού μεταφορών ή δρομολόγησης οχημάτων, ωστόσο, για μια εφαρμογή διαχείρισης κυκλοφορίας συνήθως απαιτείται η λεπτομερής αναπαράσταση των λωρίδων κυκλοφορίας. Η μοντελοποίηση των στρεφουσών κινήσεων στους κόμβους, επίσης απαιτείται στις εφαρμογές διαχείρισης κυκλοφορίας, ενώ δεν είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της ζήτησης για μεταφορές σε επίπεδο περιφερειών.

Τα τελευταία χρόνια, με την ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, συνεχώς εμφανίζονται νέες εφαρμογές ΓΣΠ-Μ που βασίζονται στην χρήση του διαδικτύου (internet-based, web-based) καθώς και των ασύρματων δικτύων (wireless applications). Ακόμη, με την χρήση φορητών ή ενσωματωμένων στα οχήματα συσκευών, που χρησιμοποιούν το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού (Global Positioning System – GPS) και τις ασύρματες επικοινωνίες, οι διάφορες εφαρμογές ΓΣΠ-Μ προσφέρουν την δυνατότητα πλοήγησης και διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας με την χρήση κυκλοφοριακών δεδομένων πραγματικού χρόνου (real-time traffic information) καθώς και την δυνατότητα παροχής υπηρεσιών που βασίζονται στην θέση (Location-based Services - LBS) (Rodrigue, 2009).

Στο παρόν κεφάλαιο επιχειρήθηκε η παρουσίαση των σύγχρονων μεθόδων και τεχνικών σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, των βασικών αρχών και προβλημάτων της Ανάλυσης Δικτύων, καθώς και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για τις Μεταφορές (Γ.Σ.Π.-Μ.). Στο επόμενο κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία που προτείνεται στην εργασία, για τον ανασχεδιασμό των λεωφορειακών γραμμών εντός μιας αστικής περιοχής ή ζώνης, χρησιμοποιώντας δεδομένα που είναι συνήθως διαθέσιμα σήμερα. Η γνώση των μεθόδων και τεχνικών σχεδιασμού δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών είναι χρήσιμη για την σύγκριση της προτεινόμενης μεθοδολογίας με τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα. Οι αρχές και τα προβλήματα της Ανάλυσης Δικτύων χρησιμοποιούνται στα διάφορα βήματα υπολογισμών της προτεινόμενης μεθοδολογίας ή είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε βελτιώσεις ή προσθήκες. Τέλος, τα Γ.Σ.Π.-Μ. αποτελούν το περιβάλλον εντός του οποίου εκτελούνται οι υπολογισμοί και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

3. ΤΟ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Οι τεχνικές και μέθοδοι της Ανάλυσης Δικτύων καθώς και τα ΓΣΠ-Μ, που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, προσφέρουν ένα κατάλληλο περιβάλλον και τα βασικά εργαλεία με τα οποία είναι δυνατόν να σχεδιαστούν, να αξιολογηθούν και να βελτιωθούν διάφορα συστήματα δημοσίων συγκοινωνιών. Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο με το οποίο αξιοποιούνται τα παραπάνω συστήματα και τεχνικές, στον ανασχεδιασμό των λεωφορειακών γραμμών μιας αστικής περιοχής, με στόχο κυρίως την βελτίωση της αποδοτικότητας του συστήματος.

3.1 Οι Στόχοι της Μεθοδολογίας

Στις περισσότερες αστικές περιοχές, υπάρχουν σήμερα **ήδη ανεπτυγμένα δίκτυα** αστικών μαζικών μεταφορών, που περιλαμβάνουν οπωσδήποτε λεωφορειακές γραμμές και συνήθως και άλλα μέσα, όπως τα μέσα σταθερής τροχιάς, δηλαδή ο μητροπολιτικός σιδηρόδρομος, ο προαστιακός σιδηρόδρομος, το τραμ και τα τρόλεϊ, ή ακόμη και θαλάσσιες ή ποτάμιες αστικές συγκοινωνίες. Τα δίκτυα αυτά είναι συνήθως πυκνότερα στις κεντρικές περιοχές και αραιώνουν όσο αυξάνεται η απόσταση από αυτές.

Η συνεχής μεταβολή και εξάπλωση των αστικών περιοχών, καθώς και η κατασκευή και λειτουργία νέων συγκοινωνιακών έργων και συστημάτων (αυτοκινητόδρομοι, γραμμές μέσων σταθερής τροχιάς, νέοι τερματικοί σταθμοί, λιμάνια, αεροδρόμια), δημιουργούν συχνά την **ανάγκη για ανασχεδιασμό** του συστήματος λεωφορειακών γραμμών, μικρότερων ή μεγαλύτερων περιοχών. Σε ορισμένες περιοχές συγκεντρώνονται εμπορικές ή βιομηχανικές χρήσεις, ή χρήσεις αναψυχής και δημιουργείται η ανάγκη για βελτίωση της εξυπηρέτησης από λεωφορειακές γραμμές. Σε άλλες περιοχές, η υποβάθμιση και η εγκατάλειψη χρήσεων, καθιστά ασύμφορη την λειτουργία των λεωφορειακών γραμμών. Η δε κατασκευή και λειτουργία νέων έργων και συστημάτων οδηγεί στην ανάγκη για διασύνδεση των μέσων μαζικών μεταφορών, ώστε να λειτουργούν συμπληρωματικά και να βελτιώνεται η αποδοτικότητα και η οικονομική τους βιωσιμότητα.

Η μεθοδολογία που αναπτύσσεται στην εργασία αυτή φιλοδοξεί να προσφέρει μια εναλλακτική πρόταση για τον ανασχεδιασμό των λεωφορειακών γραμμών μιας περιοχής, που να λαμβάνει υπόψη μεταβολές στον πληθυσμό και τις χρήσεις γης, όπως οι προαναφερθείσες. Με την προτεινόμενη μεθοδολογία γίνεται χρήση πολύ **λεπτομερών δεδομένων**, όπως ο πληθυσμός ανά οικοδομικό τετράγωνο, οι χρήσεις

γης ανά οικόπεδο και τα πλήρη δίκτυα για την κυκλοφορία πεζών και λεωφορείων. Επίσης, χρησιμοποιούνται οι τεχνικές και οι αλγόριθμοι της Ανάλυσης Δικτύων, οι οποίες προσφέρουν **ακριβείς λύσεις**, οι οποίες με μεγάλη βεβαιότητα προσεγγίζουν τις βέλτιστες.

Οι ειδικότεροι **στόχοι**, που τίθενται στην μεθοδολογία, υιοθετούν κατά βάση την οπτική γωνία του φορέα διαχείρισης των λεωφορειακών γραμμών. Άλλωστε και τα περισσότερα προβλήματα της Ανάλυσης Δικτύων, έχουν προκύψει από την ανάγκη επίλυσης προβλημάτων που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές των διαφόρων συστημάτων μεταφορών. Ωστόσο είναι σαφές ότι από την εφαρμογή της μεθοδολογίας υπάρχουν και αρκετά οφέλη και για τους χρήστες του συστήματος, πλην ενδεχομένως κάποιων περιπτώσεων χρηστών που βρίσκονται στις πιο αραιοκατοικημένες περιοχές, όπου δεν συγκεντρώνονται και άλλες λειτουργίες.

Πιο συγκεκριμένα, οι δύο βασικοί στόχοι, που τίθενται στα βήματα της μεθοδολογίας, είναι οι ακόλουθοι :

- Η **μεγιστοποίηση της χρήσης** (προσέλευση στις στάσεις) του συστήματος, που επιτυγχάνεται με την βέλτιστη χωροθέτηση των στάσεων.
- Ο **περιορισμός του κόστους λειτουργίας**, που επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επιλογή των ομάδων στάσεων που θα εξυπηρετηθούν από κάθε γραμμή και την επιλογή της διαδρομής ελάχιστου κόστους, για κάθε ομάδα στάσεων.

3.2 Οι Παράμετροι και τα Απαραίτητα Δεδομένα

Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας απαιτείται ο σαφής ορισμός όλων των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται, από τις οποίες προκύπτουν και τα αντίστοιχα απαιτούμενα δεδομένα. Στα ακόλουθα περιγράφονται οι κυριότερες **παράμετροι** της μεθοδολογίας, ταξινομημένες στις κατηγορίες που χρησιμοποιήθηκαν και στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, δηλαδή στις μεταβλητές απόφασης, την δομή του δικτύου, την ζήτηση, τους περιορισμούς και τις στρατηγικές λειτουργίας.

Οι δύο βασικές μεταβλητές απόφασης, που χρησιμοποιούνται στα βήματα της μεθοδολογίας, είναι οι **θέσεις των στάσεων**, σε πρώτο στάδιο και οι **διαδρομές των λεωφορειακών γραμμών**, σε δεύτερο στάδιο. Επισημαίνεται ότι από την μεθοδολογία δεν προκύπτουν και οι συχνότητες των γραμμών, ωστόσο μια εκτίμηση για αυτές είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στην μεθοδολογία, εάν δημιουργηθεί ένα μοντέλο εκτίμησης της ζήτησης, σε διάφορες χρονικές περιόδους.

Τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται στην μεθοδολογία είναι ακριβείς προσεγγίσεις πραγματικών δικτύων με μεγάλο επίπεδο λεπτομέρειας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά δίκτυα της περιοχής μελέτης. Το πρώτο δίκτυο περιλαμβάνει όλες τις οδούς που είναι κατάλληλες για την **κυκλοφορία πεζών** (αστικές οδοί πλην κλειστών αυτοκινητοδρόμων, πεζόδρομοι, διαδρομές και μονοπάτια εντός πάρκων και άλλων ανοικτών χώρων κ.α.) και για τον υπολογισμό των χρόνων των διαδρομής θεωρείται μια μέση ταχύτητα πεζού – 5 χλμ./ώρα. Το δεύτερο δίκτυο περιλαμβάνει όλες τις οδούς που είναι κατάλληλες για την **κυκλοφορία λεωφορείων**, λαμβάνοντας υπόψη τις επιτρεπόμενες κατευθύνσεις κυκλοφορίας και στροφές, ενώ για τον υπολογισμό των χρόνων διαδρομής θεωρούνται μέσες ταχύτητες αναλόγως της κατηγορίας της οδού (τοπικές, συλλεκτήριες, κύριες αρτηρίες, λεωφόροι, αυτοκινητόδρομοι), χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της υπόλοιπης κυκλοφορίας (free flow speeds).

Η ζήτηση που λαμβάνεται υπόψη από την μεθοδολογία είναι σταθερή. Εκφράζεται με το **σύνολο των παραγόμενων και ελκόμενων μετακινήσεων** κατά την διάρκεια μιας τυπικής καθημερινής. Δεν λαμβάνεται υπόψη ο ανταγωνισμός από ιδιωτικά μέσα και οι επιδράσεις της απόδοσης του συστήματος στην ζήτηση. Ωστόσο η χωρική κατανομή της παραπάνω σταθερής ζήτησης εκτιμάται με μεγάλη λεπτομέρεια.

Οι δύο βασικοί περιορισμοί που τίθενται και που εκφράζουν τους διαθέσιμους πόρους του φορέα διαχείρισης των λεωφορειακών γραμμών, είναι η **διατήρηση του αριθμού των στάσεων** καθώς και η **διατήρηση ή μικρή μείωση του μήκους των λεωφορειακών γραμμών**. Στην εφαρμογή της μεθοδολογίας διατηρήθηκαν, ακόμη, ο αριθμός των λεωφορειακών γραμμών, η γραμμική και όχι κυκλική τους μορφή, καθώς και οι αφετηρίες και τα τέρματά τους. Ωστόσο, οι περιορισμοί αυτοί δεν είναι απαραίτητοι για την εφαρμογή της γενικής μεθοδολογίας.

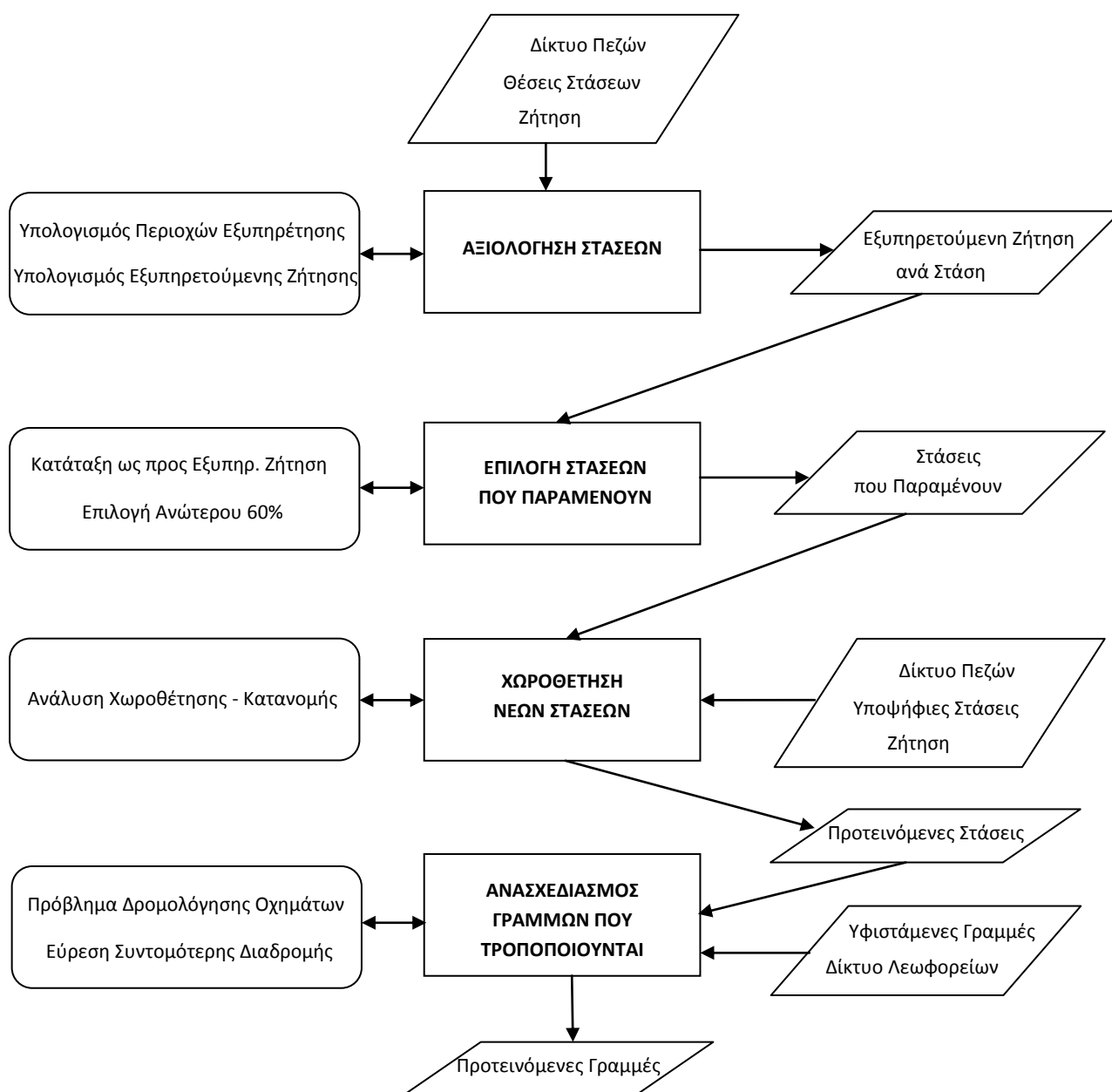
Τέλος, στην μεθοδολογία δεν είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη ιδιαίτερες **στρατηγικές λειτουργίας** του φορέα, όπως δρομολόγια περιορισμένου μήκους, ή ταχείες γραμμές με παράλειψη στάσεων.

Από τις παραμέτρους της μεθοδολογίας, προκύπτουν εύκολα και τα **απαραίτητα δεδομένα** για την εκτέλεση των βημάτων και των υπολογισμών. Τα δεδομένα αυτά συνοψίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες :

- Δεδομένα **για το οδικό δίκτυο** (συμπεριλαμβανομένων και των διαδρομών πεζών). Περιλαμβάνουν την γεωμετρία του, την ταξινόμησή του σε κατηγορίες οδών, τα πλάτη οδοστρώματος, τις κατευθύνσεις κυκλοφορίας, την γεωμετρία των κόμβων και τις επιτρεπόμενες στροφές. Συμπληρωματικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πραγματικά στοιχεία για τις ταχύτητες κυκλοφορίας.
- Δεδομένα για τις **υφιστάμενες δημόσιες συγκοινωνίες**, δηλαδή τις διαδρομές και τις στάσεις των λεωφορειακών γραμμών, καθώς και των άλλων συστημάτων δημοσίων συγκοινωνιών (υποδομές σταθερής τροχιάς, σταθμοί).
- Δεδομένα για την **ζήτηση για μετακινήσεις**. Περιλαμβάνουν τις παραγόμενες και ελκόμενες μετακινήσεις κατά την διάρκεια μιας τυπικής καθημερινής, ανά οικοδομικό τετράγωνο ή οικόπεδο. Εναλλακτικά, αντί των μετακινήσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο αριθμός των νοικοκυριών ή ο πληθυσμός ανά οικοδομικό τετράγωνο, καθώς και το εμβαδόν κτισμένης επιφάνειας ανά χρήση γης, ομοίως για κάθε οικοδομικό τετράγωνο ή οικόπεδο.

3.3 Τα Βήματα της Μεθοδολογίας

Η προτεινόμενη μεθοδολογία παρουσιάζεται με την μορφή διαγράμματος ροής, στο ακόλουθο Σχήμα 3.1. Περιλαμβάνει τέσσερα βασικά βήματα : την αξιολόγηση των στάσεων, την επιλογή των στάσεων που παραμένουν, την χωροθέτηση των νέων στάσεων και τον επανασχεδιασμό των γραμμών που τροποποιούνται. Στην συνέχεια εξηγούνται λεπτομερώς οι διαδικασίες οι τεχνικές και οι υπολογισμοί που λαμβάνουν χώρα σε καθένα από τα τέσσερα βήματα.



Σχήμα 3.1 : Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης Μεθοδολογίας

Στο πρώτο βήμα, την **Αξιολόγηση των Στάσεων**, υπολογίζεται το τμήμα της ζήτησης που είναι δυνατόν να εξυπηρετηθεί από καθεμία από τις υφιστάμενες στάσεις. Η εξυπηρετούμενη ζήτηση εκφράζεται με τον ημερήσιο αριθμό παραγόμενων και ελκόμενων μετακινήσεων μετακινήσεων που είναι δυνατόν να εξυπηρετηθούν, ο οποίος αποτελεί και το προτεινόμενο από την μεθοδολογία μέγεθος για την αξιολόγηση των στάσεων.

Αρχικά προσδιορίζεται η περιοχή εξυπηρέτησης για κάθε στάση (πρόβλημα περιοχής εξυπηρέτησης). Για τον προσδιορισμό αυτό, χρησιμοποιείται το πλήρες δίκτυο κυκλοφορίας πεζών της περιοχής. Ως ταχύτητα πεζού μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα 5 χλμ./ώρα. Οι στάσεις θεωρείται ότι λειτουργούν ανταγωνιστικά και έτσι οι περιοχές εξυπηρέτησης που προκύπτουν δεν είναι αλληλεπικαλυπτόμενες. Για κάθε στάση χρησιμοποιείται μία θέση, ακόμη και αν τα λεωφορεία σταματούν σε λίγο διαφορετικές θέσεις κατά την μία και την άλλη κατεύθυνση. Ως όριο κόστους για τον προσδιορισμό των περιοχών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα 5 λεπτά, που αποτελούν έναν αποδεκτό χρόνο περπατήματος. Τέλος, προσδιορίζονται τα σημεία ζήτησης που βρίσκονται εντός της περιοχής εξυπηρέτησης και αθροίζεται η ζήτηση τους.

Στο δεύτερο βήμα, την **Επιλογή των Στάσεων που Παραμένουν**, γίνεται η κατάταξη των υφιστάμενων στάσεων κατά φθίνουσα σειρά εξυπηρετούμενης ζήτησης. Από τις υφιστάμενες στάσεις επιλέγεται ένας αριθμός στάσεων που θα διατηρηθούν και στο νέο σύστημα γραμμών και ένας αριθμός στάσεων που θα χωροθετηθούν σε νέες θέσεις. Η επιλογή μπορεί να γίνει και γραφικά, σε ένα διάγραμμα με την εξυπηρετούμενη ζήτηση των στάσεων σε φθίνουσα σειρά, εντοπίζοντας κάποιο κρίσιμο σημείο, μετά το οποίο η εξυπηρετούμενη ζήτηση μειώνεται απότομα. Στην μεθοδολογία προτείνεται να διατηρείται το 50-60 % των υφιστάμενων στάσεων, για λόγους συνέχειας με το αρχικό σύστημα λεωφορειακών γραμμών.

Στο τρίτο βήμα, την **Χωροθέτηση των Νέων Στάσεων**, εφαρμόζεται ανάλυση χωροθέτησης – κατανομής, ώστε να προκύψει ένας αριθμός νέων στάσεων, ίσος με τον αριθμό των στάσεων που αφαιρέθηκαν στο προηγούμενο βήμα. Για την εφαρμογή της ανάλυσης, απαιτείται το δίκτυο κυκλοφορίας λεωφορείων, η ζήτηση, που χρησιμοποιήθηκε και στο πρώτο βήμα, οι στάσεις που παραμένουν, όπως προέκυψαν από το δεύτερο βήμα, καθώς και ένας αριθμός υποψήφιων θέσεων στάσεων.

Το δίκτυο κυκλοφορίας λεωφορείων εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου, καθώς και τον τύπο λεωφορείων που θα χρησιμοποιηθούν στις γραμμές (απλά, διπλά, αρθρωτά, minibus). Περιλαμβάνει το τμήμα του οδικού δικτύου που είναι κατάλληλο για την κίνηση του συγκεκριμένου τύπου λεωφορείων

καθώς και τις πληροφορίες για τις κατευθύνσεις των οδών, τις απαγορεύσεις στροφών, τις στροφές που δεν είναι δυνατές λόγω της γεωμετρίας, καθώς και τις ταχύτητες σε κάθε τμήμα οδού. Ως υποψήφιες θέσεις στάσεων, λαμβάνονται όλα τα μέσα των οδικών τμημάτων του δικτύου κυκλοφορίας λεωφορείων (με μήκος άνω των 50 μ.).

Από το τρίτο βήμα και σύμφωνα με τα παραπάνω, προκύπτει το σύνολο των προτεινόμενων στάσεων για το νέο δίκτυο λεωφορειακών γραμμών. Το σύνολο αυτό περιλαμβάνει τις στάσεις που παραμένουν, που προέκυψαν από το δεύτερο βήμα, καθώς και τις νέες στάσεις που χωροθετήθηκαν από την ανάλυση χωροθέτησης - κατανομής του τρίτου βήματος.

Στο τέταρτο και τελευταίο βήμα, τον **Ανασχεδιασμό των Γραμμών που Τροποποιούνται**, γίνεται καταρχήν μια επιλογή των γραμμών που πρόκειται να τροποποιηθούν. Η διαδικασία αυτή προτείνεται, καθώς από τις διάφορες περιοχές μελέτης είναι δυνατόν να διέρχονται λεωφορειακές γραμμές που εξυπηρετούν κυρίως γειτονικές περιοχές, καθώς και γραμμές – κορμοί οι οποίες έχουν συνήθως τον στόχο να εξυπηρετούν κάποιες βασικές διαδρομές μεγάλου μήκους, χωρίς ιδιαίτερες περιπορείες. Γραμμές αυτών των τύπων είναι πιθανόν να μην υπάρχει η βούληση να τροποποιηθούν για την καλύτερη εξυπηρέτηση της περιοχής μελέτης.

Μετά την επιλογή των γραμμών που τροποποιούνται ακολουθεί ο σχεδιασμός των διαδρομών των γραμμών, ο οποίος γίνεται σε δύο στάδια. Επισημαίνεται ότι το βήμα αυτό του ανασχεδιασμού δεν είναι πλήρως αυτοματοποιημένο, αλλά υπάρχουν διαδικασίες που απαιτούν την κρίση του μελετητή.

Στο πρώτο στάδιο, επιλύεται το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων, με το οποίο επιτυγχάνεται η επιλογή των στάσεων που θα εξυπηρετηθούν από κάθε γραμμή, καθώς και μια πρώτη προσέγγιση των νέων διαδρομών. Στην επίλυση του προβλήματος καθοριστικό ρόλο παίζουν οι αφετηρίες και τα τέρματα των γραμμών, καθώς και ο μέγιστος αριθμός των στάσεων που μπορεί να εξυπηρετεί κάθε γραμμή. Για κανονικές γραμμές δύο κατευθύνσεων, το πρόβλημα επιλύεται δύο φορές, μια από τις αφετηρίες προς τα τέρματα και μία αντίστροφα. Για κάθε στάση χρησιμοποιείται η ακριβής θέση που σταματούν τα οχήματα, που είναι δυνατόν να διαφέρει κατά την διαδρομή από αφετηρία προς τέρμα, σε σχέση με την αντίστροφη διαδρομή. Για τις στάσεις που προκύπτει να εξυπηρετούνται από διαφορετική γραμμή κατά τις διαδρομές από τις αφετηρίες προς τα τέρματα, απ' ότι κατά την αντίστροφη διαδρομή, θα πρέπει να αποφασιστεί από τον μελετητή η τελική γραμμή στην οποία θα συμπεριληφθούν.

Στο δεύτερο στάδιο, για κάθε γραμμή επιλύεται το πρόβλημα της εύρεσης της συντομότερης (ελάχιστου χρόνου) διαδρομής, με στόχο την μείωση του αρχικού χρόνου διαδρομής, που προέκυψε από το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων. Το πρόβλημα επιλύεται πολλές φορές, με μικρές μετατοπίσεις των θέσεων των στάσεων, ή ακόμη και αφαίρεση ορισμένων, ώστε τελικά να προκύψει ίσος ή μικρότερος χρόνος διαδρομής, με αυτόν των υφιστάμενων γραμμών, πριν από την τροποποίηση.

Με την εφαρμογή και του τέταρτου βήματος, η προτεινόμενη μεθοδολογία ολοκληρώνεται και το τελικό αποτέλεσμα είναι οι γραμμές που τροποποιούνται με τις διαδρομές και τις στάσεις τους. Επισημαίνεται και πάλι ότι από την μεθοδολογία δεν υπολογίζονται και οι συχνότητες των γραμμών, διαδικασία που είναι δυνατόν να ενσωματωθεί στην μεθοδολογία στο μέλλον.

4. Ο ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο εφαρμόστηκε με τα πραγματικά δεδομένα αστικής περιοχής, ώστε να δοκιμαστεί και να ελεγχθεί κατά πόσον είναι εφικτή και οδηγεί σε λογικά αποτελέσματα. Για την εφαρμογή της επιλέχτηκε η περιοχή του Δήμου Αγίας Παρασκευής Αττικής, που αποτελεί ένα πυκνοκατοικημένο προάστιο των Αθηνών, με ανεπτυγμένο δίκτυο Δημοσίων Συγκοινωνιών, τμήμα του οποίου ανασχεδιάστηκε. Με την βοήθεια της εφαρμογής, η μεθοδολογία γίνεται καλύτερα κατανοητή και παράγονται αποτελέσματα που σχολιάζονται ως προς την λογική των μεταβολών που επιφέρουν στο δίκτυο Δημοσίων Συγκοινωνιών της περιοχής.

4.1 Η Περιοχή Μελέτης

Ο Δήμος Αγίας Παρασκευής βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος των Αθηνών, σε απόσταση περίπου 9 χλμ. από το κέντρο. Έχει έκταση περί τα 10 τετ. χλμ., η οποία σε όλο σχεδόν το τμήμα της, με εξαίρεση τις προστατευόμενες ζώνες του Υμηττού, είναι αστική και πυκνοκατοικημένη (περί τις 6000 κατ./τετ. χλμ.). Ο μόνιμος πληθυσμός του δήμου, ανέρχεται σε 60.065 κατ. σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Συνορεύει βόρεια και δυτικά με τον δήμο Χαλανδρίου, ανατολικά με τους δήμους Γέρακα και Γλυκών Νερών και νότια και δυτικά με τον δήμο Χολαργού. Στον Χάρτη 4.1, της επόμενης σελίδας, φαίνεται η περιοχή μελέτης, καθώς και το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο της περιοχής.

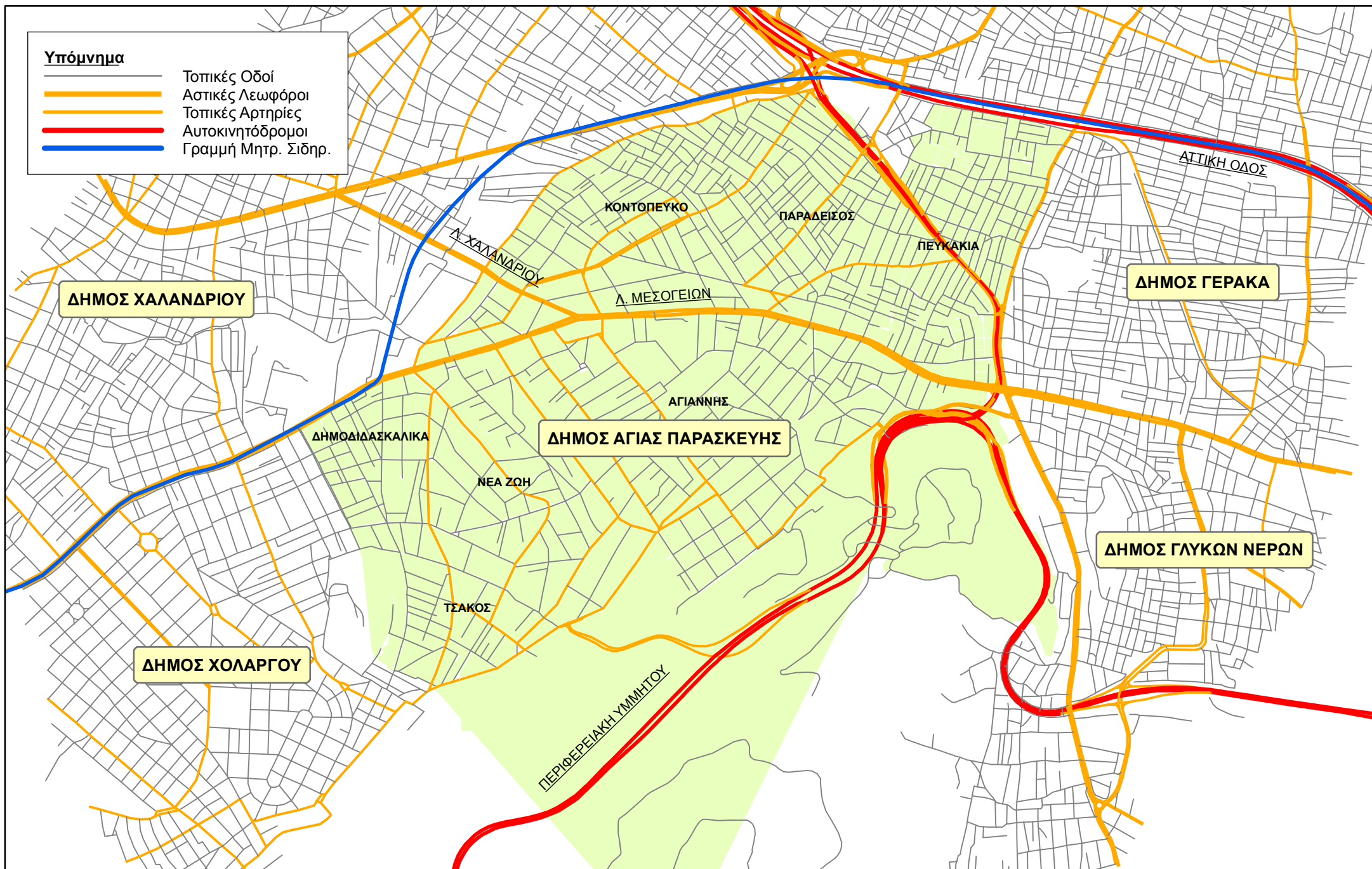
Στην περιοχή μελέτης υπάρχει ένα ανεπτυγμένο οδικό δίκτυο συνολικού μήκους 130 περίπου χιλιομέτρων. Η Λεωφόρος Μεσογείων, που συνδέει το κέντρο της Αθήνας με την πεδιάδα των Μεσογείων και το λιμάνι της Ραφήνας, διασχίζει την περιοχή του δήμου διαμετρικά. Η Λεωφόρος Χαλανδρίου είναι επίσης κύρια αστική αρτηρία με σημαντική κυκλοφορία. Η Αττική Οδός και η Περιφερειακή Υμηττού, που αποτελούν τμήμα του δικτύου αυτοκινητοδρόμων των Αθηνών, αναπτύσσονται στην περίμετρο της περιοχής του δήμου και συνδέονται με αυτή, μέσω τριών κόμβων.

Το δίκτυο δημοσίων συγκοινωνιών του δήμου περιλαμβάνει τμήμα και τέσσερεις σταθμούς της Γραμμής 3 του μητροπολιτικού σιδηροδρόμου (Αιγάλεω – Αεροδρόμιο), καθώς και τμήμα και έναν σταθμό της Γραμμής του προαστιακού σιδηροδρόμου προς το αεροδρόμιο (Νερατζιώτισσα – Αεροδρόμιο). Επιπλέον,

ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.1

Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΟΔΙΚΟ ΚΑΙ ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ



περιλαμβάνει 21 λεωφορειακές γραμμές του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών, ανάμεσα στις οποίες 2 γραμμές κορμοί (Α5, Β5) και 2 γραμμές οι οποίες εξυπηρετούν αποκλειστικά την σύνδεση περιοχών του δήμου μεταξύ τους (406, 407). Τέλος, περιλαμβάνει και δεκατρείς υπεραστικές λεωφορειακές γραμμές της Κ.Τ.Ε.Λ. Νομού Αττικής Α.Ε. (προς Ραφήνα, Μαραθώνα και την Ανατολική Ακτή της Αττικής).

4.2 Η Συλλογή, Επεξεργασία και Οργάνωση των Δεδομένων

Για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας ήταν απαραίτητη η συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων, όπως περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο (υποκεφάλαιο 3.2) και παρουσιάζονται στο διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας (Σχήμα 3.1). Στα ακόλουθα, περιγράφονται για κάθε τύπο δεδομένων, οι πηγές από τις οποίες συλλέχθηκαν, η αρχική τους μορφή, η επεξεργασία στην οποία υποβλήθηκαν και η τελική μοντελοποίησή τους, στο λογισμικό ΓΣΠ που χρησιμοποιήθηκε.

4.2.1 Το Δίκτυο Κυκλοφορίας Πεζών

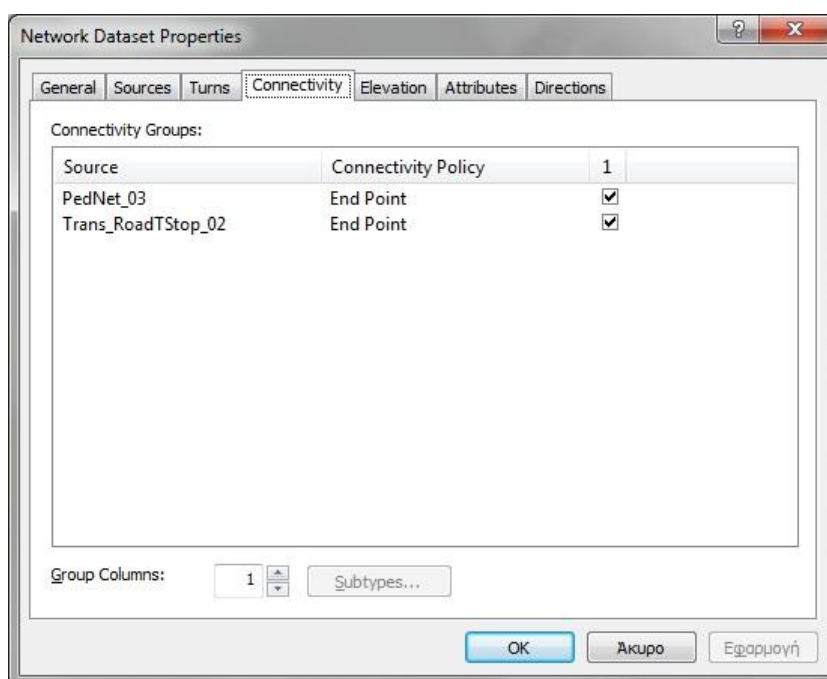
Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας και συγκεκριμένα του πρώτου (Αξιολόγηση Στάσεων) και τρίτου (Χωροθέτηση Νέων Στάσεων) βήματος, απαιτείται το πλήρες δίκτυο οδών και γενικά διαδρομών (ενδεχομένως εντός πάρκων ή άλλων ανοιχτών χώρων) όπου είναι δυνατόν να κυκλοφορούν πεζοί, εντός της περιοχής μελέτης, αλλά και εντός μιας ζώνης σε άμεση επαφή (εντός π.χ. απόστασης 1 χλμ.) με την περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, ήταν απαραίτητη η γεωμετρία του δικτύου αυτού, η συνδεσιμότητα των κόμβων του, το μήκος και ο χρόνος πεζή διαδρομής κάθε τμήματος.

Το δίκτυο αυτό, που ονομάστηκε *Agia_Paraskevi_PedNet_ND* και ακολουθεί την μοντελοποίηση του λογισμικού *ArcGIS – Network Analyst*, δημιουργήθηκε με επεξεργασία δεδομένων που ήταν ήδη διαθέσιμα και χορηγήθηκαν από τον Δήμο Αγίας Παρασκευής. Πιο συγκεκριμένα ο Δήμος Αγίας Παρασκευής έχει αναπτύξει ΓΣΠ, στο οποίο, εκτός των άλλων, περιλαμβάνεται το οδικό δίκτυο, σε μορφή αρχείων *shapfiles*. Από τα παραπάνω αρχεία προέκυψε η γεωμετρία όλων των οδών του δήμου και ειδικότερα ο άξονας κάθε οδού, ή οι άξονες στην περίπτωση οδών με κεντρική νησίδα. Επίσης από το ίδιο ΓΣΠ, προέκυψαν τα μήκη των οδών και οι ονομασίες τους.

Από τα δεδομένα του οδικού δικτύου του ΓΣΠ του Δήμου Αγίας Παρασκευής, καταρχήν αφαιρέθηκαν τα οδικά τμήματα που δεν είναι προσβάσιμα σε πεζούς, κατά βάση δηλαδή, τα τμήματα κλειστού αυτοκινητόδρομου (Αττική Οδός, Περιφερειακή Υμηττού, αντίστοιχες ράμπες εισόδου - εξόδου). Στην συνέχεια προστέθηκαν οι προαναφερθείσες διαδρομές πεζών, μέσα από ανοιχτούς χώρους. Ειδική μέριμνα υπήρξε για τις οδούς με κεντρική νησίδα (Λεωφόρος Μεσογείων, Λεωφόρος Χαλανδρίου, Αλεξάνδρου Παναγούλη, Δερβενακίων κ.α.), όπου προστέθηκαν σύνδεσμοι δικτύου στις θέσεις όπου είναι δυνατή η διάσχιση των οδών από πεζούς (πεζοδιαβάσεις, σηματοδότες, διακοπή φύτευσης νησίδας κ.α.).

Τέλος, η συνδεσιμότητα του δικτύου, εφόσον δεν υπήρχαν διαθέσιμα υψομετρικά δεδομένα, προέκυψε με αυτόματη λειτουργία του λογισμικού (end point policy), στην οποία δημιουργούνται κόμβοι μόνο στα άκρα των συνδέσμων (που είναι πολυγραμμές) και συνδέονται μόνο οι σύνδεσμοι που έχουν κοινό άκρο (δεν συνδέονται αν έχουν απλώς κοινά ενδιάμεσα σημεία).

Το τελικό δίκτυο κυκλοφορίας πεζών, *Agia_Paraskevi_PedNet_ND*, που δημιουργήθηκε, φαίνεται στον Χάρτη 4.2 της επόμενης σελίδας. Στο Σχήμα 4.1 φαίνονται οι παράμετροι της αυτόματης λειτουργίας κατασκευής της συνδεσιμότητας του δικτύου.



Σχήμα 4.1 : Παράμετροι Αυτόματης Λειτουργίας Κατασκευής Συνδεσιμότητας Δικτύου

ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

Όσον αφορά στις ιδιότητες (περιγραφικές πληροφορίες) των συνδέσμων του δικτύου κυκλοφορίας πεζών, οι ονομασίες των οδών και τα αντίστοιχα μήκη προήλθαν από τα δεδομένα του ΓΣΠ του Δήμου Αγίας Παρασκευής. Τα μήκη των νέων συνδέσμων προέκυψαν από τις λειτουργίες του λογισμικού ΓΣΠ. Τέλος, ο χρόνος πεζή διαδρομής, για κάθε σύνδεσμο του δικτύου, προέκυψε με υπολογισμό, χρησιμοποιώντας τα μήκη των συνδέσμων και θεωρώντας μια μέση ταχύτητα περπατήματος 5 χλμ./ώρα.

Υπόμνημα

— Οδοί Προσβάσιμες από Πεζούς

■ ■ ■ Όρια Δήμου Αγίας Παρασκευής



Ένα απόσπασμα του πίνακα με τις ιδιότητες των συνδέσμων του δικτύου κυκλοφορίας πεζών φαίνεται στον Πίνακα 4.1. Για κάθε σύνδεσμο του οδικού δικτύου, υπάρχουν τα πεδία με το γνώρισμα κλειδί (OBJECTID), το μήκος (meters), τον χρόνο πεζή διαδρομής (minutes) και την ονομασία του στα ελληνικά (namegrk).

OBJECTID	meters	minutes	namegrk
10	19,563399	0,234761	ΝΕΑΠΟΛΕΩΣ
11	40,696032	0,488352	ΓΟΡΓΟΠΟΤΑΜΟΥ
13	122,674604	1,472095	ΤΕΡΖΟΠΟΥΛΟΥ
14	179,836843	2,158042	ΠΤΟΛΕΜΑΙΩΝ
15	13,560964	0,162732	ΚΛΕΙΣΘΕΝΟΥΣ
16	139,221376	1,670657	ΧΛΟΗΣ
17	50,145920	0,601751	ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ
18	44,693220	0,536319	ΠΑΝΑΓΟΥΛΗ
19	26,296242	0,315555	ΚΛΕΙΣΘΕΝΟΥΣ
20	139,622840	1,675474	ΠΑΝΟΥΡΓΙΑ

Πίνακας 4.1 : Απόσπασμα του Πίνακα Ιδιοτήτων
για τους Συνδέσμους του Δικτύου Κυκλοφορίας Πεζών

4.2.2 Το Δίκτυο Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων (Minibus)

Απαιτούμενο για την εκτέλεση του τέταρτου βήματος (Ανασχεδιασμός Γραμμών που Τροποποιούνται) είναι το πλήρες δίκτυο οδών της περιοχής μελέτης που είναι κατάλληλες για την κυκλοφορία μικρών λεωφορείων. Στο δίκτυο αυτό θα πρέπει να είναι γνωστή η γεωμετρία και η συνδεσιμότητα του, οι κατευθύνσεις των οδών και οι επιτρεπόμενες στροφές, η κατηγορία τους (αυτοκινητόδρομος, αστική λεωφόρος, τοπική αρτηρία κλπ.), το μήκος και ο χρόνος διαδρομής με λεωφορείο για κάθε σύνδεσμο.

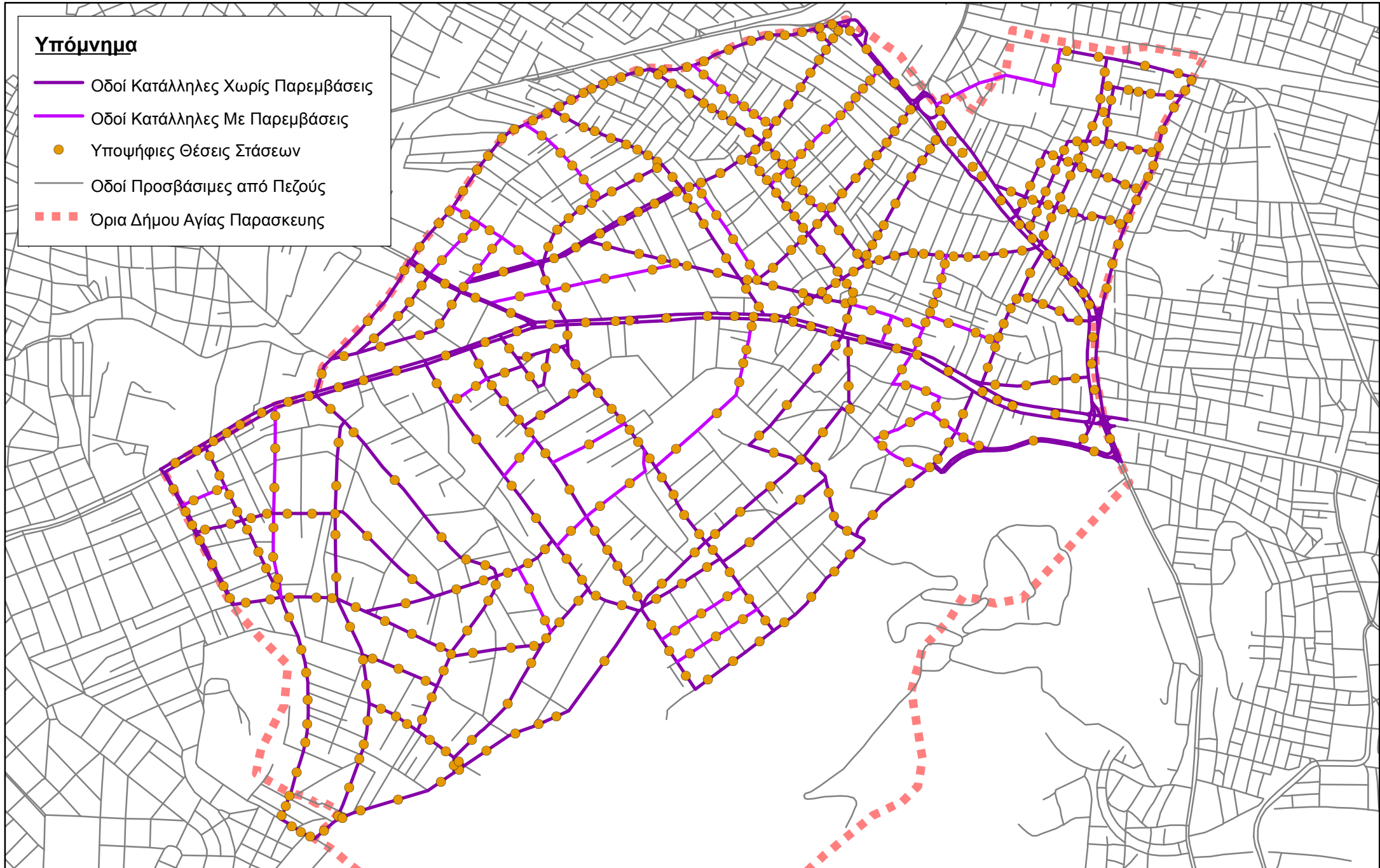
Ομοίως με το Δίκτυο Κυκλοφορίας Πεζών, το Δίκτυο Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων δημιουργήθηκε με επεξεργασία των δεδομένων του ΓΣΠ του Δήμου Αγίας Παρασκευής για το οδικό δίκτυο. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις πλάτους οδοστρώματος και πεζοδρομίων όλων των δημοτικών οδών, καθώς και η απογραφή στάθμευσης, που έγιναν στα πλαίσια της Γενικής Μελέτης Κυκλοφορίας και Στάθμευσης Δήμου Αγίας Παρασκευής (2008), που επίσης χορηγήθηκαν. Ως οδοί κατάλληλες για την κυκλοφορία μικρών λεωφορείων θεωρήθηκαν όλες οι οδοί με μία κατεύθυνση κυκλοφορίας και ελεύθερο πλάτος κυκλοφορίας τουλάχιστον 3,5 μ. (χωρίς τις λωρίδες στάθμευσης) και όλες οι οδοί με δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας και ελεύθερο πλάτος κυκλοφορίας τουλάχιστον 6,5 μ. (χωρίς τις λωρίδες στάθμευσης). Ορισμένες οδοί με γεωμετρικά χαρακτηριστικά οριακά μικρότερα από τα προαναφερθέντα, αξιολογήθηκαν ως κατάλληλες για την κυκλοφορία μικρών λεωφορείων, μετά από μικρές παρεμβάσεις.

Οι κατάλληλες και οι κατάλληλες μετά από παρεμβάσεις οδοί για κυκλοφορία μικρών λεωφορείων, απομονώθηκαν από το οδικό δίκτυο του ΓΣΠ του Δήμου Αγίας Παρασκευής και αποτέλεσαν την βάση για την δημιουργία του Δικτύου Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων. Η συνδεσιμότητα του Δικτύου Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων προέκυψε με τις ίδιες λειτουργίες που προέκυψε και στην περίπτωση του Δικτύου Κυκλοφορίας Πεζών. Επιπλέον όμως ελήφθησαν υπόψη και οι κατευθύνσεις κυκλοφορίας των οδών, που ήταν καταγεγραμμένες στο ΓΣΠ του Δήμου (Null, From-To, To-From), καθώς και οι απαγορεύσεις στροφών, που ήταν καταγεγραμμένες σε πίνακα απαγορευμένων στροφών (Restricted Turns).

Το τελικό Δίκτυο Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων, που ονομάστηκε *Agia_Paraskevi_BusNet_ND*, παρουσιάζεται στον Χάρτη 4.3 της επόμενης σελίδας. Στον ίδιο χάρτη φαίνονται και οι υποψήφιες θέσεις στάσεων, που χρησιμοποιούνται στο τρίτο βήμα της μεθοδολογίας (Χωροθέτηση Νέων Στάσεων). Οι θέσεις αυτές τοποθετήθηκαν στο μέσο (midpoint) κάθε συνδέσμου του Δικτύου Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων, με μήκος τουλάχιστον 50 μ..

Υπόμνημα

- Οδοί Κατάλληλες Χωρίς Παρεμβάσεις
- Οδοί Κατάλληλες Με Παρεμβάσεις
- Υποψήφιες Θέσεις Στάσεων
- Οδοί Προσβάσιμες από Πεζούς
- Όρια Δήμου Αγίας Παρασκευής



OBJECTID	oneway	meters	type	suitbus	speed	minutes	namegrk
10		19,563399	2	1	40	0,029345	ΝΕΑΠΟΛΕΩΣ
15	FT	13,560964	1	1	50	0,016273	ΚΛΕΙΣΘΕΝΟΥΣ
16	TF	139,221376	0	1	30	0,278443	ΧΛΟΗΣ
17	FT	50,145920	2	1	40	0,075219	ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ
18	FT	44,693220	2	1	40	0,067040	ΠΑΝΑΓΟΥΛΗ
19	FT	26,296242	1	1	50	0,031555	ΚΛΕΙΣΘΕΝΟΥΣ
22	TF	86,168474	1	1	50	0,103402	ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ ΛΕΩΦ.
23	FT	126,681787	0	2	30	0,253364	ΓΟΥΝΑΡΗ
24	FT	62,140333	0	2	30	0,124281	ΠΟΓΚΑ
28	FT	23,313080	0	1	30	0,046626	ΑΓ. ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ

Πίνακας 4.2 : Απόσπασμα του Πίνακα Ιδιοτήτων
για τους Συνδέσμους του Δικτύου Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων

Οι ιδιότητες (περιγραφικές πληροφορίες) των συνδέσμων του Δικτύου Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων φαίνονται στον Πίνακα 4.2. Στις ιδιότητες των συνδέσμων του Δικτύου Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων περιλαμβάνονται : το γνώρισμα – κλειδί (OBJECTID), η κατεύθυνση κυκλοφορίας (oneway, με τιμές : *Null* = διπλή, *FT* (From – To) = ίδια με την κατεύθυνση ψηφιοποίησης, *TF* (To – From) = ανάποδα από την κατεύθυνση ψηφιοποίησης), το μήκος (meters), ο τύπος της οδού (type, με τιμές 0 = τοπική οδός, 1 = αστική λεωφόρος, 2 = τοπική αρτηρία, 10 = αυτοκινητόδρομος), η καταλληλότητα για την κίνηση μικρών λεωφορείων (suitbus, με τιμές 1 = κατάλληλη, 2 = κατάλληλη με παρεμβάσεις), η ταχύτητα κυκλοφορίας χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι κυκλοφοριακές συνθήκες (speed), ο χρόνος διαδρομής (minutes) και η ονομασία στα ελληνικά (namegrk). Η κατεύθυνση κυκλοφορίας, το μήκος, ο τύπος και η ονομασία των συνδέσμων προέκυψαν από το ΓΣΠ του Δήμου Αγίας Παρασκευής. Η καταλληλότητα για κίνηση μικρών λεωφορείων, η ταχύτητα και ο χρόνος διαδρομής είναι αποτελέσματα θεωρήσεων και υπολογισμών.

4.2.3 Η Εκτίμηση και η Χωρική Κατανομή της Ζήτησης

Η Ζήτηση για μετακινήσεις, που όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, εκφράζεται με το σύνολο των παραγόμενων και ελκόμενων μετακινήσεων κατά την διάρκεια μιας τυπικής καθημερινής, είναι επίσης απαραίτητο να εκτιμηθεί, για να χρησιμοποιηθεί τόσο στο πρώτο (Αξιολόγηση Στάσεων), όσο και στο τρίτο (Χωροθέτηση Νέων Στάσεων) βήμα.

Για την περιοχή μελέτης, υπήρχε διαθέσιμη εκτίμηση τόσο των ημερήσιων παραγόμενων, όσο και των ημερήσιων ελκόμενων μετακινήσεων, από σχετική μελέτη για λογαριασμό του Οργανισμού Αστικών Συγκοινωνιών Αθηνών (ΟΑΣΑ, 2007). Η εκτίμηση έχει βασιστεί σε στοιχεία παλαιότερων μελετών (Μελέτη Ανάπτυξης Μετρό, 1996), καθώς και σε επικαιροποίηση αυτών με έρευνα σε νοικοκυριά και απογραφή χρήσεων γης.

Τα στοιχεία για τις παραγόμενες και ελκόμενες μετακινήσεις ήταν διαθέσιμα σε επίπεδο κυκλοφοριακής ζώνης (ζώνες μελετών ΟΑΣΑ). Έτσι προέκυψε η ανάγκη για την κατά το δυνατό χωρική κατανομή των δεδομένων των κυκλοφοριακών ζωνών σε επίπεδο οικοδομικού τετραγώνου ή οικοπέδου, όπως απαιτείται από την μεθοδολογία.

Για να είναι δυνατή η παραπάνω κατανομή, χρειάστηκαν πρόσθετα δεδομένα για τον πληθυσμό και τις χρήσεις γης της περιοχής. Τα πληθυσμιακά στοιχεία και πιο συγκεκριμένα ο αριθμός των νοικοκυριών ανά οικοδομικό τετράγωνο, που προτείνεται από την μεθοδολογία, ήταν διαθέσιμος ανά οικοδομικό τετράγωνο, από τα στοιχεία της απογραφής πληθυσμού του 2001 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ. πρώην Ε.Σ.Υ.Ε.). Όσον αφορά στις χρήσεις γης, υπήρχαν διαθέσιμα τα στοιχεία των θεσμοθετημένων χρήσεων από το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο του Δήμου Αγίας Παρασκευής. Τα παραπάνω στοιχεία ήταν ενσωματωμένα στο ΓΣΠ του Δήμου Αγίας Παρασκευής που χορηγήθηκε από τον Δήμο.

Στους ακόλουθους Χάρτες 4.4 και 4.5 παρουσιάζονται ο ημερήσιος αριθμός παραγόμενων μετακινήσεων ανά κυκλοφοριακή ζώνη και ο ημερήσιος αριθμός ελκόμενων μετακινήσεων ανά κυκλοφοριακή ζώνη, όπως προέκυψαν από τα στοιχεία του ΟΑΣΑ. Στους επόμενους Χάρτες 4.6 και 4.7 παρουσιάζονται τα επιπλέον δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την χωρική κατανομή της ζήτησης, δηλαδή ο αριθμός νοικοκυριών ανά οικοδομικό τετράγωνο και οι θεσμοθετημένες και ειδικές χρήσεις γης ανά οικόπεδο. Τα χωρικά δεδομένα των οικοπέδων προήλθαν από το υπόβαθρο του Κτηματολογίου.

ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

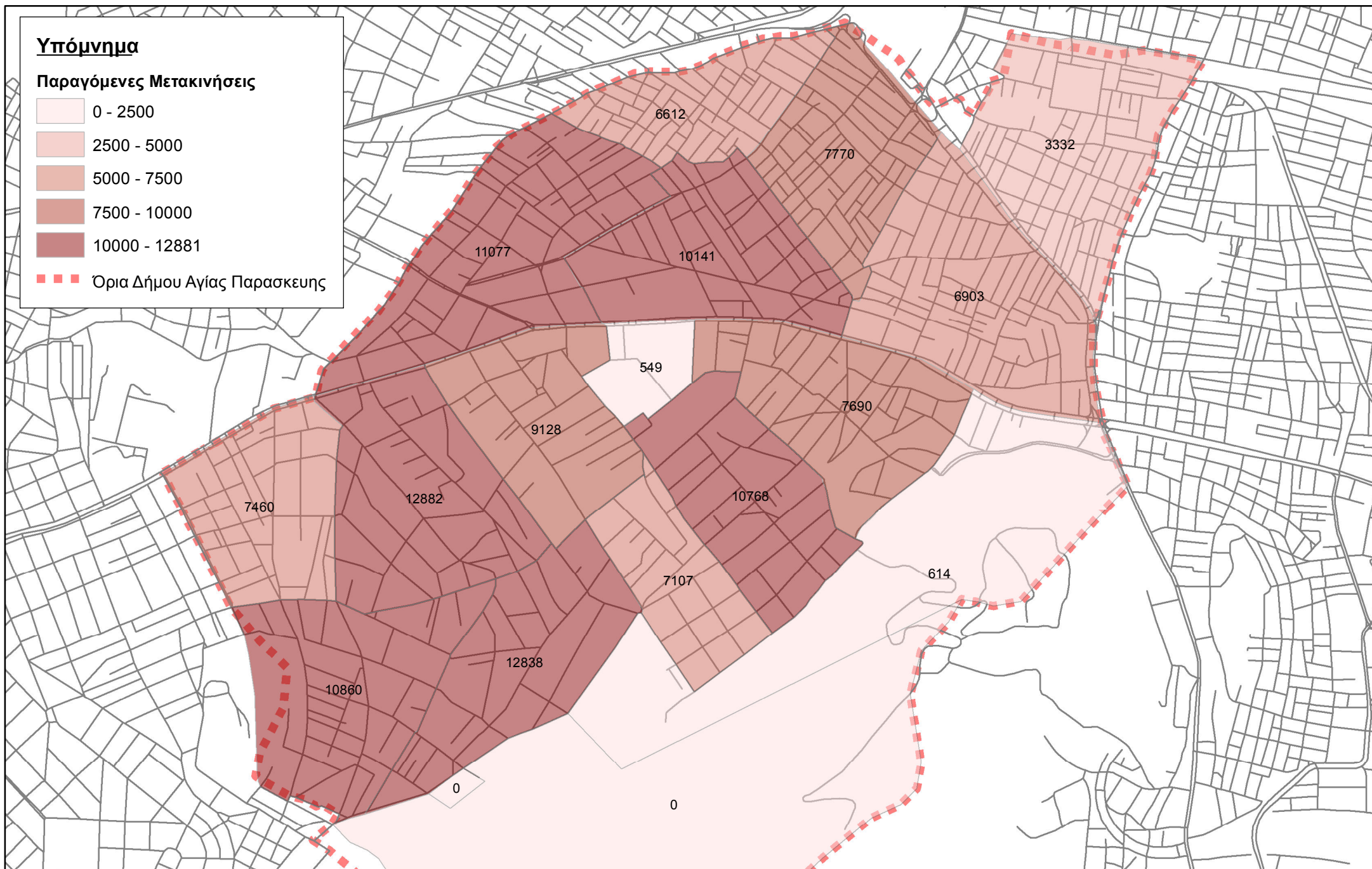
ΧΑΡΤΗΣ 4.4

ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΖΩΝΗ

Υπόμνημα

Παραγόμενες Μετακινήσεις

- 0 - 2500
- 2500 - 5000
- 5000 - 7500
- 7500 - 10000
- 10000 - 12881
- Όρια Δήμου Αγίας Παρασκευής



ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

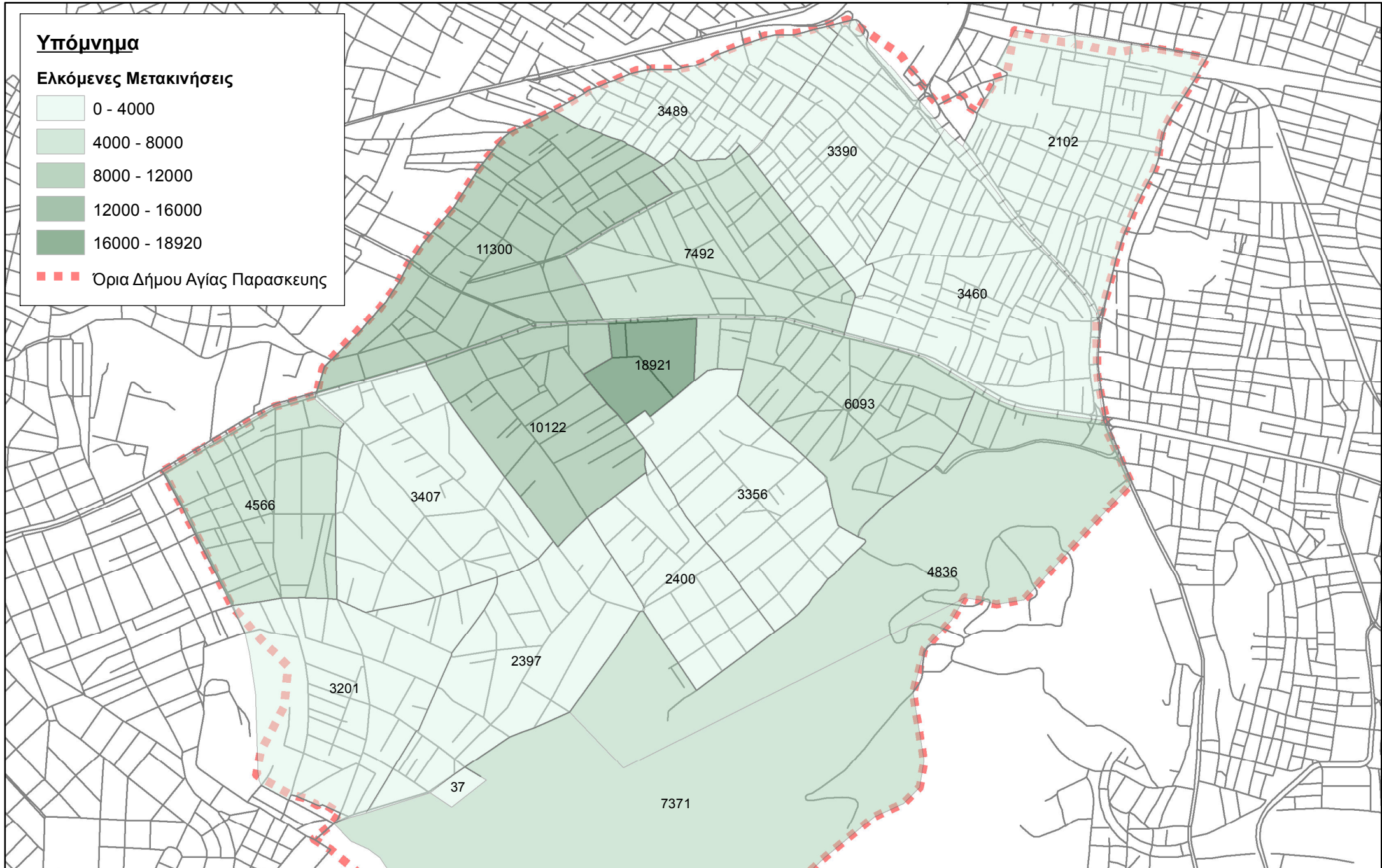
ΧΑΡΤΗΣ 4.5

ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΛΚΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΑΝΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΖΩΝΗ

Υπόμνημα

Ελκόμενες Μετακινήσεις

- 0 - 4000
- 4000 - 8000
- 8000 - 12000
- 12000 - 16000
- 16000 - 18920
- Όρια Δήμου Αγίας Παρασκευής



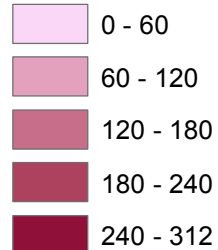
ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.6

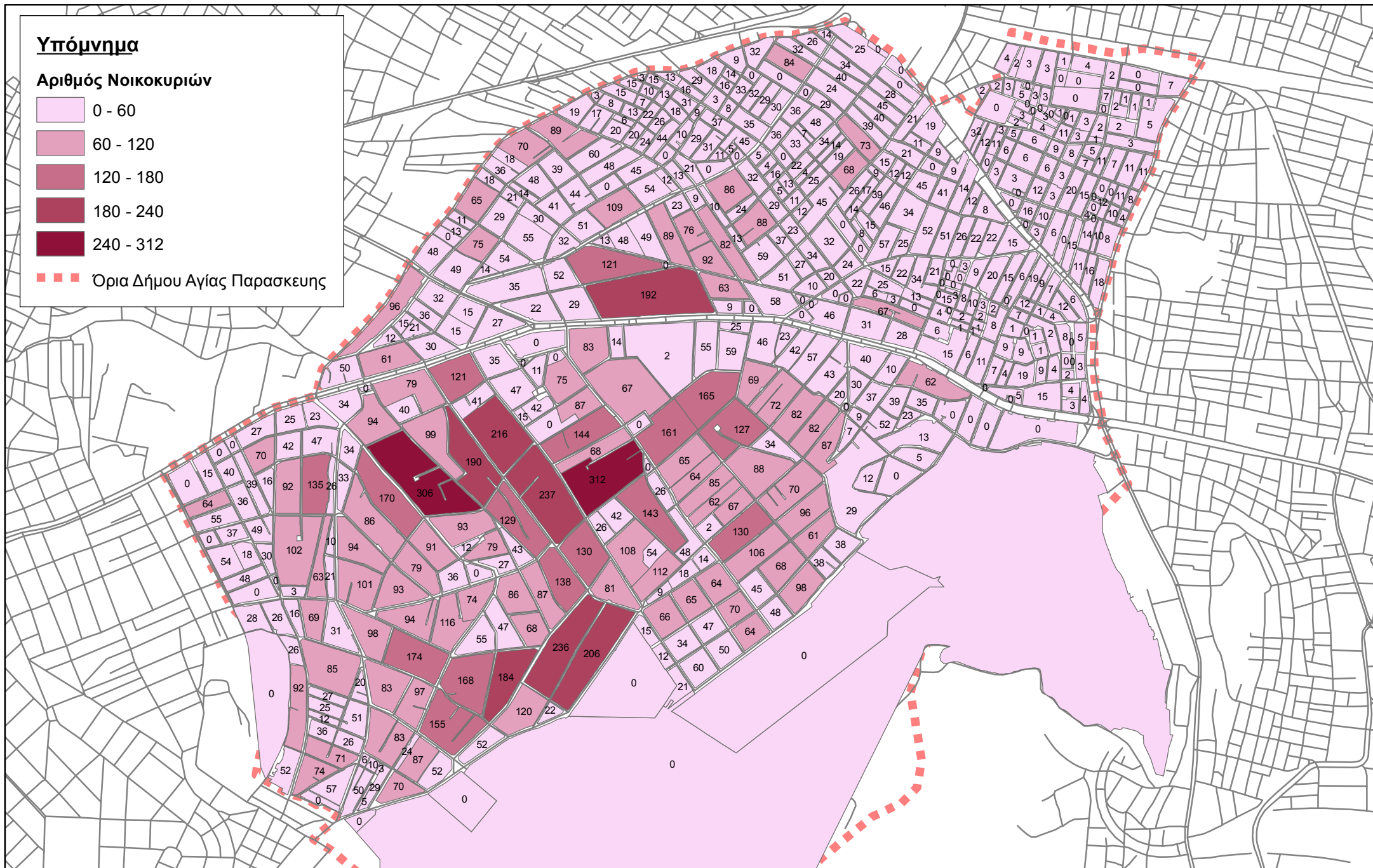
ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΟΙΚΟΚΥΡΙΩΝ ΑΝΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ

Υπόμνημα

Αριθμός Νοικοκυριών



Ορια Δήμου Αγίας Παρασκευής
























ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

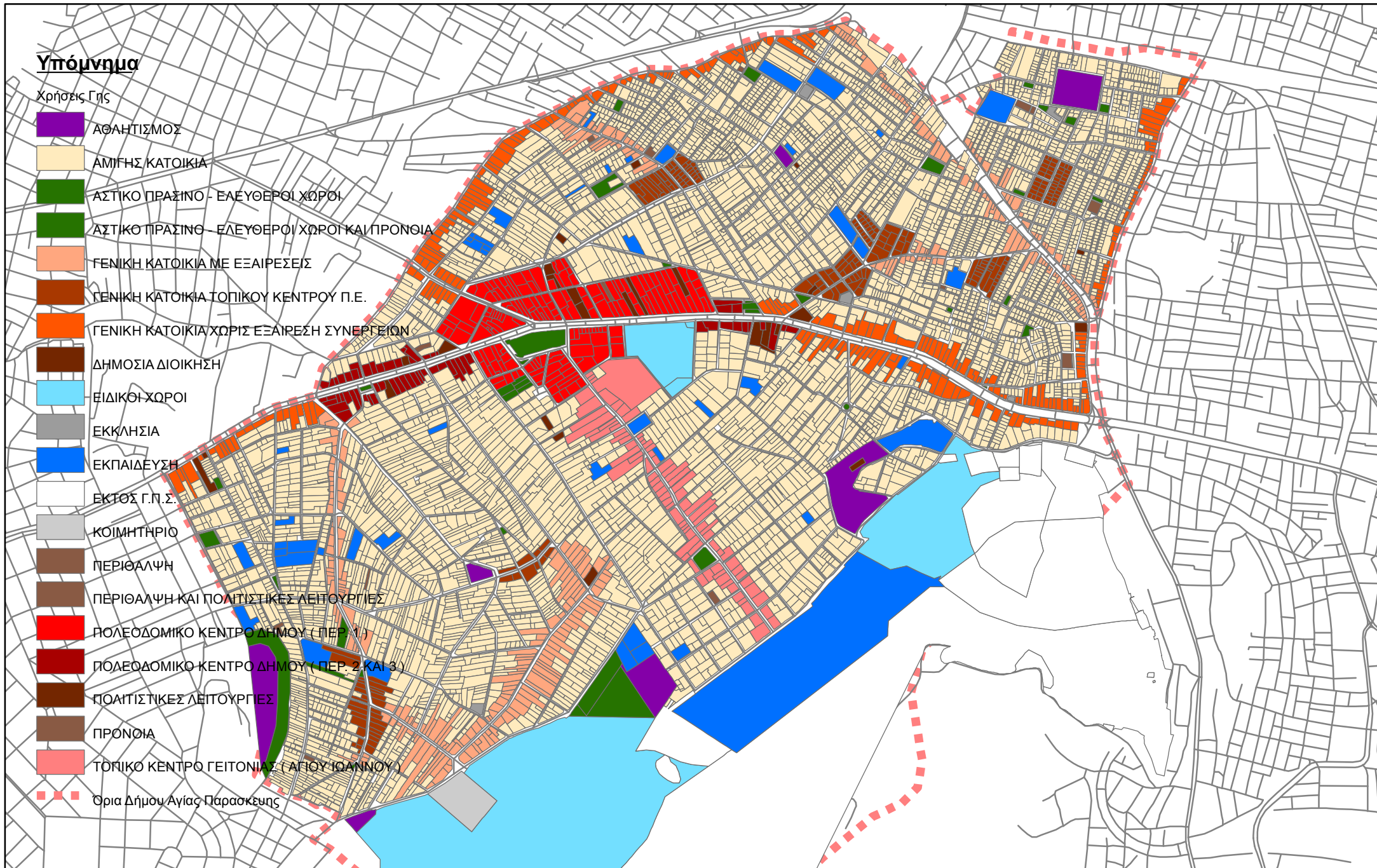
ΧΑΡΤΗΣ 4.7

ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΜΕΝΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Υπόμνημα

Χρήσεις Γης

-  ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΣ
-  ΑΜΙΓΓΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑ
-  ΑΣΤΙΚΟ ΠΡΑΣΙΝΟ - ΕΛΕΥΘΕΡΟΙ ΧΩΡΟΙ
-  ΑΣΤΙΚΟ ΠΡΑΣΙΝΟ - ΕΛΕΥΘΕΡΟΙ ΧΩΡΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑ
-  ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΜΕ ΕΞΑΙΡΕΣΕΙΣ
-  ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΤΟΠΙΚΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ Π.Ε.
-  ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑ ΧΩΡΙΣ ΕΞΑΙΡΕΣΗ ΣΥΝΕΡΓΕΙΩΝ
-  ΔΗΜΟΣΙΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗ
-  ΕΙΔΙΚΟΙ ΧΩΡΟΙ
-  ΕΚΚΛΗΣΙΑ
-  ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ
-  ΕΚΤΟΣ Γ.Π.Σ.
-  ΚΟΙΜΗΤΗΡΙΟ
-  ΠΕΡΙΟΛΨΗ
-  ΠΕΡΙΟΛΨΗ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ
-  ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΗΜΟΥ (ΠΕΡ. 1)
-  ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΗΜΟΥ (ΠΕΡ. 2 ΚΑΙ 3)
-  ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ
-  ΠΡΟΝΟΙΑ
-  ΤΟΠΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΓΕΙΤΟΝΙΑΣ (ΑΓΙΟΥ ΙΩΑΝΝΟΥ)
-  Όρια Δήμου Αγίας Παρασκευής



Στα ακόλουθα περιγράφεται η ακριβής διαδικασία με την οποία εκτιμήθηκε η χωρική κατανομή των ημερήσιων μετακινήσεων, πρώτα για της παραγόμενες μετακινήσεις και ακολούθως για τις ελκόμενες μετακινήσεις.

α) Οι Παραγόμενες Μετακινήσεις

Ως γνωστόν, ο αριθμός των μετακινήσεων που παράγονται σε μία γεωγραφική περιοχή συνδέεται άμεσα με τον αριθμό των νοικοκυριών που κατοικούν σε αυτήν (Mensebach, 1979). Για τον λόγο αυτό, ο αριθμός των νοικοκυριών είναι το μέγεθος που προτείνεται από την μεθοδολογία για την εκτίμηση των ημερήσιων παραγόμενων μετακινήσεων ανά οικοδομικό τετράγωνο. Στην περίπτωση της εφαρμογής στον Δήμο Αγίας Παρασκευής, εφόσον υπήρχαν διαθέσιμες επίσημες εκτιμήσεις για τις παραγόμενες μετακινήσεις, ο αριθμός των νοικοκυριών χρησιμοποιήθηκε απλά για την κατανομή των παραγόμενων μετακινήσεων στα οικοδομικά τετράγωνα κάθε κυκλοφοριακής ζώνης.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε έχει ως εξής : Για κάθε κυκλοφοριακή ζώνη εντοπίστηκαν (με χωρικό ερώτημα) τα οικοδομικά τετράγωνα που βρίσκονται εντός της. Για κάθε ομάδα οικοδομικών τετραγώνων που βρίσκονται εντός μιας ζώνης υπολογίστηκε το άθροισμα των αριθμών των νοικοκυριών τους. Για κάθε οικοδομικό τετράγωνο ο αριθμός των ημερήσιων παραγόμενων μετακινήσεων υπολογίστηκε ως το γινόμενο του ημερήσιου αριθμού παραγόμενων μετακινήσεων της κυκλοφοριακής ζώνης επί τον λόγο του αριθμού των νοικοκυριών του οικοδομικού τετραγώνου, προς το άθροισμα των αριθμών νοικοκυριών των οικοδομικών τετραγώνων της ζώνης :

$$P_{ij} = PZ_i * \frac{H_{ij}}{\sum_{k=1}^{n_i} H_{ik}}$$

,όπου

P_{ij} : Ημερήσιες Παραγόμενες Μετακινήσεις του Οικοδομικού Τετραγώνου j της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

PZ_i : Ημερήσιες Παραγόμενες Μετακινήσεις της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

H_{ij} : Αριθμός Νοικοκυριών του Οικοδομικού Τετραγώνου j της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

n_i : Αριθμός Οικοδομικών Τετραγώνων της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

Το αποτέλεσμα της χωρικής κατανομής των ημερήσιων παραγόμενων μετακινήσεων στα οικοδομικά τετράγωνα της περιοχής μελέτης, φαίνεται στον Χάρτη 4.8 της επόμενης σελίδας.

β) Οι Ελκόμενες Μετακινήσεις

Ο αριθμός των μετακινήσεων που έλκονται από μία γεωγραφική περιοχή συνδέεται στενά με τις χρήσεις γης που υπάρχουν στην περιοχή (Γιαννόπουλος, 1986). Για τον λόγο αυτό, το εμβαδόν κτισμένης επιφάνειας ανά χρήση γης είναι το μέγεθος που προτείνεται από την μεθοδολογία για την εκτίμηση των ημερήσιων ελκόμενων μετακινήσεων ανά οικοδομικό τετράγωνο ή οικόπεδο. Ομοίως με την περίπτωση των παραγόμενων μετακινήσεων, υπήρχαν διαθέσιμες επίσημες εκτιμήσεις και για τις ελκόμενες μετακινήσεις ανά κυκλοφοριακή ζώνη (ΟΑΣΑ,2007). Οι χρήσεις γης χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την εκτίμηση της χωρικής κατανομής των ελκόμενων μετακινήσεων ανά οικόπεδο.

Όσον αφορά στα δεδομένα των χρήσεων γης, δεν υπήρχαν διαθέσιμες πλήρεις απογραφές των υφιστάμενων χρήσεων γης, ούτε του αντίστοιχου εμβαδού κτισμένων επιφανειών. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι θεσμοθετημένες χρήσεις γης και τα αντίστοιχα εμβαδά οικοπέδων, όπως προέκυψαν από τα στοιχεία του κτηματολογίου. Ο συντελεστής δόμησης ήταν διαθέσιμος, ωστόσο σε ολόκληρη την περιοχή της Αγίας Παρασκευής, με λίγες εξαιρέσεις, έχει την τιμή 1 και συνεπώς δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα.

Πέρα από τις θεσμοθετημένες χρήσεις γης και τα αντίστοιχα εμβαδά οικοπέδων, για να εκτιμηθεί η χωρική κατανομή των ελκόμενων μετακινήσεων, είναι απαραίτητη και η γνώση του ρυθμού έλξης μετακινήσεων, αναλόγως του είδους της χρήσης γης. Ωστόσο οι κατηγορίες θεσμοθετημένων χρήσεων γης (π.χ. τοπικό κέντρο γειτονιάς, πολεοδομικό κέντρο δήμου, αμιγής κατοικία, πολιτιστικές λειτουργίες) είναι αρκετά ασαφείς και η περεταίρω μελέτη των ρυθμών έλξης μετακινήσεων ξέφευγαν από τους στόχους της εργασίας. Έτσι, για τις ανάγκες της εφαρμογής στον Δήμο Αγίας Παρασκευής, οι χρήσεις γης διακρίθηκαν μόνο σε χρήσεις αμιγούς κατοικίας και χρήσεις κέντρων ή ειδικές χρήσεις.

Η κατοικία γενικά έλκει ένα πολύ μικρό ποσοστό μετακινήσεων. Η αμιγής κατοικία, όμως, έχει και κάποιες λειτουργίες καθημερινών αναγκών (παντοπωλεία, αρτοποιία, φαρμακεία κ.α.). Οι λειτουργίες αυτές έλκουν τις μετακινήσεις των εργαζομένων και των πελατών. Οι κεντρικές λειτουργίες περιλαμβάνουν εμπορικά καταστήματα, υπεραγορές, γραφεία, τράπεζες, εστιατόρια, κέντρα διασκέδασης κ.α. που έλκουν πολύ περισσότερες μετακινήσεις από την αμιγή κατοικία. Τέλος, οι ειδικές χρήσεις, δηλαδή δημόσιες υπηρεσίες, σχολεία, αθλητικοί χώροι κ.α. επίσης

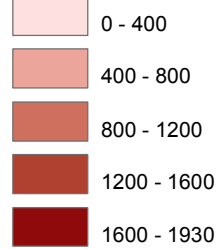
ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.8

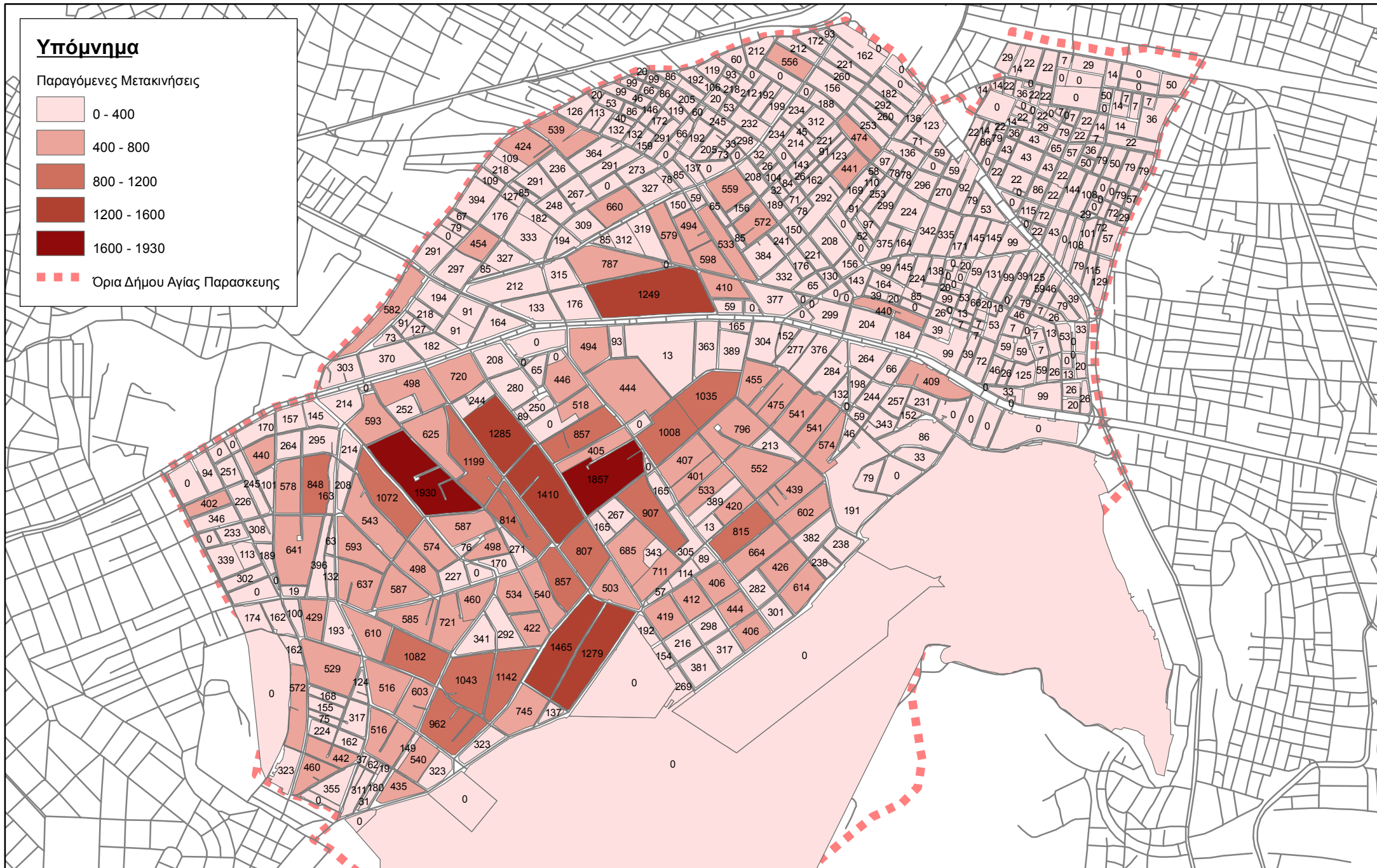
ΗΜΕΡΗΣΙΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΑΝΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΟ

Υπόμνημα

Παράγόμενες Μετακινήσεις



Ορια Δήμου Αγίας Παρασκευής



έλκουν έναν σημαντικό αριθμό μετακινήσεων. Σύμφωνα με τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη ότι το ποσοστό άλλων χρήσεων είναι πολύ μικρό στις περιοχές αμιγούς κατοικίας του Δήμου Αγίας Παρασκευής (κάτω από 1 άλλη χρήση ανά 10 χρήσεις κατοικίας), έγινε η απλοποιητική παραδοχή ότι ο λόγος του ρυθμού έλξης μετακινήσεων των περιοχών με κεντρικές ή ειδικές χρήσεις, προς τον ρυθμό έλξης μετακινήσεων των περιοχών αμιγούς κατοικίας είναι 15:1.

Η τελική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την κατανομή των ελκόμενων μετακινήσεων ανά οικόπεδο έχει ως εξής : Για κάθε κυκλοφοριακή ζώνη εντοπίστηκαν (με χωρικό ερώτημα) τα οικόπεδα που βρίσκονται εντός της. Το εμβαδό κάθε οικοπέδου πολλαπλασιάστηκε με βάρος 1 ή 15, για χρήση αμιγούς κατοικίας, ή κεντρική / ειδική λειτουργία, αντίστοιχα. Για κάθε ομάδα οικοπέδων που βρίσκονται εντός μιας ζώνης υπολογίστηκε το άθροισμα των εμβαδών επί τα βάρη. Τελικά, για κάθε οικόπεδο, ο αριθμός των ημερήσιων ελκόμενων μετακινήσεων υπολογίστηκε ως το γινόμενο του αριθμού ελκόμενων μετακινήσεων της κυκλοφοριακής ζώνης επί τον λόγο του εμβαδού επί το βάρος του οικοπέδου, προς το άθροισμα των όλων των εμβαδών επί τα βάρη των οικοπέδων της ζώνης :

$$A_{ij} = AZ_i * \frac{E_{ij} * W_{ij}}{\sum_{k=1}^{n_i} E_{ik} * W_{ik}}$$

,με

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{για αμιγή κατοικία} \\ 15, & \text{για κεντρική / ειδική λειτ.} \end{cases}$$

,όπου

A_{ij} : Ημερήσιες Ελκόμενες Μετακινήσεις του Οικοπέδου j της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

AZ_i : Ημερήσιες Ελκόμενες Μετακινήσεις της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

E_{ij} : Εμβαδόν οικοπέδου j της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

n_i : Αριθμός Οικοπέδων της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

W_{ij} : Βάρος (Ρυθμός Έλξης Μετακινήσεων) του Οικοπέδου j της Κυκλοφοριακής Ζώνης i

Το αποτέλεσμα της χωρικής κατανομής των ημερήσιων ελκόμενων μετακινήσεων στα οικόπεδα της περιοχής μελέτης, φαίνεται στον Χάρτη 4.9 της επόμενης σελίδας.

γ) Η Κατανομή της Ζήτησης στο Δίκτυο

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα, το άθροισμα του αριθμού των παραγόμενων και ελκόμενων μετακινήσεων μιας τυπικής καθημερινής, όπως προέκυψαν από τις διαδικασίες των προηγούμενων παραγράφων, εκφράζουν την ζήτηση για μετακινήσεις, που απαιτείται από την μεθοδολογία. Ωστόσο η παραπάνω ζήτηση, που είναι δυνατόν να υπολογιστεί πλέον ανά οικοδομικό τετράγωνο (άθροισμα παραγόμενων μετακινήσεων οικοδομικού τετραγώνου και ελκόμενων μετακινήσεων των οικοπέδων του τετραγώνου), θα πρέπει να κατανομηθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο σε σημεία του Δικτύου Κυκλοφορίας Πεζών. Η κατανομή αυτή είναι απαραίτητη για την Ανάλυση Χωροθέτησης - Κατανομής του τρίτου βήματος της μεθοδολογίας (Χωροθέτηση Νέων Στάσεων).

Για την κατανομή της ζήτησης σε σημεία του δικτύου, η ζήτηση κάθε οικοδομικού τετράγωνου αποδόθηκε σε όλους τους κόμβους του δικτύου που εφάπτονται στην περίμετρο του. Η απόδοση έγινε ανάλογα με το εμβαδόν που αντιστοιχεί σε κάθε κόμβο, δηλαδή το εμβαδόν που περικλείεται από τις δύο πλευρές του τετραγώνου που συνδέονται στον εξεταζόμενο κόμβο καθώς και τις ευθείες που δημιουργούνται, εάν χαραχθούν τα πολύγωνα Thiessen¹. Έτσι, με την βοήθεια των πολυγώνων Thiessen, υπολογίστηκε το εμβαδόν οικοδομικών τετραγώνων και οικοπέδων, που αντιστοιχούν σε κάθε κόμβο και αθροίστηκαν οι ανάλογες παραγόμενες και ελκόμενες μετακινήσεις. Οι κόμβοι αυτοί του δικτύου, με την αντίστοιχη ζήτηση για μετακινήσεις, αποτέλεσαν και τα σημεία ζήτησης στην ανάλυση χωροθέτησης – κατανομής.

Το αποτέλεσμα της χωρικής κατανομής της ζήτησης στα σημεία ζήτησης παρουσιάζεται γραφικά στον Χάρτη 4.10 της επόμενης σελίδας. Στον ίδιο χάρτη απεικονίζονται και τα πολύγωνα Thiessen που χρησιμοποιήθηκαν.

¹ Για ένα σύνολο σημείων, μπορούν να οριστούν τα πολύγωνα Thiessen, των οποίων τα όρια καθορίζουν την περιοχή που βρίσκεται πλησιέστερα σε κάθε σημείο σε σχέση με τα υπόλοιπα. Γεωμετρικά ορίζονται με την βοήθεια των μεσοκαθέτων, όλων των ευθειών ανάμεσα στα σημεία.

ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.10

ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΛΚΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ (ΤΕΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ) ΑΝΑ ΣΗΜΕΙΟ ΖΗΤΗΣΗΣ

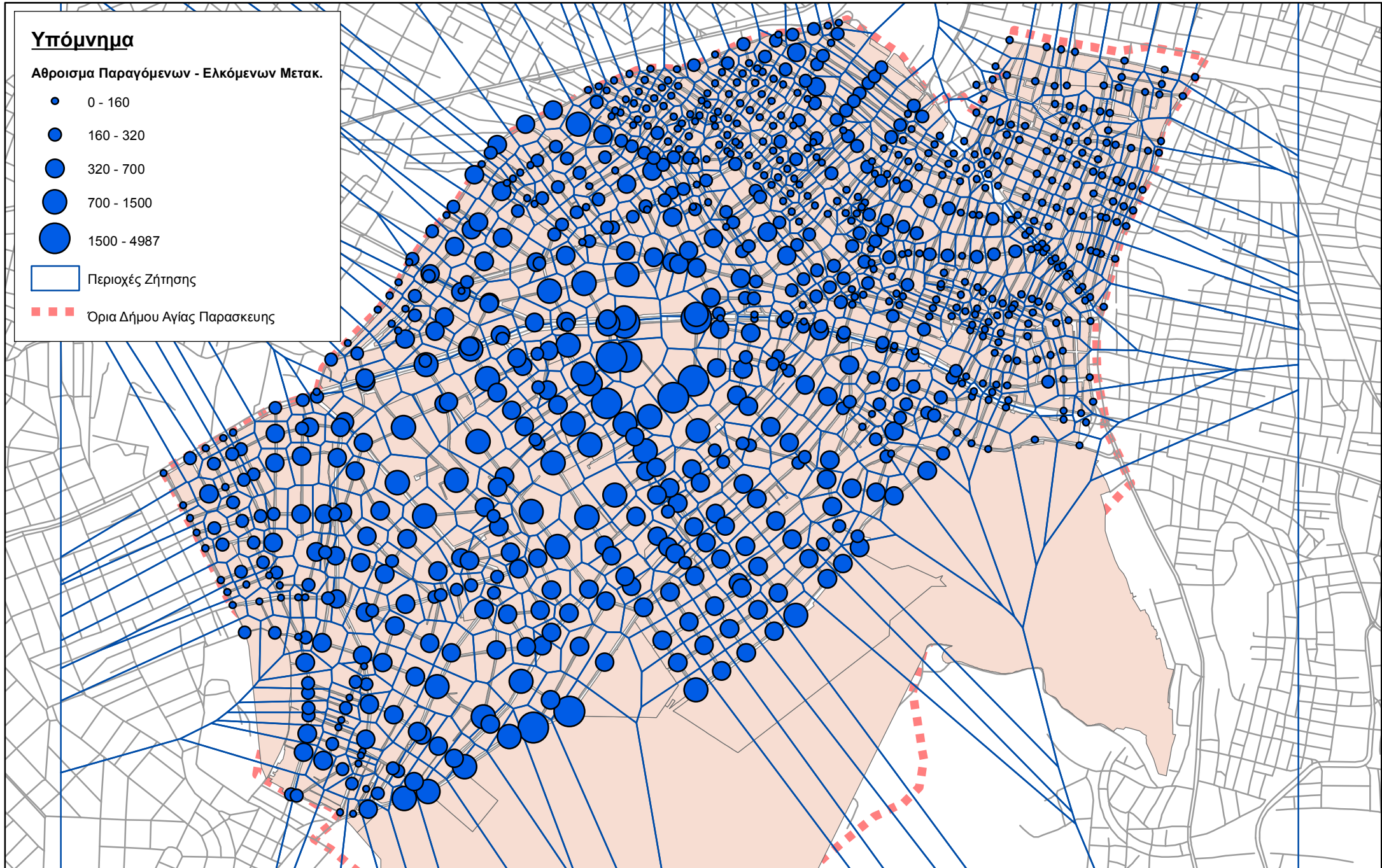
Υπόμνημα

Αθροισμα Παραγόμενων - Ελκόμενων Μετακ.

- 0 - 160
- 160 - 320
- 320 - 700
- 700 - 1500
- 1500 - 4987

▭ Περιοχές Ζήτησης

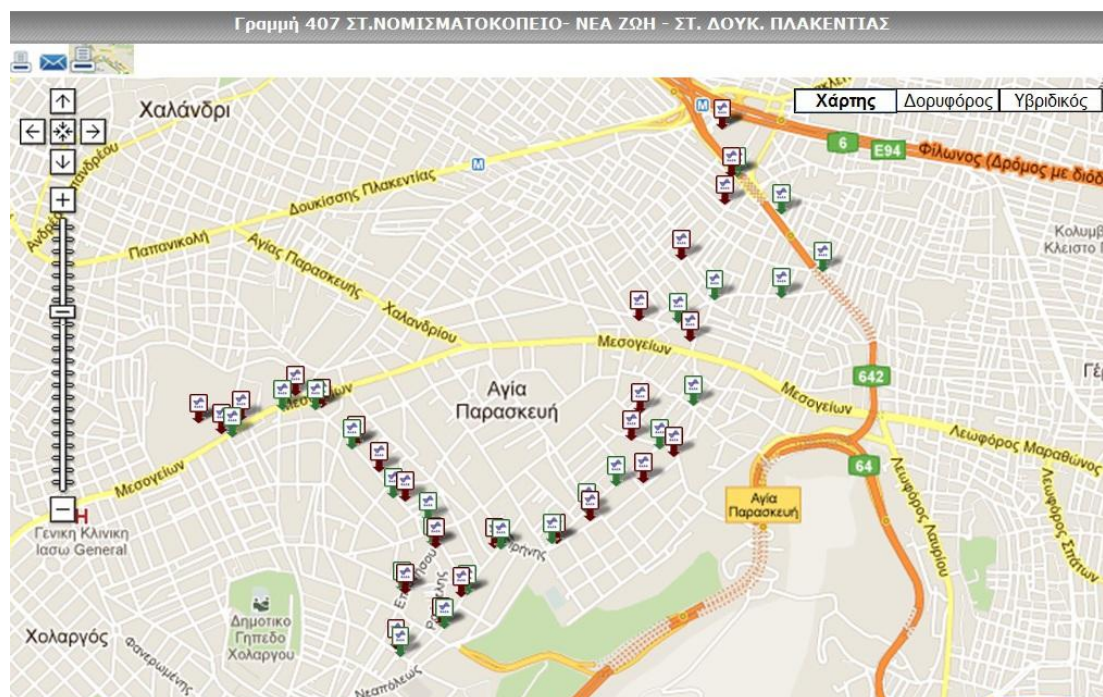
▬▬▬ Όρια Δήμου Αγίας Παρασκευής



4.2.4 Τα Δεδομένα των Υφιστάμενων Δημοσίων Συγκοινωνιών

Για την εκτέλεση του πρώτου βήματος της μεθοδολογίας (Αξιολόγηση Στάσεων) είναι απαραίτητη η γνώση των θέσεων των στάσεων (και σταθμών) του υφιστάμενου δικτύου Δημοσίων Συγκοινωνιών. Ακόμη, στο τελευταίο βήμα της μεθοδολογίας (Ανασχεδιασμός Γραμμών που Τροποποιούνται) απαιτούνται τα ακριβή στοιχεία των διαδρομών των γραμμών που τροποποιούνται (ακριβείς θέσεις στάσεων, οδικά τμήματα από τα οποία διέρχονται οι γραμμές).

Τα παραπάνω στοιχεία, καθώς ακόμη και οι πλήρεις πίνακες δρομολογίων για κάθε γραμμή (από τους οποίους προκύπτουν και οι συχνότητες των γραμμών), ήταν διαθέσιμα από τον ΟΑΣΑ. Οι ακριβείς θέσεις των στάσεων έχουν οργανωθεί και σε webGIS, το οποίο δημοσιεύεται και στον δικτυακό τόπο του οργανισμού (Σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2 : Απόσπασμα του webGIS του ΟΑΣΑ (στάσεις γραμμής 407)

ΠΗΓΗ : <http://www.oasa.gr>

Στον Χάρτη 4.11 της επόμενης σελίδας φαίνονται οι θέσεις των υφιστάμενων στάσεων λεωφορειακών γραμμών και σταθμών του μητροπολιτικού σιδηροδρόμου, όπως μοντελοποιήθηκαν, σε ένα επίπεδο σημειακών οντοτήτων (αρχείο shapefile), για την χρήση τους στο πρώτο βήμα της μεθοδολογίας. Για κάθε στάση χρησιμοποιήθηκε μία θέση, ακόμη και αν τα λεωφορεία σταματούν σε λίγο διαφορετικές θέσεις κατά την μία και την άλλη κατεύθυνση.

Στον Πίνακα 4.3 δίνεται ένα παράδειγμα πίνακα στάσεων και ένα παράδειγμα πίνακα αναχωρήσεων για την γραμμή 407, με κατεύθυνση από Σταθμό Νομισματοκοπέιο προς Σταθμό Δουκίσσης Πλακεντίας. Τα στοιχεία αυτά, που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση των στάσεων σε επίπεδο σημειακών οντοτήτων, είναι δημοσιευμένα και για όλες τις γραμμές του ΟΑΣΑ, στον αντίστοιχο δικτυακό τόπο.

<u>ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΤΑΣΕΩΝ</u>		<u>ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΧΩΡΗΣΕΩΝ</u>				
407 ΣΤ.ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ- ΝΕΑ ΖΩΗ - ΣΤ. ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ		407 ΣΤ.ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ- ΝΕΑ ΖΩΗ - ΣΤ. ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ				
ΑΑ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	Δευτέρα εως Παρασκευή (από ΣΤ. ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ)				
1	ΣΤ. ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΑ			
2	9η ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ	5	20	45		
3	ΤΟΜΠΡΑ	6	10	35		
4	1η Ν.ΖΩΗΣ	7	0	20	45	
5	2η Ν.ΖΩΗΣ	8	10	35		
6	3η Ν.ΖΩΗΣ	9	0	25	45	
7	ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟ	10	0	15	35	55
8	ΕΠΤΑΝΗΣΟΥ	11	10	30	45	
9	4η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	12	5	25	45	
10	5η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	13	0	20	40	55
11	6η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	14	15	35	50	
12	7η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	15	10	30	50	
13	8η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	16	10	30	55	
14	9η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	17	20	45		
15	ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗΣ	18	10	35		
16	ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΕΟΥΣ	19	0	25	50	
17	ΠΛ.ΥΔΡΑΣ	20	15	40		
18	ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ - ΑΡΧΗ	21	10	35		
19	1η ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ	22	0	25	50	
20	2η ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ	23	20			
21	ΑΓ.ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ					
22	ΑΓ.ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ					
23	ΠΑΠΑΡΗΓΟΠΟΥΛΟΥ					
24	ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ					

Πίνακας 4.3 : Παράδειγμα Πίνακα Στάσεων και Πίνακα Αναχωρήσεων Γραμμής ΟΑΣΑ

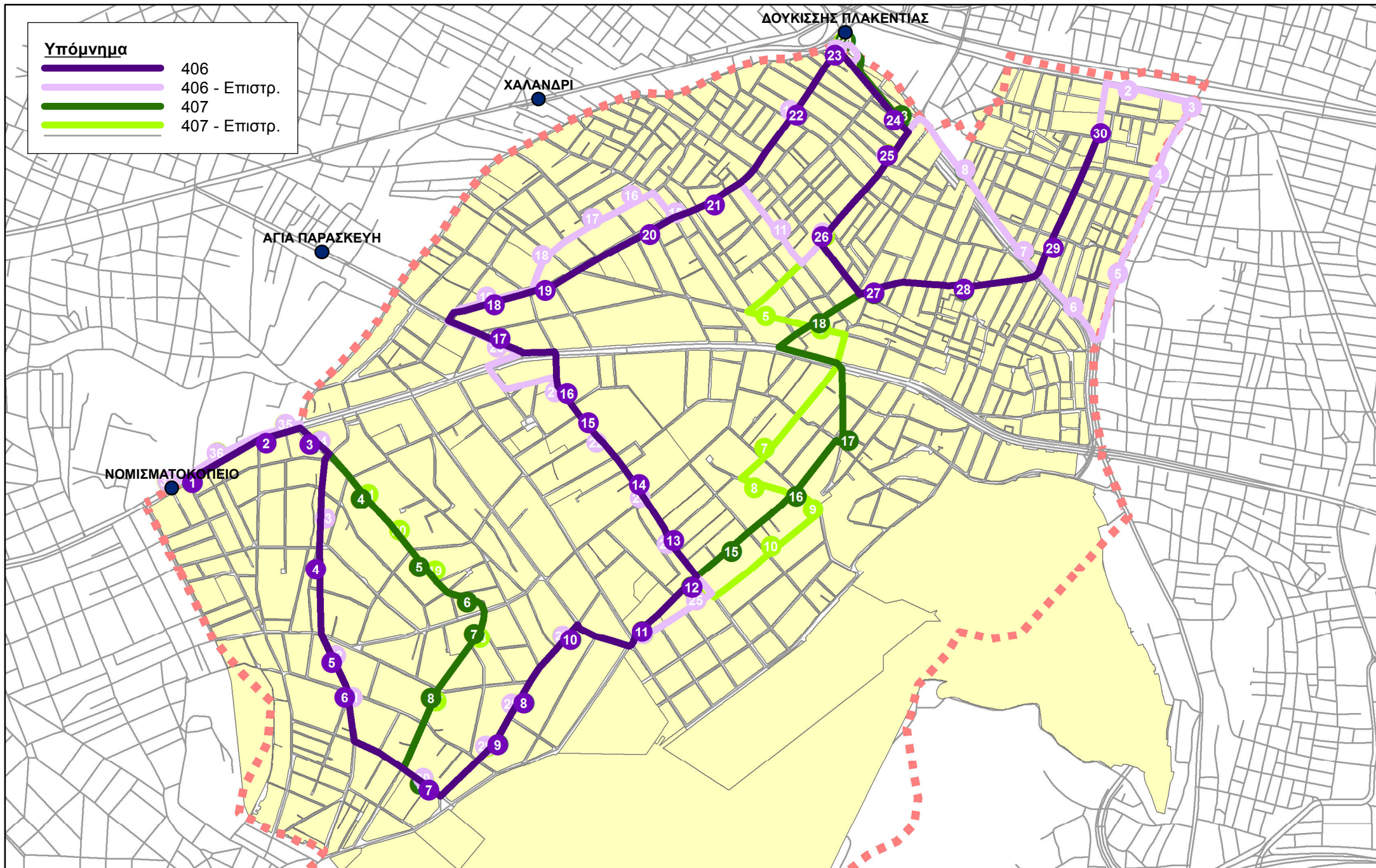
ΠΗΓΗ : <http://www.oasa.gr>

Τέλος, στον Χάρτη 4.12, της επόμενης σελίδας, φαίνονται οι διαδρομές και οι ακριβείς θέσεις στάσεων για τις υφιστάμενες λεωφορειακές γραμμές 406 και 407, οι οποίες και τροποποιήθηκαν στο τέταρτο βήμα της μεθοδολογίας. Για κάθε στάση μοντελοποιήθηκαν οι ακριβείς θέσεις (των πινακίδων στάσεων και των στεγάστρων), όπου σταματούν τα λεωφορεία κατά την κατεύθυνση από αφετηρία προς τέρμα και κατά την αντίστροφη κατεύθυνση.

ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.12

ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΠΟΥ ΤΡΟΠΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ



4.3 Η Εφαρμογή της Μεθοδολογίας

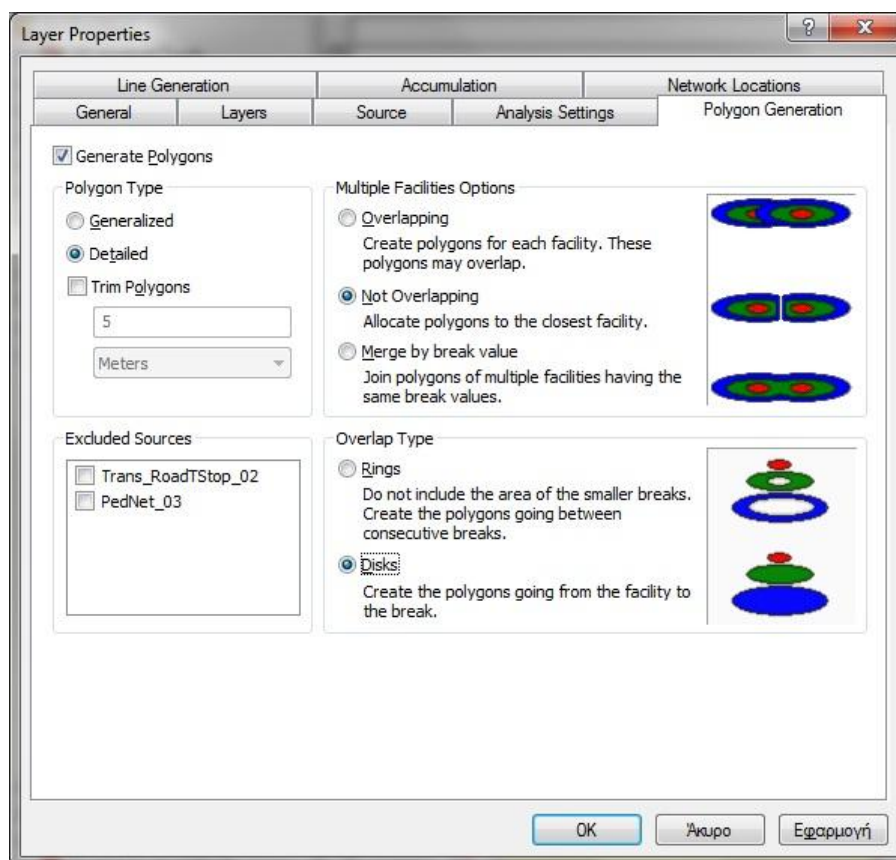
Στα ακόλουθα περιγράφονται οι λεπτομέρειες της εφαρμογής των τεσσάρων βημάτων της μεθοδολογίας, με τα δεδομένα του Δήμου Αγίας Παρασκευής, που περιγράφηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο και με την χρήση του λογισμικού Network Analyst του ArcGIS 10.

4.3.1 Η Αξιολόγηση των Στάσεων

Στο πρώτο βήμα της μεθοδολογίας, υπολογίστηκαν περιοχές εξυπηρέτησης για όλες τις υφιστάμενες στάσεις λεωφορείων, καθώς και τους τέσσερεις σταθμούς του μητροπολιτικού σιδηρόδρομου, με την χρήση του εργαλείου *Make Service Area Layer* του Network Analyst. Το δίκτυο επί του οποίου εφαρμόστηκε ο υπολογισμός ήταν το Δίκτυο Πεζών *Agia_Paraskevi_PedNet_ND*, που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 4.2.1.. Ως σημεία εξυπηρέτησης, θεωρήθηκαν οι θέσεις των υφιστάμενων στάσεων λεωφορείων, από το αντίστοιχο επίπεδο που δημιουργήθηκε (βλ. υποκεφάλαιο 4.2.4), καθώς και οι θέσεις των υφιστάμενων σταθμών του μητροπολιτικού σιδηρόδρομου. Ως μέγεθος αντίστασης (*impedance*) για την χρήση των σημείων εξυπηρέτησης, θεωρήθηκε ο χρόνος πεζή διαδρομής, με μέγιστο όριο για την δημιουργία των περιοχών, τα 5 λεπτά.

Στο Σχήμα 4.3, της επόμενης σελίδας, φαίνονται οι παράμετροι του εργαλείου *Make Service Area Layer* που χρησιμοποιήθηκαν για τον σχεδιασμό των πολυγώνων των περιοχών εξυπηρέτησης. Επιλέχτηκαν πολύγωνα χωρίς αλληλοεπικάλυψη (*not overlapping*), αφού κάθε στάση ανταγωνίζεται με τις υπόλοιπες, και με μορφή δίσκων (*disks*), στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν περισσότερα του ενός όρια (π.χ. χρόνος διαδρομής 3 και 5 λεπτά). Ακόμη, χρησιμοποιήθηκε ο λεπτομερέστερος δυνατός τύπος πολυγώνων (*detailed*).

Το αποτέλεσμα του υπολογισμού των περιοχών εξυπηρέτησης για όλες τις υφιστάμενες στάσεις λεωφορείων και τους υφιστάμενους σταθμούς του μητροπολιτικού σιδηρόδρομου της περιοχής μελέτης, παρουσιάζεται στον Χάρτη 4.13 της μεθεπόμενης σελίδας. Στον χάρτη φαίνονται οι θέσεις των στάσεων με τις ονομασίες τους και οι περιοχές εξυπηρέτησης, με μέγιστο κόστος διαδρομής τα 3 και τα 5 λεπτά περπατήματος.



Σχήμα 4.3 : Παράμετροι του Εργαλείου *Make Service Area Layer*

ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

Τα πολύγωνα των περιοχών εξυπηρέτησης, που δημιουργήθηκαν για κάθε στάση και σταθμό, με μέγιστο κόστος διαδρομής τα 5 λεπτά περπάτημα, στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό (εργαλείο *Spatial Join*), των σημείων ζήτησης (βλ. υποκεφάλαιο 4.2.3 γ) που βρίσκονται εντός τους. Για κάθε πολύγωνο αθροίστηκε η ζήτηση (άθροισμα ημερήσιων παραγόμενων και ελκόμενων μετακινήσεων) όλων των σημείων ζήτησης που βρέθηκαν εντός του και έτσι προέκυψε η ζήτηση που είναι δυνατόν να εξυπηρετηθεί από κάθε υφιστάμενη στάση ή σταθμό.

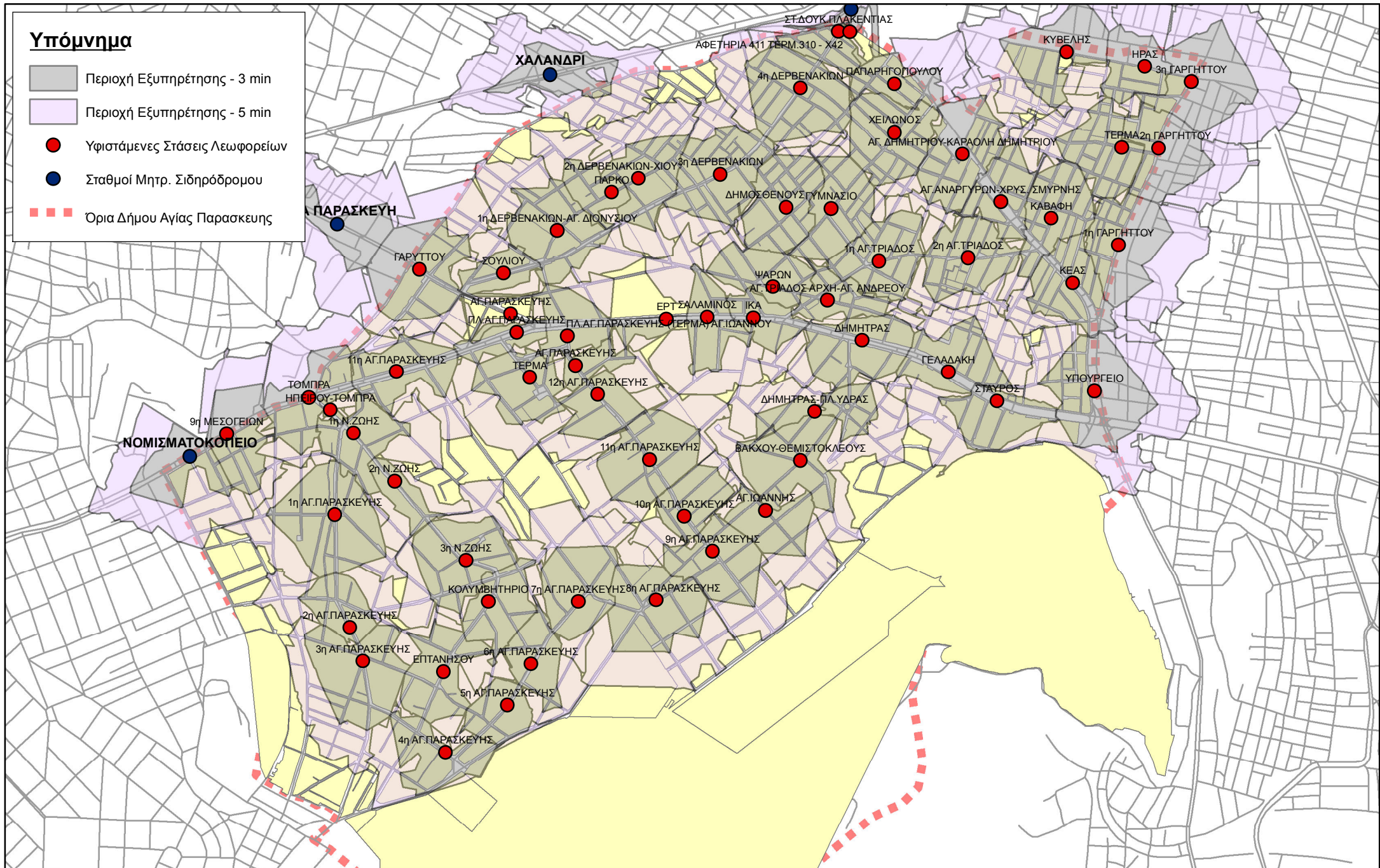
Το τελικό αποτέλεσμα της εξυπηρετούμενης ζήτησης για τις υφιστάμενες στάσεις και σταθμούς απεικονίζεται και στον Χάρτη 4.14, που ακολουθεί. Οι στάσεις και σταθμοί έχουν ταξινομηθεί και σε 6 κατηγορίες ανάλογα με την εξυπηρετούμενη ζήτησή τους. Με τον υπολογισμό της εξυπηρετούμενης ζήτησης είναι δυνατή πλέον η αξιολόγηση και η κατάταξη τους.

ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.13 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΞΥΠΗΡΕΤΗΣΗΣ ΑΠΟ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΕΝΤΟΣ 3 ΚΑΙ 5 ΛΕΠΤΩΝ (63 ΣΤΑΣΕΙΣ, 4 ΣΤΑΘΜΟΙ)

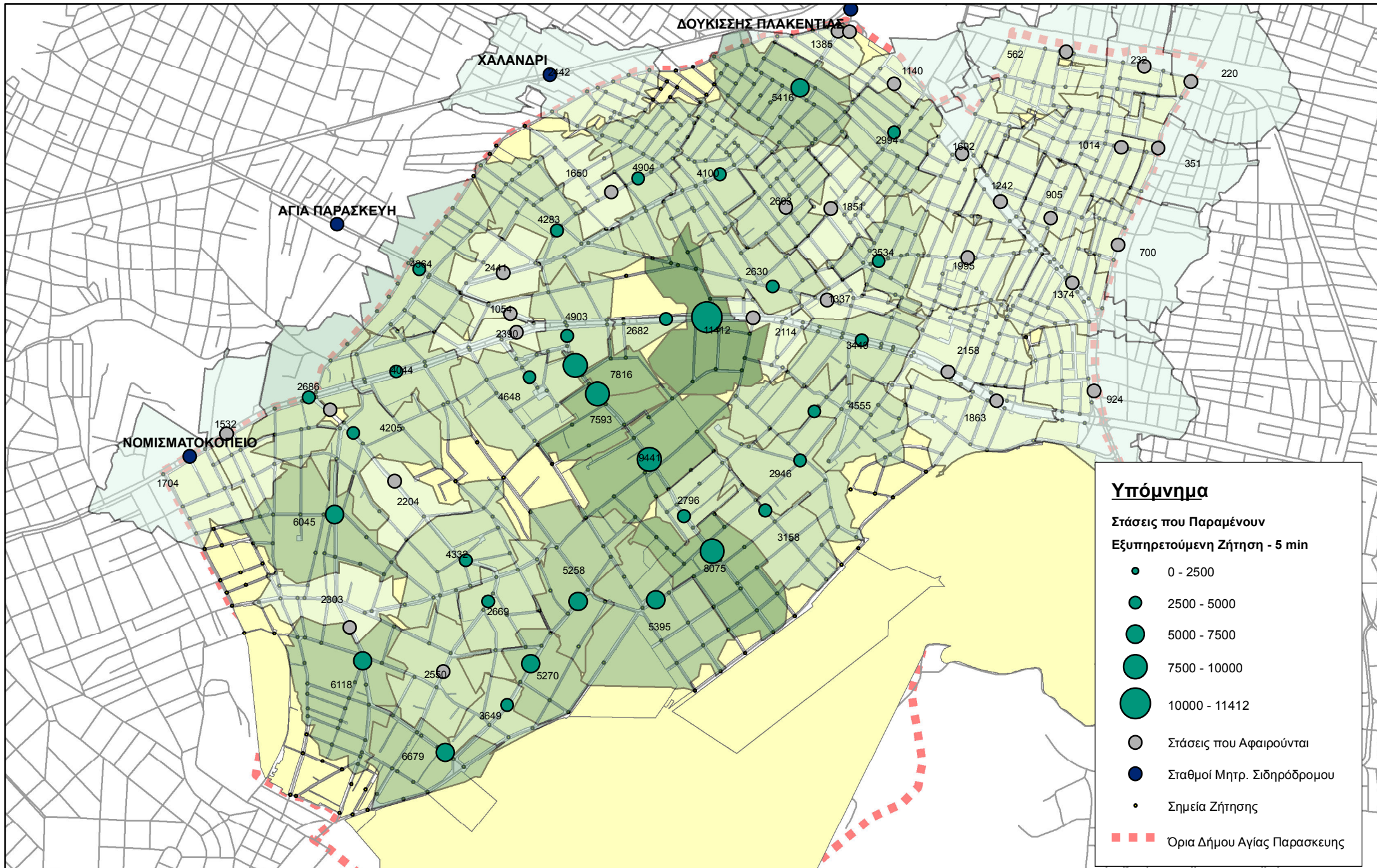
Υπόμνημα

- Περιοχή Εξυπηρέτησης - 3 min
- Περιοχή Εξυπηρέτησης - 5 min
- Υφιστάμενες Στάσεις Λεωφορείων
- Σταθμοί Μητρ. Σιδηρόδρομου
- Όρια Δήμου Αγίας Παρασκευής



ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.14 ΕΞΥΠΗΡΕΤΟΥΜΕΝΗ ΖΗΤΗΣΗ ΑΝΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΣΤΑΣΗ Η ΣΤΑΘΜΟ ΕΝΤΟΣ 5 min - ΣΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΑΙΡΟΥΝΤΑΙ (30 ΣΤΑΣΕΙΣ)



4.3.2 Η Επιλογή των Στάσεων που Παραμένουν

Στο δεύτερο βήμα της μεθοδολογίας, οι υφιστάμενες στάσεις λεωφορειακών γραμμών κατατάχθηκαν κατά φθίνουσα σειρά εξυπηρετούμενης ζήτησης. Η κατάταξη αυτή φαίνεται στο Σχήμα 4.6.

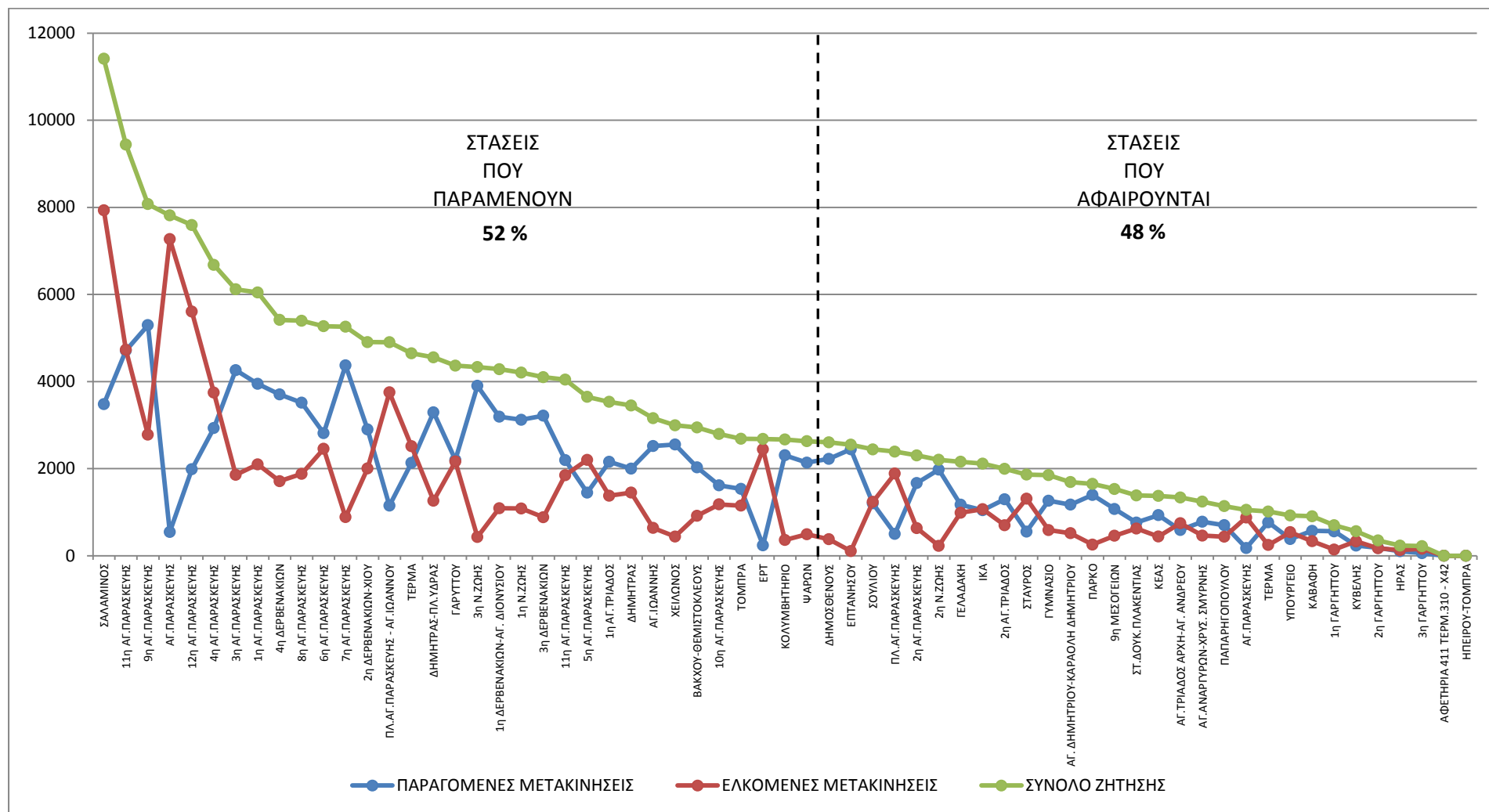
A/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΤΑΣΗΣ	ΠΑΡ. ΜΕΤ.	ΕΛΚ. ΜΕΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
1	ΣΑΛΑΜΙΝΟΣ	3480,55	7931,53	11412,08
2	11η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	4710,94	4729,7	9440,64
3	9η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	5295,22	2779,77	8074,99
4	ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	545,34	7270,17	7815,51
5	12η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1986,21	5606,48	7592,69
6	4η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2931,94	3746,59	6678,53
7	3η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	4260,65	1857,63	6118,28
8	1η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3947,45	2097,61	6045,06
9	4η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ	3704,17	1711,6	5415,77
10	8η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3514,63	1880,13	5394,76
11	6η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2814,6	2455,65	5270,25
12	7η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	4371,46	887,01	5258,47
13	2η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ-ΧΙΟΥ	2900,23	2003,91	4904,14
14	ΠΛ.ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ - ΑΓ.ΙΩΑΝΝΟΥ	1150,76	3751,93	4902,69
15	ΤΕΡΜΑ	2132,54	2514,98	4647,52
16	ΔΗΜΗΤΡΑΣ-ΠΛ.ΥΔΡΑΣ	3292,69	1262,31	4555
17	ΓΑΡΥΤΤΟΥ	2199,92	2164,36	4364,28
18	3η Ν.ΖΩΗΣ	3902,2	430,11	4332,31
19	1η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ-ΑΓ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ	3192,63	1090,01	4282,64
20	1η Ν.ΖΩΗΣ	3121,09	1084,15	4205,24
21	3η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ	3216,45	883,54	4099,99
22	11η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2195,17	1848,48	4043,65
23	5η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1448,48	2200,06	3648,54
24	1η ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ	2156,94	1377,33	3534,27
25	ΔΗΜΗΤΡΑΣ	1999,57	1449,82	3449,39
26	ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗΣ	2518,63	639,2	3157,83
27	ΧΕΙΛΩΝΟΣ	2554,01	440,08	2994,09
28	ΒΑΚΧΟΥ-ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΕΟΥΣ	2029,04	916,57	2945,61
29	10η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1615,84	1179,89	2795,73
30	ΤΟΜΠΡΑ	1535,05	1150,64	2685,69
31	ΕΡΤ	238,5	2443,32	2681,82
32	ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟ	2307,39	361,66	2669,05

Πίνακας 4.4 : Κατάταξη Στάσεων κατά Φθίνουσα Σειρά Εξυπηρετούμενης Ζήτησης

Α/Α	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΣΤΑΣΗΣ	ΠΑΡ. ΜΕΤ.	ΕΛΚ. ΜΕΤ.	ΣΥΝΟΛΟ
33	ΨΑΡΩΝ	2137,47	492,71	2630,18
34	ΔΗΜΟΣΘΕΝΟΥΣ	2223,71	379,59	2603,3
35	ΕΠΤΑΝΗΣΟΥ	2443,56	106,62	2550,18
36	ΣΟΥΛΙΟΥ	1203,28	1237,72	2441
37	ΠΛ.ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	501,56	1888,29	2389,85
38	2η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1669,24	633,97	2303,21
39	2η Ν.ΖΩΗΣ	1977,51	226,02	2203,53
40	ΓΕΛΑΔΑΚΗ	1172,16	986,33	2158,49
41	ΙΚΑ	1045,42	1068,9	2114,32
42	2η ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ	1295,89	699,55	1995,44
43	ΣΤΑΥΡΟΣ	553,35	1310,13	1863,48
44	ΓΥΜΝΑΣΙΟ	1262,54	588,53	1851,07
45	ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ-ΚΑΡΑΟΛΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	1173,63	518,34	1691,97
46	ΠΑΡΚΟ	1394,94	255,13	1650,07
47	9η ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ	1072,61	459,03	1531,64
48	ΣΤ.ΔΟΥΚ.ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ	760,93	623,59	1384,52
49	ΚΕΑΣ	932,58	441,45	1374,03
50	ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ ΑΡΧΗ-ΑΓ. ΑΝΔΡΕΟΥ	590,55	746,52	1337,07
51	ΑΓ.ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ-ΧΡΥΣ. ΣΜΥΡΝΗΣ	780,52	461,69	1242,21
52	ΠΑΠΑΡΗΓΟΠΟΥΛΟΥ	702,49	437,05	1139,54
53	ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	176,63	876,93	1053,56
54	ΤΕΡΜΑ	766,35	247,71	1014,06
55	ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ	382,86	541,45	924,31
56	ΚΑΒΑΦΗ	570,62	334,07	904,69
57	1η ΓΑΡΓΗΤΤΟΥ	559,13	141,03	700,16
58	ΚΥΒΕΛΗΣ	232,69	329,48	562,17
59	2η ΓΑΡΓΗΤΤΟΥ	179,87	171,31	351,18
60	ΗΡΑΣ	102,99	128,89	231,88
61	3η ΓΑΡΓΗΤΤΟΥ	58,47	161,03	219,5
62	ΑΦΕΤΗΡΙΑ 411 ΤΕΡΜ.310 - Χ42	0	0	0
63	ΗΠΕΙΡΟΥ-ΤΟΜΠΡΑ	0	0	0

Πίνακας 4.4 : Κατάταξη Στάσεων κατά Φθίνουσα Σειρά Εξυπηρετούμενης Ζήτησης
(Συνέχεια)

Η Κατάταξη του σχήματος 4.6. παρουσιάζεται και γραφικά στο διάγραμμα 4.1 της επόμενης σελίδας.



Διάγραμμα 4.1 : Κατάταξη Στάσεων κατά Φθίνουσα Σειρά Εξυπηρετούμενης Ζήτησης, ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Ms – Excel 2007

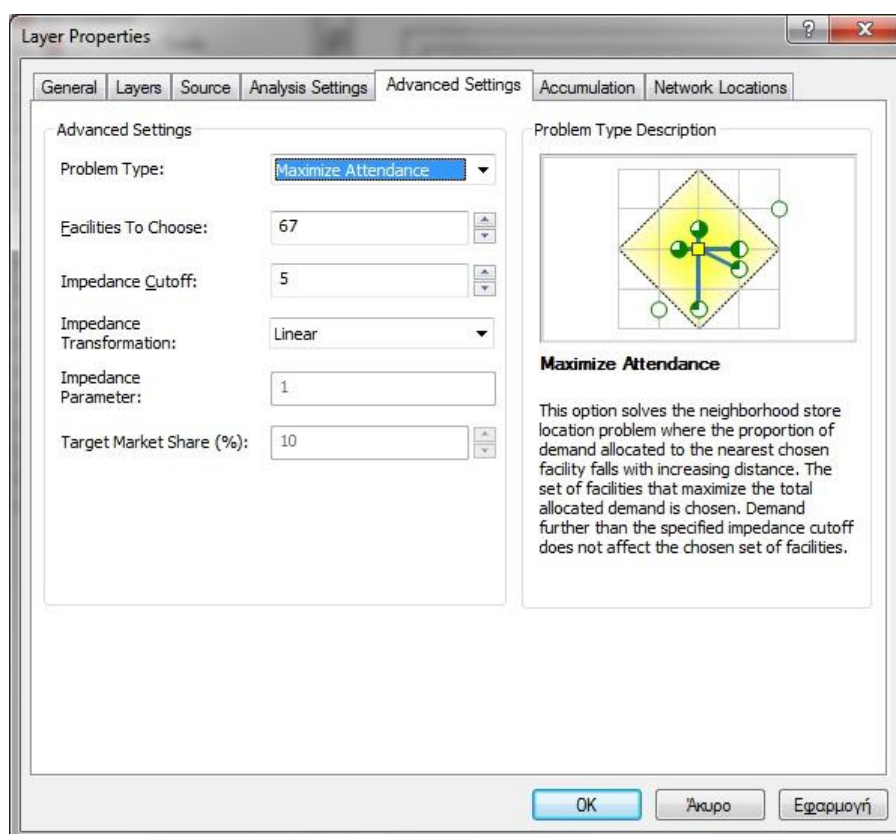
Όπως προκύπτει από το Διάγραμμα 4.1, η εξυπηρετούμενη ζήτηση των υφιστάμενων στάσεων παρουσιάζει μεγάλο εύρος τιμών από 0 έως και περίπου 11.500 μετακινήσεις, με σημαντική διακύμανση, αφού η τυπική απόκλιση ανέρχεται σε περίπου 2400 μετακινήσεις, δηλαδή στο 74% του μέσου όρου εξυπηρετούμενης ζήτησης των στάσεων. Υπάρχουν στάσεις που είναι δυνατόν να εξυπηρετήσουν πάνω από 6.000 μετακινήσεις ημερησίως (Σαλαμίνος, 11^η Αγίας Παρασκευής, 9^η Αγίας Παρασκευής) και στάσεις που η θέση τους δεν εξυπηρετεί παρά ελάχιστες μετακινήσεις (Ηρας, Ηπείρου–Τόμπρα).

Ακόμη, στο διάγραμμα παρουσιάζεται και η σύνθεση της ζήτησης από παραγόμενες και ελκόμενες μετακινήσεις. Υπάρχουν στάσεις, που το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης που παρουσιάζουν οφείλεται στις μετακινήσεις που έλκονται στην περιοχή, όπως η στάση Σαλαμίνος (70% ελκόμενες μετακινήσεις), που εξυπηρετεί την Ελληνική Ραδιοφωνία και Τηλεόραση (ΕΡΤ), ή η στάση Αγίας Παρασκευής (93% ελκόμενες μετακινήσεις), που βρίσκεται επί της πλατείας Αγίας Παρασκευής, όπου βρίσκονται αρκετές χρήσεις αναψυχής και εμπορικές (εστιατόρια, αναψυκτήρια, καταστήματα). Αντίθετα, σε άλλες στάσεις η ζήτηση οφείλεται κυρίως στις μετακινήσεις που παράγονται στην περιοχή, όπως στην περίπτωση των στάσεων 3^η Αγίας Παρασκευής (70% παραγόμενες μετακινήσεις) και 7^η Αγίας Παρασκευής (83% παραγόμενες μετακινήσεις), που βρίσκονται σε πυκνοκατοικημένες περιοχές.

Από τις 63 υφιστάμενες στάσεις του διαγράμματος 4.1, τελικά επιλέχθηκαν να διατηρηθούν οι πρώτες 33 και να αφαιρεθούν οι υπόλοιπες 30. Με την επιλογή αυτή, διατηρήθηκε περίπου το 52% των υφιστάμενων στάσεων, που βρίσκεται εντός του προτεινόμενων από την μεθοδολογία ορίων (50 – 60%), για λόγους συνέχειας με το αρχικό δίκτυο λεωφορειακών γραμμών.

4.3.3 Η Χωροθέτηση Νέων Στάσεων

Στο τρίτο βήμα της μεθοδολογίας εφαρμόστηκε η ανάλυση χωροθέτησης – κατανομής, με στόχο την επιλογή 30 νέων στάσεων λεωφορείων, στην θέση των 30 στάσεων που αφαιρέθηκαν στο προηγούμενο βήμα. Η Ανάλυση έγινε με την χρήση του εργαλείου *Make New Location – Allocation Layer* του Network Analyst. Το δίκτυο επί του οποίου εφαρμόστηκε ο υπολογισμός ήταν το Δίκτυο Πεζών *Agia_Paraskevi_PedNet_ND*, που χρησιμοποιήθηκε και στο πρώτο βήμα της μεθοδολογίας. Ως υποψήφια σημεία εξυπηρέτησης (candidate facilities), θεωρήθηκαν όλες οι υποψήφιες θέσεις στάσεων λεωφορείων, που περιγράφηκαν στο υποκεφάλαιο 4.2.2. Ως απαιτούμενα σημεία εξυπηρέτησης (required facilities), θεωρήθηκαν οι 33 στάσεις που επιλέχθηκαν να παραμείνουν στο δεύτερο βήμα της μεθοδολογίας, καθώς και οι 4 σταθμοί του μητροπολιτικού σιδηρόδρομου. Τέλος, ως σημεία ζήτησης καταχωρήθηκαν το 845 σημεία ζήτησης που προσδιορίστηκαν στο υποκεφάλαιο 4.2.3..



Σχήμα 4.4 : Παράμετροι του Εργαλείου *Make Location - Allocation Layer*

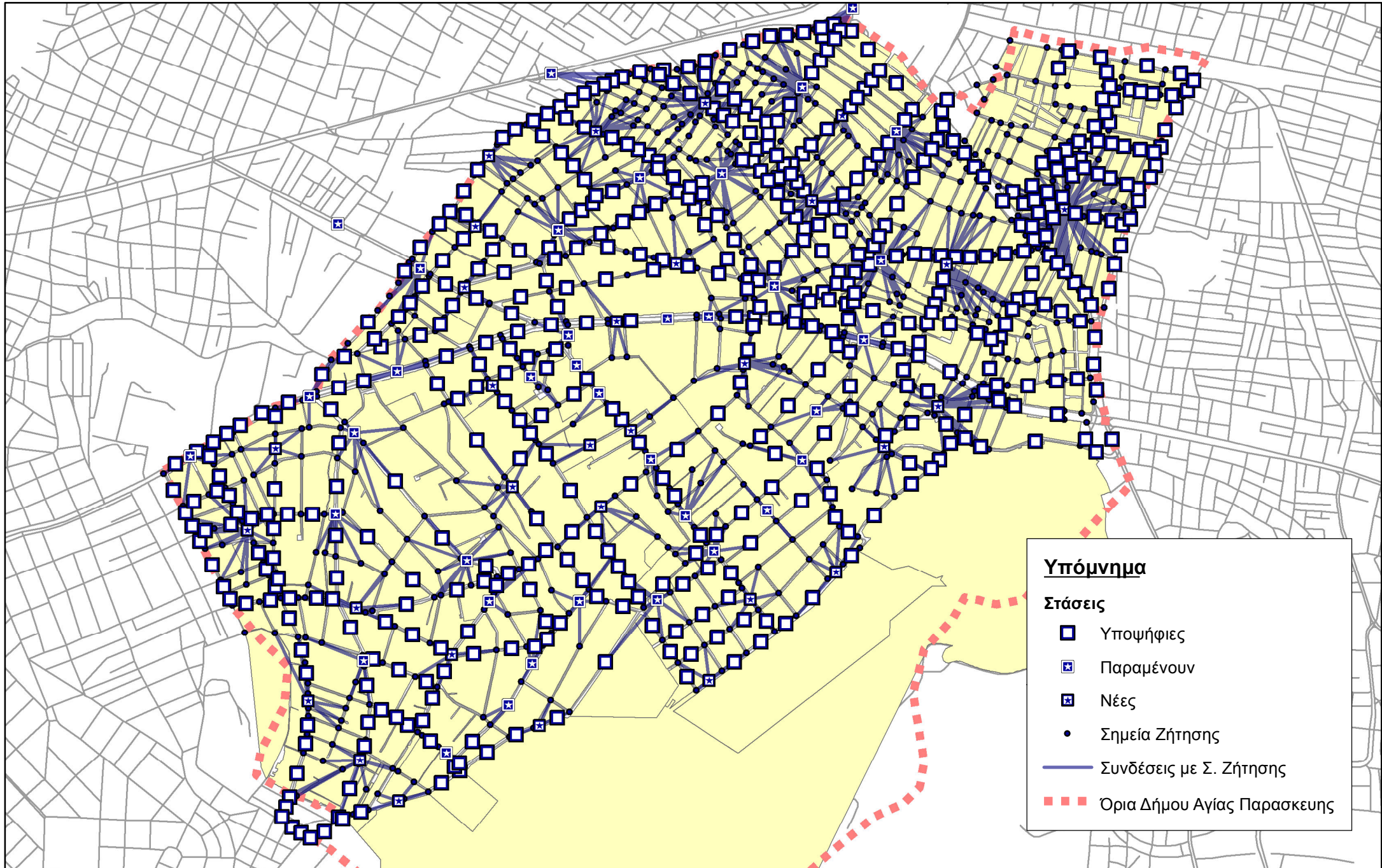
ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

Όσον αφορά στις παραμέτρους της ανάλυσης χωροθέτησης – κατανομής, που φαίνονται και στο Σχήμα 4.4, καταρχήν επιλέχτηκε να επιλυθεί το πρόβλημα της μέγιστης προσέλευσης (maximum attendance), ένα πρόβλημα παρόμοιο με το πρόβλημα της μέγιστης κάλυψης (maximum covering), που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 2.2.4. Η διαφορά των προβλημάτων έγκειται στο γεγονός ότι, στο πρόβλημα της μέγιστης προσέλευσης, το ποσοστό της ζήτησης που κατανέμεται στο πλησιέστερο σημείο εξυπηρέτησης, μειώνεται, καθώς αυξάνεται η απόσταση από αυτό.

Ως μέγεθος αντίστασης (impedance) για την χρήση των σημείων εξυπηρέτησης, θεωρήθηκε και πάλι ο χρόνος πεζή διαδρομής, με μέγιστο όριο τα 5 λεπτά περπάτημα. Τέλος, ο αριθμός των σημείων εξυπηρέτησης προς επιλογή (facilities to chose) ορίστηκε να είναι 67 σημεία, ώστε να επιλεγούν ακριβώς 30 νέες στάσεις (33 που παραμένουν, 4 σταθμοί μετρό και 30 νέες στάσεις).

Το αποτέλεσμα της ανάλυσης χωροθέτησης – κατανομής παρουσιάζεται στον Χάρτη 4.15, της επόμενης σελίδας. Τα υποψήφια σημεία εξυπηρέτησης απεικονίζονται με λευκό τετράγωνο, τα απαιτούμενα σημεία εξυπηρέτησης (στάσεις που παραμένουν, σταθμοί), με λευκό αστέρι και τα σημεία εξυπηρέτησης που επιλέγονται (νέες στάσεις), με μπλε αστέρι. Τα σημεία ζήτησης που εξυπηρετούνται από κάποιο από τα επιλεγμένα ή τα απαιτούμενα σημεία εξυπηρέτησης, παρουσιάζονται να ενώνονται με ευθείες με αυτά.

Το αποτέλεσμα της ανάλυσης χωροθέτησης – κατανομής, αποτελεί και το τελικό σύνολο των προτεινόμενων στάσεων για την περιοχή μελέτης, το οποίο χρησιμοποιήθηκε και στο τελευταίο βήμα του ανασχεδιασμού γραμμών.



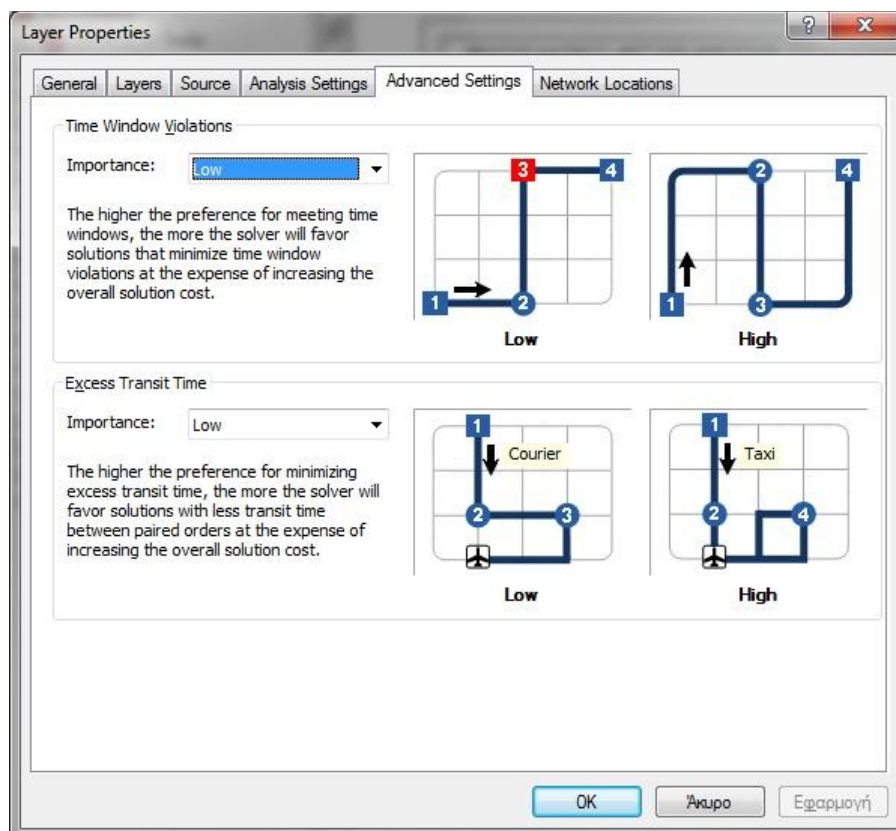
4.3.4 Ο Ανασχεδιασμός των Γραμμών που Τροποποιούνται

Στο τελευταίο βήμα της μεθοδολογίας, καταρχήν έγινε μια επιλογή των γραμμών που τροποποιήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, αποφασίστηκε να μην τροποποιηθούν οι γραμμές κορμοί (A5, B5) της περιοχής, ούτε οι γραμμές που διέρχονται από τους βασικούς άξονες : Λεωφόρος Μεσογείων, Λεωφόρος Χαλανδρίου, Αλεξάνδρου Παναγούλη και Κλεισθένους, οι οποίες εξυπηρετούν σε μεγάλο βαθμό γειτονικούς δήμους. Ο ανασχεδιασμός έγινε μόνο για τις αμιγώς τοπικές γραμμές, που ενώνουν τις γειτονιές του δήμου με τους σταθμούς του μητροπολιτικού σιδηρόδρομου, δηλαδή τις γραμμές 406 «ΣΤ. ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ - ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ - ΣΤ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ» και 407 «ΣΤ. ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ - ΝΕΑ ΖΩΗ - ΣΤ. ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ». Οι δύο γραμμές που τροποποιήθηκαν έχουν παρουσιαστεί και στον Χάρτη 4.12.

Στην συνέχεια, από τις προτεινόμενες στάσεις, που προέκυψαν από το προηγούμενο βήμα της μεθοδολογίας, καθορίστηκαν οι στάσεις που θα εξυπηρετούνται από τις γραμμές που τροποποιούνται. Οι στάσεις αυτές προέκυψαν, λαμβάνοντας υπόψη ότι ορισμένες στάσεις εξυπηρετούνται ήδη από τις γραμμές που δεν τροποποιήθηκαν, διότι προέκυψαν επί των διαδρομών τους (ή σε απόσταση μικρότερη από 50 μ. από τις διαδρομές τους).

Όπως καθορίστηκε στο κεφάλαιο 3, ο ανασχεδιασμός των γραμμών που τροποποιήθηκαν έγινε σε δύο στάδια. Σε πρώτο στάδιο, επιλύθηκε το πρόβλημα της δρομολόγησης οχημάτων, με το οποίο επιλέχθηκαν οι στάσεις που θα εξυπηρετούνται από κάθε γραμμή και προέκυψε μια πρώτη προσέγγιση των νέων διαδρομών. Η επίλυση έγινε με την χρήση του εργαλείου *Make Vehicle Routing Problem Layer* του Network Analyst. Το δίκτυο επί του οποίου εφαρμόστηκε ο υπολογισμός ήταν το Δίκτυο Κυκλοφορίας Μικρών Λεωφορείων *Agia_Paraskevi_BusNet_ND*, που περιγράφηκε στο υποκεφάλαιο 4.2.2.. Ως σημεία ζήτησης (orders), θεωρήθηκαν όλες οι στάσεις προς εξυπηρέτηση από τις γραμμές που τροποποιούνται. Επιλέχθηκε η δημιουργία δύο διαδρομών (route1, route2), με μέγιστο αριθμό σημείων ζήτησης που εξυπηρετούν τα 25. Ως τερματικοί σταθμοί (depots), ορίστηκαν οι αφετηρίες και τα τέρματα των υφιστάμενων, που αποφασίστηκε να μην μεταβληθούν.

Όσον αφορά στις παραμέτρους του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων, για τον υπολογισμό του κόστους των διαδρομών χρησιμοποιήθηκαν οι χρόνοι διαδρομής που προκύπτουν από το δίκτυο κυκλοφορίας μικρών λεωφορείων. Ακόμη, οι κατευθύνσεις των οδών ελήφθησαν υπόψη και απαγορεύτηκαν οι αναστροφές. Ορισμένες από τις προηγμένες παραμέτρους του προβλήματος, φαίνονται και στο Σχήμα 4.5..



Σχήμα 4.5 : Παράμετροι του Εργαλείου *Make Vehicle Routing Problem Layer*

ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

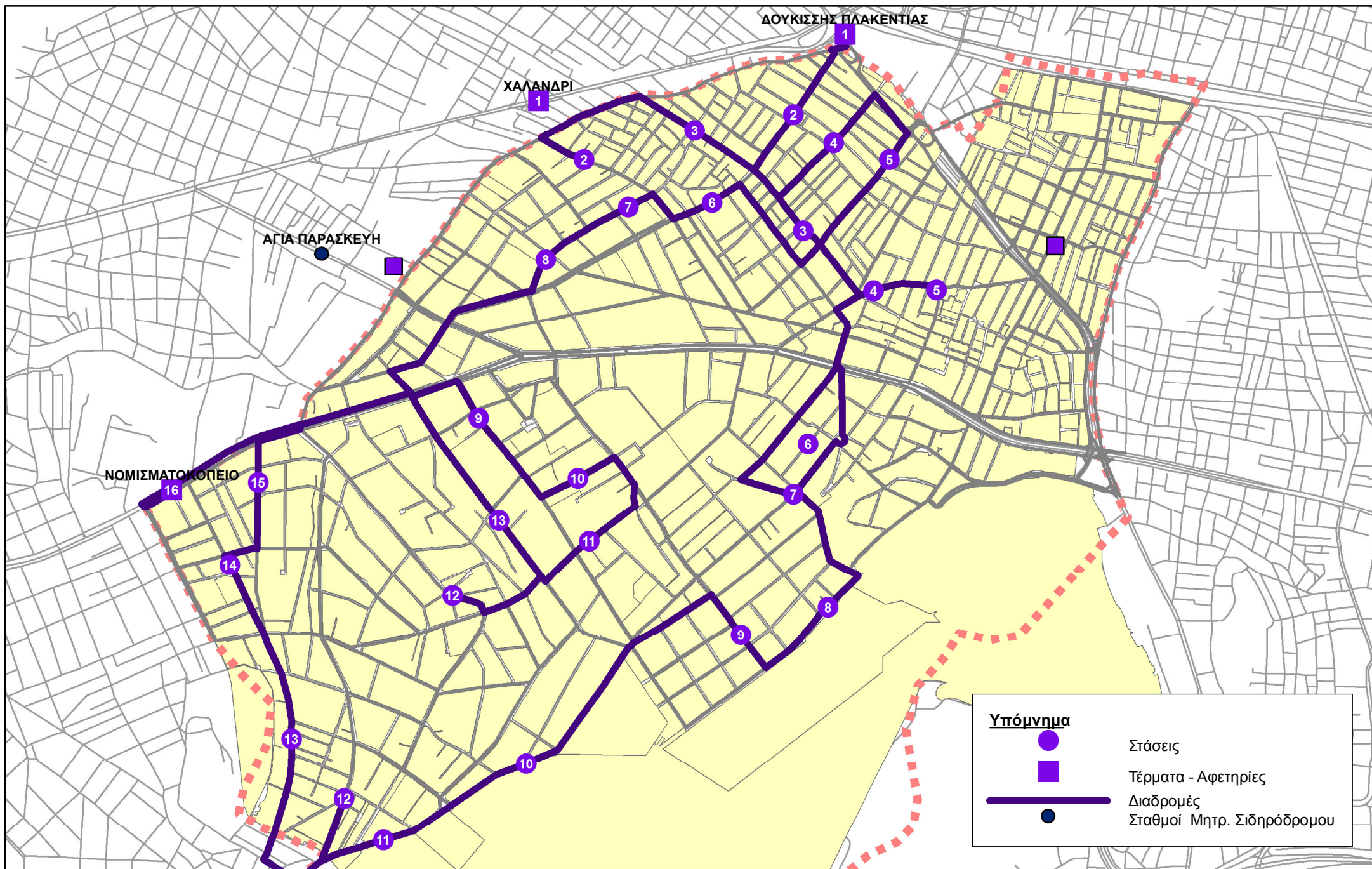
Το πρόβλημα επιλύθηκε δύο φορές, μια από τις αφετηρίες προς τα τέρματα και μία αντίστροφα. Για τις στάσεις που προέκυψε να εξυπηρετούνται από διαφορετική γραμμή κατά τις διαδρομές από τις αφετηρίες προς τα τέρματα, απ' ότι κατά την αντίστροφη διαδρομή, αποφασίστηκε μια τελική γραμμή για να συμπεριληφθούν. Το αποτέλεσμα του προβλήματος δρομολόγησης οχημάτων με κατεύθυνση από το τέρμα «ΣΤ. ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ» και το «ΤΕΡΜΑ 406» στην περιοχή Πευκάκια Αγίας Παρασκευής προς την αφετηρία και των δύο δρομολογίων «ΣΤ. ΝΟΜΙΣΜΑΤΟΚΟΠΕΙΟ», φαίνεται στον Χάρτη 4.16, της επόμενης σελίδας.

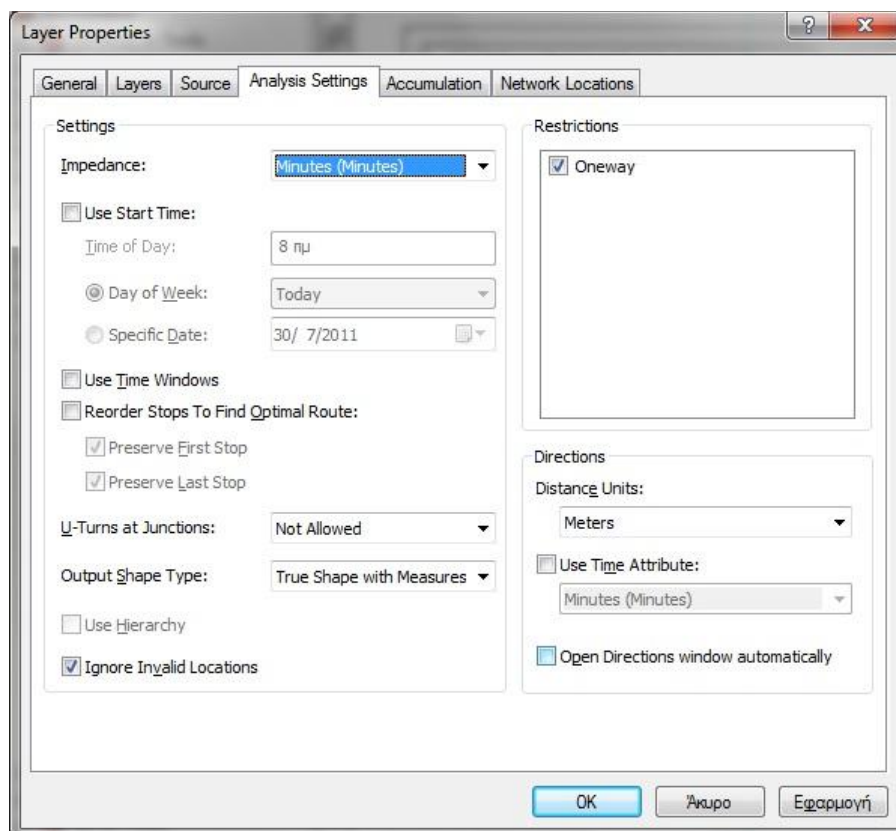
Σε δεύτερο στάδιο, για κάθε μία από τις γραμμές route1 και route2, επιλύθηκε το πρόβλημα της εύρεσης της συντομότερης (ελάχιστου μήκους) διαδρομής, με στόχο την μείωση του αρχικού μήκους διαδρομής, που προέκυψε από το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων. Η επίλυση έγινε με την χρήση του εργαλείου *Make Route Layer* του Network Analyst. Οι παράμετροι, φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 4.6 και είναι όμοιες με αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαλείο *Make Vehicle Routing Problem Layer*.

ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.16

ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ





Σχήμα 4.6 : Παράμετροι του Εργαλείου *Make Route Layer*

ΠΗΓΗ : Επεξεργασία με το λογισμικό Network Analyst του ArcGIS 10

Το πρόβλημα επιλύθηκε επαναληπτικά για κάθε γραμμή και κατεύθυνση, με μικρές μετατοπίσεις των θέσεων των στάσεων, ή ακόμη και αφαίρεση ορισμένων, ώστε τελικά να προκύψει ίσος ή μικρότερος χρόνος διαδρομών με αυτόν της υφιστάμενων γραμμών, πριν από την τροποποίηση.

Το αποτέλεσμα των τελικών επιλύσεων του προβλήματος της εύρεσης της συντομότερης (ελάχιστου χρόνου) διαδρομής, για κάθε γραμμή και κατεύθυνση, καθόρισε και τις προτεινόμενες από την μεθοδολογία λεωφορειακές γραμμές. Οι τελικές γραμμές Γραμμή 1 και Γραμμή 2, που αντικαθιστούν τις γραμμές 406 και 407, μαζί με την γραμμή Β5, που εξυπηρετεί έναν σημαντικό αριθμό από τις προτεινόμενες στάσεις, φαίνονται στον Χάρτη 4.18 του επόμενου υποκεφαλαίου των αποτελεσμάτων.

4.4 Το Προτεινόμενο Σύστημα Λεωφορειακών Γραμμών – Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Από τα τρία πρώτα βήματα της μεθοδολογίας προέκυψαν οι θέσεις των προτεινόμενων για την περιοχή της Αγίας Παρασκευής στάσεων, ενώ με το τέταρτο βήμα ανασχεδιάστηκαν οι γραμμές 406 και 407 και δημιουργήθηκαν οι νέες Γραμμές 1 και 2. Οι προτεινόμενες στάσεις και οι προτεινόμενες γραμμές, που αποτελούν τα τελικά αποτελέσματα της εφαρμογής στον Δήμο Αγίας Παρασκευής, παρουσιάζονται με λεπτομέρειες και σχολιάζονται στα ακόλουθα.

4.4.1 Οι Προτεινόμενες Στάσεις

Στον Χάρτη 4.17, της επόμενης σελίδας, παρουσιάζονται οι τελικές θέσεις των προτεινόμενων για την περιοχή μελέτης στάσεων, ταξινομημένες στις νέες στάσεις (με πράσινο αστέρι) και στις υφιστάμενες στάσεις που παραμένουν (με κόκκινο κύκλο). Επίσης, στον ίδιο χάρτη, φαίνονται οι στάσεις που αφαιρέθηκαν (με γκρι κύκλο), καθώς και οι σταθμοί του μητροπολιτικού σιδηρόδρομου (με μπλε κύκλο).

Όπως προκύπτει από τον Χάρτη, οι περισσότερες στάσεις που αφαιρέθηκαν, συγκεντρώνονται στο βορειοανατολικό τμήμα του Δήμου Αγίας Παρασκευής, στις περιοχές των Πευκακίων και του Σταυρού². Το αποτέλεσμα αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς οι περιοχές αυτές έχουν πρόσφατα ενταχθεί στο σχέδιο (η πράξη εφαρμογής βρίσκεται σε εξέλιξη) και παρουσιάζουν ακόμη και σήμερα αραιή δόμηση, σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή του Δήμου. Οι υπόλοιπες στάσεις που αφαιρούνται, στην πλειονότητά τους επικαλύπτονται από άλλες γειτονικές στάσεις, που βρίσκονται σε πιο ευνοϊκά για την πρόσβασή τους σημεία. Σε λίγες περιπτώσεις, πάντως, ορισμένες στάσεις που αφαιρέθηκαν, επανατοποθετήθηκαν σε κοντινή θέση (π.χ. Επτανήσου, 2^η Αγίας Παρασκευής, 2^η Αγίας Τριάδος), γεγονός που πιθανότατα σημαίνει πως θα μπορούσαν να έχουν αφαιρεθεί και λιγότερες στάσεις, χωρίς να μεταβληθεί κατά πολύ το αποτέλεσμα.

Σχεδόν όλες οι υφιστάμενες στάσεις που βρίσκονται επί τοπικών αρτηριών του νότιου τμήματος του Δήμου (Αγίου Ιωάννου, Πελοποννήσου, Ελευθερίου Βενιζέλου), έχουν παραμείνει. Το γεγονός αυτό επίσης είναι λογικό, καθώς στις περιοχές αυτές υπάρχει πυκνή δόμηση και εμπορικές χρήσεις.

² Οι γειτονιές του Δήμου Αγίας Παρασκευής απεικονίζονται στον Χάρτη 4.1

Οι 14 (47%) από τις 30 νέες στάσεις έχουν τοποθετηθεί σε περιοχές με πυκνή δόμηση, που δεν καλύπτονταν από λεωφορειακές γραμμές (π.χ. οδός Αγίου Ιωάννου πλησίον του Αμερικάνικου Κολλεγίου, οδός Ελευθερίου Βενιζέλου στην περιοχή Τσακός, οδός Σολωμού στην περιοχή Διδασκαλικά). Επίσης, 5 (17%) από τις 30 νέες στάσεις έχουν τοποθετηθεί σε επαφή με χρήσεις που έλκουν μεγάλο αριθμό μετακινήσεων (1 στο Ερευνητικό Κέντρο «Δημόκριτος», 1 στο Στάδιο Αγίας Παρασκευής, 1 στο Αμερικάνικο Κολλέγιο, και 2 στην Ελληνογαλλική Σχολή,). Οι περιπτώσεις αυτές ενισχύουν την άποψη πως η μεθοδολογία λειτούργησε ικανοποιητικά.

Στον Πίνακα 4.5, των επόμενων σελίδων, παρουσιάζονται οι στάσεις του αρχικού (υφιστάμενου) και του τελικού (προτεινόμενου) συστήματος λεωφορειακών γραμμών, μαζί με την αντίστοιχη αρχική και τελική ζήτηση. Οι στάσεις που παρέμειναν από το αρχικό στο τελικό σύστημα λεωφορειακών γραμμών, διαχωρίζονται με γκρι υπόβαθρο. Επισημαίνεται πως, για τις στάσεις αυτές, η ζήτηση μεταβάλλεται στο τελικό σύστημα, εφόσον επηρεάζεται από τον ανταγωνισμό με γειτονικές στάσεις.

Α/Α	ΑΡΧΙΚΕΣ ΣΤΑΣΕΙΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ	ΤΕΛΙΚΕΣ ΣΤΑΣΕΙΣ	ΤΕΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ
1	1η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	6045,06	1η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3827,25
2	1η ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ	3534,27	1η ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ	4493,37
3	1η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ-ΑΓ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ	4282,64	1η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ-ΑΓ. ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ	3593,26
4	1η Ν.ΖΩΗΣ	4205,24	1η Ν.ΖΩΗΣ	5111,33
5	2η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ-ΧΙΟΥ	4904,14	2η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ-ΧΙΟΥ	3140,61
6	3η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	6118,28	3η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2636,34
7	3η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ	4099,99	3η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ	3482,54
8	3η Ν.ΖΩΗΣ	4332,31	3η Ν.ΖΩΗΣ	4205,94
9	4η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	6678,53	4η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3704,08
10	4η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ	5415,77	4η ΔΕΡΒΕΝΑΚΙΩΝ	4270,23
11	5η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3648,54	5η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1248,61
12	6η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	5270,25	6η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2635,92
13	7η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	5258,47	7η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3314,61
14	8η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	5394,76	8η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2857,62
15	9η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	8074,99	9η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3600,99
16	10η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2795,73	10η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2795,73
17	11η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	4043,65	11η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	3112,14
18	11η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ - ΑΓ. ΙΩΑΝΝΟΥ	9440,64	11η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ - ΑΓ. ΙΩΑΝΝΟΥ	3456,85
19	12η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	7592,69	12η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	4890,76
20	ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗΣ	3157,83	ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗΣ	1865,2
21	ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1053,56	ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1019,41
22	ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	7815,51	ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	1019,41
23	ΒΑΚΧΟΥ-ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΕΟΥΣ	2945,61	ΒΑΚΧΟΥ-ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΕΟΥΣ	2396,04
24	ΓΑΡΥΤΤΟΥ	4364,28	ΓΑΡΥΤΤΟΥ	2021,93
25	ΔΗΜΗΤΡΑΣ	3449,39	ΔΗΜΗΤΡΑΣ	3722,43
26	ΔΗΜΗΤΡΑΣ-ΠΛ.ΥΔΡΑΣ	4555	ΔΗΜΗΤΡΑΣ-ΠΛ.ΥΔΡΑΣ	1265,84
27	ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟ	2669,05	ΚΟΛΥΜΒΗΤΗΡΙΟ	1993,18
28	ΠΛ.ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ - ΑΓ.ΙΩΑΝΝΟΥ	4902,69	ΠΛ.ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ - ΑΓ.ΙΩΑΝΝΟΥ	3166,88
29	ΣΑΛΑΜΙΝΟΣ	11412,08	ΣΑΛΑΜΙΝΟΣ	4906,54
30	ΤΕΡΜΑ - ΗΡ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ	4647,52	ΤΕΡΜΑ - ΗΡ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ	3133,87
31	ΤΟΜΠΡΑ	2685,69	ΤΟΜΠΡΑ	1271,5
32	ΧΕΙΛΩΝΟΣ	2994,09	ΧΕΙΛΩΝΟΣ	3064,76
33	ΨΑΡΩΝ	2630,18	ΨΑΡΩΝ	3515,04

Πίνακας 4.5 : Εξυπηρετούμενη Ζήτηση των Αρχικών και Τελικών Προτεινόμενων Στάσεων

Α/Α	ΑΡΧΙΚΕΣ ΣΤΑΣΕΙΣ	ΑΡΧΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ	ΤΕΛΙΚΕΣ ΣΤΑΣΕΙΣ	ΤΕΛΙΚΗ ΖΗΤΗΣΗ
34	1η ΓΑΡΓΗΤΤΟΥ	700,16	Υποψήφια Στάση 40	2984,14
35	2η ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2303,21	Υποψήφια Στάση 51	4555,15
36	2η ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ	1995,44	Υποψήφια Στάση 62	4449,36
37	2η ΓΑΡΓΗΤΤΟΥ	351,18	Υποψήφια Στάση 64	2921,61
38	2η Ν.ΖΩΗΣ	2203,53	Υποψήφια Στάση 78	3110,79
39	3η ΓΑΡΓΗΤΤΟΥ	219,5	Υποψήφια Στάση 80	4036,45
40	9η ΜΕΣΟΓΕΙΩΝ	1531,64	Υποψήφια Στάση 86	2466,12
41	ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ-ΚΑΡΑΟΛΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ	1691,97	Υποψήφια Στάση 94	3843,47
42	ΑΓ.ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ-ΧΡΥΣ. ΣΜΥΡΝΗΣ	1242,21	Υποψήφια Στάση 110	4163,45
43	ΑΓ.ΤΡΙΑΔΟΣ ΑΡΧΗ-ΑΓ. ΑΝΔΡΕΟΥ	1337,07	Υποψήφια Στάση 115	3705,53
44	ΑΦΕΤΗΡΙΑ 411 ΤΕΡΜ.310 - Χ42	0	Υποψήφια Στάση 195	5023,26
45	ΓΕΛΑΔΑΚΗ	2158,49	Υποψήφια Στάση 260	3188,49
46	ΓΥΜΝΑΣΙΟ	1851,07	Υποψήφια Στάση 276	2096,22
47	ΔΗΜΟΣΘΕΝΟΥΣ	2603,3	Υποψήφια Στάση 287	5052,1
48	ΕΠΤΑΝΗΣΟΥ	2550,18	Υποψήφια Στάση 301	3551,16
49	ΕΡΤ	2681,82	Υποψήφια Στάση 350	3331,42
50	ΗΠΕΙΡΟΥ-ΤΟΜΠΡΑ	0	Υποψήφια Στάση 360	5034,26
51	ΗΡΑΣ	231,88	Υποψήφια Στάση 361	3977,1
52	ΙΚΑ	2114,32	Υποψήφια Στάση 368	11677,83
53	ΚΑΒΑΦΗ	904,69	Υποψήφια Στάση 373	3226,05
54	ΚΕΑΣ	1374,03	Υποψήφια Στάση 384	2295,41
55	ΚΥΒΕΛΗΣ	562,17	Υποψήφια Στάση 452	3822,34
56	ΠΑΠΑΡΗΓΟΠΟΥΛΟΥ	1139,54	Υποψήφια Στάση 482	2375,5
57	ΠΑΡΚΟ	1650,07	Υποψήφια Στάση 489	4062,8
58	ΠΛ.ΑΓ.ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ	2389,85	Υποψήφια Στάση 504	6694,46
59	ΣΟΥΛΙΟΥ	2441	Υποψήφια Στάση 506	4079,72
60	ΣΤ.ΔΟΥΚ.ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ	1384,52	Υποψήφια Στάση 519	3127,87
61	ΣΤΑΥΡΟΣ	1863,48	Υποψήφια Στάση 535	3006,32
62	ΤΕΡΜΑ - ΠΕΥΚΑΚΙΑ	1014,06	Υποψήφια Στάση 543	3529,66
63	ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ	924,31	Υποψήφια Στάση 551	2343,85
	ΣΥΝΟΛΟ	203.833,12	ΣΥΝΟΛΟ	218.472,10
		ΜΕΤΑΒΟΛΗ		+14.638,98
		ΜΕΤΑΒΟΛΗ %		+7,18%

Πίνακας 4.5 : Εξυπηρετούμενη Ζήτηση των Αρχικών και Τελικών Προτεινόμενων Στάσεων
(Συνέχεια)

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.5, η **ζήτηση που είναι δυνατόν να εξυπηρετηθεί** από τις τελικές στάσεις ανέρχεται σε 218.472 μετακινήσεις και είναι **αυξημένη**, σε σχέση με την ζήτηση των αρχικών στάσεων, **κατά 14.639 μετακινήσεις ή 7,18%**. Οι αρχικές 30 στάσεις που αφαιρέθηκαν, ήταν δυνατόν να εξυπηρετήσουν 43.415 μετακινήσεις, με μέσο όρο 1.447 μετακινήσεις ανά στάση. Οι νέες 30 στάσεις που προστέθηκαν είναι δυνατόν να εξυπηρετήσουν 117.732 μετακινήσεις, με μέσο όρο 3.924 μετακινήσεις ανά στάση.

Τέλος, όσον αφορά στις στάσεις που παρέμειναν από το αρχικό στο τελικό σύστημα λεωφορειακών γραμμών (γκρι υπόβαθρο), η συνολική ζήτηση που ήταν δυνατόν να εξυπηρετήσουν μειώθηκε από 160.418 σε 100.740 μετακινήσεις. Υπάρχουν βέβαια και στάσεις όπου η ζήτηση αυξήθηκε (π.χ. 1^η Αγίας Τριάδος, 1^η Νέας Ζωής) ή παρέμεινε σταθερή (π.χ. 10^η Αγίας Παρασκευής). Στις περισσότερες πάντως στάσεις η εξυπηρετούμενη ζήτηση μειώθηκε. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς οι στάσεις που παρέμειναν βρίσκονται σε περιοχές με μεγάλη ζήτηση, όπου είναι λογικό να προέκυψε πύκνωση στάσεων από την ανάλυση της χωροθέτησης – κατανομής.

4.4.2 Οι Προτεινόμενες Λεωφορειακές Γραμμές

Στον Χάρτη 4.18, της επόμενης σελίδας, παρουσιάζονται οι δύο προτεινόμενες νέες γραμμές 1 και 2, που αντικαθιστούν τις γραμμές 406 και 407 (χωρίς να υπάρχει ακριβής αντιστοιχία). Η Γραμμή 1, με αφετηρία τον Σταθμό Νομισματοκοπείο, διασχίζει τμήματα της περιοχής της Νέας Ζωής³ και του Κοντόπευκου, συνδέει με το Σταθμό Χαλάνδρι, και συνεχίζει στο βόρειο Κοντόπευκο, τον Παράδεισο και τα Πευκάκια. Η αντίθετη διαδρομή γίνεται στα περισσότερα τμήματα από παράλληλες οδούς. Η Γραμμή 2, με αφετηρία επίσης τον Σταθμό Νομισματοκοπείο, διασχίζει τις περιοχές των Δημοδιδασκαλικών και του Τσακού, συνεχίζει στο βόρειο τμήμα της περιοχής του Αϊ Γιάννη, διασχίζει το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής του Παραδείσου και καταλήγει στον Σταθμό Δουκίσσης Πλακεντίας. Η αντίθετη διαδρομή ομοίως γίνεται από παράλληλες οδούς.

Οι κεντρικές περιοχές του Δήμου (Αγίου Ιωάννου, Πελοποννήσου, Ελευθερίου Βενιζέλου) συνεχίζουν να εξυπηρετούνται από την γραμμή κορμός Β5, η οποία επίσης φαίνεται στον Χάρτη 4.18. Η Γραμμή Β5 παρουσίαζε σχεδόν σε όλο το μήκος της εντός του Δήμου αλληλοεπικάλυψη με την γραμμή 406 (βλ. Χάρτη 4.12), γεγονός το οποίο αντιμετωπίστηκε από την μεθοδολογία.

³ Οι γειτονιές του Δήμου Αγίας Παρασκευής απεικονίζονται στον Χάρτη 4.1

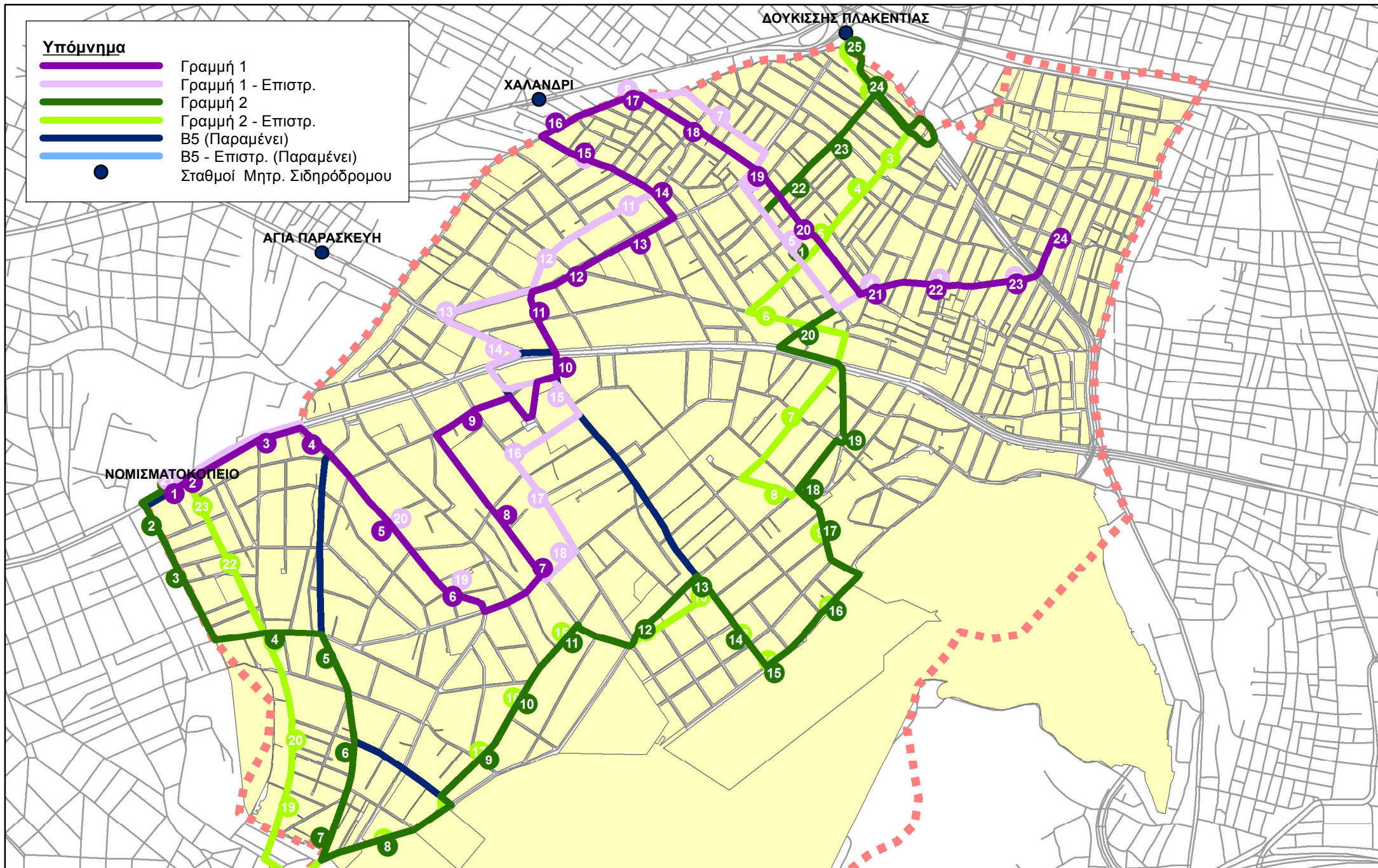
ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΚΤΥΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Γ.Σ.Π.

ΧΑΡΤΗΣ 4.18

ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΛΕΩΦΟΡΕΙΑΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΚΑΙ ΣΤΑΣΕΙΣ

Υπόμνημα

- Γραμμή 1
- Γραμμή 1 - Επιστρ.
- Γραμμή 2
- Γραμμή 2 - Επιστρ.
- B5 (Παραμένει)
- B5 - Επιστρ. (Παραμένει)
- Σταθμοί Μητρ. Σιδηρόδρομου



Στον πίνακα 4.6 παρουσιάζεται το μήκος και ο αριθμός των στάσεων των αρχικών (υφιστάμενων) λεωφορειακών γραμμών που τροποποιήθηκαν και των τελικών (προτεινόμενων) λεωφορειακών γραμμών. Στο αρχικό σύστημα υπάρχουν οι τοπικές γραμμές 406 και 407, ενώ στο τελικό οι Γραμμές 1 και 2 που τις αντικαθιστούν.

ΑΡΧΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ			ΤΕΛΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ		
	ΜΗΚΟΣ (χλμ.)	ΣΤΑΣΕΙΣ		ΜΗΚΟΣ (χλμ.)	ΣΤΑΣΕΙΣ
406	9,06	30	Γραμμή 1	6,62	24
406 - Επιστροφή	11,25	37	Γραμμή 1 - Επιστροφή	7,23	21
Σύνολο 406	20,31	67	Σύνολο Γραμμή 1	13,86	45
407	6,81	24	Γραμμή 2	7,81	25
407 - Επιστροφή	6,67	25	Γραμμή 2 - Επιστροφή	7,30	24
Σύνολο 407	13,48	49	Σύνολο Γραμμή 2	15,11	49
ΣΥΝΟΛΟ 406,407	33,79	116	ΣΥΝΟΛΟ Γραμμή 1,2	28,97	94
			ΔΙΑΦΟΡΑ	-4,82	
			ΔΙΑΦΟΡΑ %	-14,27%	

Πίνακας 4.6 : Μήκος και Αριθμός Στάσεων Υφιστάμενων και Προτεινόμενων Γραμμών

Όπως φαίνεται στον πίνακα 4.6, το συνολικό μήκος των τελικών γραμμών (για μετάβαση και επιστροφή) είναι 28,97 χλμ. (13,86 χλμ. η Γραμμή 1 και 15,11 χλμ. η Γραμμή 2). Στο τελικό σύστημα λεωφορειακών γραμμών έχει επέλθει **μείωση του μήκους διαδρομών κατά 4,82 χλμ. ή 14,27%** σε σχέση με τις γραμμές 406 και 407 που είχαν συνολικό μήκος 33,79 χλμ. (20,31 χλμ. η 406 και 13,48 χλμ. η 407).

Από τον πίνακα 4.6 προκύπτει, επίσης, ότι ο συνολικός αριθμός στάσεων (σε μετάβαση και επιστροφή) που εξυπηρετούνταν από τις γραμμές 406 και 407 έχει μειωθεί από 116 σε 94, που εξυπηρετούνται πλέον από τις γραμμές 1 και 2. Η μείωση αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αφαίρεση ενός αριθμού στάσεων που βρίσκονταν στην αραιοκατοικημένη περιοχή των Πευκακίων και εξυπηρετούνταν από την γραμμή 406. Επισημαίνεται πάντως, ότι ο συνολικός αριθμός στάσεων στην περιοχή μελέτης έχει παραμείνει σταθερός.

Τέλος, η μείωση του μήκους των νέων γραμμών, καθώς και η σύνδεση της Γραμμής 1 με τον σταθμό Χαλάνδρι σε κεντρικό σημείο της διαδρομής, αναμένεται να μειώσουν τους χρόνους διαδρομής από τις διάφορες περιοχές του δήμου, προς τον πλησιέστερο σταθμό του μητροπολιτικού σιδηροδρόμου. Το γεγονός αυτό είναι πολύ πιθανό να ενισχύσει και την χρήση των λεωφορειακών γραμμών.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα εργασία καταρχήν επιχειρήθηκε μια σύντομη ανασκόπηση του επιστημονικού πεδίου και της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για τις Μεταφορές (ΓΣΠ-Μ), με αναφορά στην αναπαράσταση των δεδομένων, τις μεθόδους, τις τεχνικές και τις εφαρμογές της τεχνολογίας αυτής. Στην συνέχεια παρουσιάστηκαν οι βασικές αρχές και τα μοντέλα της Ανάλυσης Δικτύων και συνοψίστηκαν τα βασικά αλλά και ορισμένα από τα σύνθετα προβλήματα που αντιμετωπίζονται με αυτήν. Ακόμη, ακολούθησε μια σύντομη ανασκόπηση της έρευνας στον τομέα του Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών και αναλύθηκαν οι στόχοι, οι παράμετροι και οι μεθοδολογίες του σχεδιασμού αυτού.

Στο επόμενο τμήμα της εργασίας, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία, βασισμένη στις τεχνικές Ανάλυσης Δικτύων, που να επιτυγχάνει την βελτίωση της αποδοτικότητας ενός συστήματος λεωφορειακών γραμμών, που εξυπηρετεί μια συγκεκριμένη περιοχή ή ζώνη. Η μεθοδολογία αυτή εφαρμόστηκε με τα πραγματικά δεδομένα του Δήμου Αγίας Παρασκευής Αττικής και τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν.

Από τα παραπάνω τμήματα της εργασίας, προέκυψαν μία σειρά από συμπεράσματα, ορισμένα από τα οποία έχουν αναφερθεί και στα ενδιάμεσα κεφάλαια. Τα συμπεράσματα αυτά συγκεντρώνονται και συνοψίζονται στα ακόλουθα, οργανωμένα σε δύο υποενότητες : συμπεράσματα σχετικά με την έρευνα και τις εφαρμογές στους τομείς των ΓΣΠ-Μ, της Ανάλυσης Δικτύων και του Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών και συμπεράσματα σχετικά με την προτεινόμενη μεθοδολογία και την εφαρμογή της.

5.1 Συμπεράσματα

Όσον αφορά στην **έρευνα και τις εφαρμογές των ΓΣΠ-Μ, της Ανάλυσης Δικτύων και του Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών**, μπορούν να αναφερθούν οι παρακάτω διαπιστώσεις :

- Η χρήση των ΓΣΠ-Μ έχει σήμερα διαδοθεί ευρέως, στην μελέτη και επίλυση όλων των προβλημάτων του τομέα των Μεταφορών. Τα ΓΣΠ-Μ προσφέρουν το κατάλληλο σύστημα για την οργάνωση και διαχείριση όλων των χωρικών και περιγραφικών δεδομένων που σχετίζονται με τις μεταφορές, παρέχουν την δυνατότητα για οποιαδήποτε επεξεργασία και ανάλυση (χωρική ή μη) των δεδομένων αυτών, καθώς και το κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη των πλέον σύνθετων εφαρμογών.
- Στον τομέα των ΓΣΠ-Μ η έρευνα αναπτύσσεται συνεχώς με κατευθύνσεις την βελτίωση του τρόπου αναπαράστασης των δεδομένων του τομέα των μεταφορών, την υλοποίηση, εντός των ΓΣΠ-Μ, των μεθόδων που χρησιμοποιούνται στις μεταφορές και την ανάπτυξη αντίστοιχων εφαρμογών. Με την ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, συνεχώς εμφανίζονται νέες εφαρμογές ΓΣΠ-Μ που βασίζονται στην χρήση του διαδικτύου καθώς και των ασύρματων δικτύων.
- Η Ανάλυση Δικτύων περιλαμβάνει μια σειρά μεθόδων και τεχνικών, που βασίζονται στην θεωρία των γράφων και τα μοντέλα δεδομένων δικτύων, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή στην μελέτη και ανάλυση πραγματικών δικτύων μεταφορών.
- Τα περισσότερα προβλήματα που αντιμετωπίζονται στην Ανάλυση Δικτύων, όπως η εύρεση της συντομότερης διαδρομής, το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων ή ο υπολογισμός περιοχών εξυπηρέτησης, αναπτύχθηκαν για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων που συναντώνται κυρίως στην διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Τα προβλήματα αυτά έχουν σήμερα αναπτυχθεί τόσο ως προς τους αλγορίθμους επίλυσής τους, όσο και προς την παραμετροποίησή τους και είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και ως τμήματα πιο σύνθετων προβλημάτων, όπως ο ανασχεδιασμός δικτύων δημοσίων συγκοινωνιών.

- Ο Σχεδιασμός Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών αναφέρεται στην διαδικασία με την οποία σχεδιάζονται γραμμές δημοσίων συγκοινωνιών και καθορίζονται οι συχνότητές τους. Η έρευνα στον τομέα αυτό έχει ξεκινήσει ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1960 και ένα μεγάλο πλήθος μεθοδολογιών και τεχνικών έχουν προταθεί από τότε, με στόχο τον βέλτιστο σχεδιασμό γραμμών
- Οι έρευνες και οι μελέτες για τον Σχεδιασμό Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, υιοθετούν μια ποικιλία προσεγγίσεων και θεωρήσεων για το πρόβλημα. Οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν να ταξινομηθούν, ανάλογα με τους στόχους που θέτουν, τις παραμέτρους που χρησιμοποιούν και τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούν.
- Υπάρχουν πολλές κατευθύνσεις προς τις οποίες είναι δυνατόν να προσανατολιστεί η έρευνα για τον Σχεδιασμό Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών. Μερικές από αυτές είναι η βελτίωση των αποτελεσμάτων των υπαρχόντων μοντέλων με αύξηση της λεπτομέρειας των δεδομένων και θεώρηση και των θέσεων των στάσεων ως μεταβλητών απόφασης, η βελτίωση των μεθοδολογιών επίλυσης με την αξιοποίηση εφαρμοσμένων αλγορίθμων για προβλήματα παρόμοιας πολυπλοκότητας και η ανάπτυξη μεθοδολογιών με πολλαπλούς στόχους.

Τα συμπεράσματα που αφορούν στην **προτεινόμενη μεθοδολογία και την εφαρμογή της**, συνοψίζονται στην συνέχεια :

- Με την προτεινόμενη μεθοδολογία ανασχεδιάζεται το δίκτυο λεωφορειακών γραμμών της περιοχής ή ζώνης που μελετάται, με στόχο την βελτίωση της αποδοτικότητάς του. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται με την χρήση συγκεκριμένων τεχνικών της Ανάλυσης Δικτύων που επιλύουν προβλήματα που διατυπώνονται μαθηματικά και που χρησιμοποιούν αλγόριθμους που παρέχουν ελεγμένα και ακριβή αποτελέσματα.
- Η προτεινόμενη μεθοδολογία αξιοποιεί ήδη υπάρχουσες τεχνικές της Ανάλυσης Δικτύων, στον τομέα του Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται: ο Υπολογισμός Περιοχών Εξυπηρέτησης, για την εκτίμηση της εξυπηρετούμενης ζήτησης από κάθε υφιστάμενη στάση, η Ανάλυση Χωροθέτησης Κατανομής, για την επιλογή των βέλτιστων θέσεων στάσεων, που μεγιστοποιούν την χρήση του συστήματος λεωφορειακών γραμμών, το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων και η επιλογή της διαδρομής ελαχίστου κόστους, για την επιλογή των διαδρομών των γραμμών, ώστε να ελαχιστοποιείται το συνολικό μήκος του δικτύου.
- Στην προτεινόμενη μεθοδολογία γίνεται χρήση πολύ λεπτομερών δεδομένων, όπως ο πληθυσμός ανά οικοδομικό τετράγωνο, οι χρήσεις γης ανά οικόπεδο και τα πλήρη δίκτυα για την κυκλοφορία πεζών και λεωφορείων.
- Η εφαρμογή της μεθοδολογίας οδηγεί σε λογικά αποτελέσματα, αφού οι τελικές προτεινόμενες γραμμές διέρχονται από τις περιοχές που παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού και συγκέντρωση κεντρικών χρήσεων γης, ενώ στις πιο αραιοκατοικημένες περιοχές αραιώνει και η πυκνότητα του δικτύου λεωφορειακών γραμμών. Το συμπέρασμα αυτό είναι προφανές και στην εφαρμογή με τα δεδομένα του Δήμου Αγίας Παρασκευής.
- Ειδικά σε περιοχές όπου ο σχεδιασμός των λεωφορειακών γραμμών έχει προκύψει με εμπειρικό τρόπο, η μεθοδολογία αναμένεται να βελτιώσει σημαντικά την αποδοτικότητα του συστήματος.

5.2 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία, δεν εξαντλεί τις δυνατότητες των τεχνικών και μεθόδων της Ανάλυσης Δικτύων στον Σχεδιασμό Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών. Αντίθετα, αποτελεί έναυσμα για την περαιτέρω διερεύνηση τρόπων αξιοποίησης των τεχνικών αυτών, στον σχεδιασμό των δημοσίων συγκοινωνιών, που αποτελεί ένα ιδιαίτερος σύνθετο και με πολλαπλούς στόχους πεδίο.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε και ελέγχτηκε με τα πραγματικά δεδομένα του Δήμου Αγίας Παρασκευής. Ωστόσο, χρήσιμη θα ήταν μια πιο διεξοδική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, με υπολογισμό δεικτών αποδοτικότητας και εξυπηρέτησης πριν και μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας, όπως επίσης και η εφαρμογή της μεθοδολογίας με δεδομένα άλλων περιοχών, με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σύγκριση, ακόμη θα ήταν δυνατόν να γίνει για τα αποτελέσματα της μεθόδου, σε σχέση με τα αποτελέσματα άλλων μεθόδων Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών, για τα ίδια δεδομένα.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, υπάρχουν αρκετές συμπληρώσεις και βελτιώσεις που είναι δυνατόν να γίνουν στην μεθοδολογία που αναπτύχθηκε. Η δημιουργία κατάλληλου μοντέλου για την εκτίμηση της ζήτησης και η αυτοματοποίηση των διαδικασιών που απαιτούν την κρίση του μελετητή, αναφέρονται ως παραδείγματα.

Οι διάφορες προτάσεις και υποδείξεις για έρευνα, που προέκυψαν από τα όλα στάδια της εργασίας, συγκεντρώνονται στην ακόλουθη λίστα :

- Διεξοδική διερεύνηση των παραμέτρων των μεθόδων Ανάλυσης Δικτύων που χρησιμοποιούνται στην μεθοδολογία (π.χ. δοκιμή και άλλων αλγορίθμων χωροθέτησης κατανομής, χρήση της παραμέτρου της χωρητικότητας οχημάτων στο πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων κ.α.) και διερεύνηση των δυνατοτήτων και άλλων μεθόδων Ανάλυσης Δικτύων (π.χ. δημιουργία μητρώων κόστους ανά Προέλευση – Προορισμό, για την αξιολόγηση της παρεχόμενης εξυπηρέτησης κ.α.).
- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας με υπολογισμό δεικτών αποδοτικότητας και εξυπηρέτησης (π.χ. χρόνος διαδρομής προς σημαντικούς προορισμούς), πριν και μετά την εφαρμογή της μεθοδολογίας.

- Εφαρμογή και έλεγχος της μεθοδολογίας με τα δεδομένα διαφορετικών περιοχών, καθώς και σύγκριση των αποτελεσμάτων της προτεινόμενης μεθοδολογίας με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από άλλες μεθόδους Σχεδιασμού Δικτύων Δημοσίων Συγκοινωνιών.
- Ανάπτυξη ενός μοντέλου εκτίμησης της Ζήτησης για κάθε γραμμή, σε κατάλληλες χρονικές περιόδους, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός και συχνοτήτων για τις γραμμές. Το μοντέλο είναι δυνατόν να λαμβάνει υπόψη και τον ανταγωνισμό από άλλα μέσα μεταφοράς (ιδιωτικά, μαζικά) ή να λαμβάνει υπόψη και την επιρροή της ποιότητας του συστήματος λεωφορειακών γραμμών, στην ζήτηση.
- Αυτοματοποίηση 2^{ου} σταδίου 4^{ου} Βήματος, με το οποίο επιτυγχάνεται ο περιορισμός του χρόνου διαδρομής των προτεινόμενων λεωφορειακών γραμμών, με την ανάπτυξη κατάλληλου αλγορίθμου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Κουτσόπουλος, Κ. (2002) *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
2. Κουτσόπουλος, Κ. (2009) *Πραγματεία Ανάλυσης Χώρου – Τόμος I : Θεωρία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
3. Κουτσόπουλος, Κ. (2009) *Πραγματεία Ανάλυσης Χώρου – Τόμος II : Μέθοδοι*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
4. Φώτης, Γ. (2009) *Ποσοτική Χωρική Ανάλυση*, Εκδόσεις Γκοβόστη
5. Φώτης, Γ. (2010) *Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών*, Εκδόσεις Γκοβόστη
6. Φώτης, Γ. (2010) *Χωροθέτηση Λειτουργιών, Διδακτικές Σημειώσεις στο Δ.Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική» του Ε.Μ.Π.*
7. Στεφανάκης, Ε. (2003) *Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
8. Γιαννόπουλος, Γ. (1994) *Δημόσιες Αστικές Συγκοινωνίες – Τόμος 1 – Λεωφορειακές Συγκοινωνίες*, Εκδόσεις Παρατηρητής, Β' Έκδοση
9. Γιαννόπουλος, Γ. (1986) *Σχεδιασμός Μεταφορών και Κυκλοφοριακή Τεχνική – Τόμος 2 – Α. Κυκλοφοριακές Μετρήσεις και Έρευνες*, Εκδόσεις Παρατηρητής, Β' Έκδοση
10. Ανδριανάκος, Ν. (2007) *Πρότυπο Σύστημα Χωροθετικής Ανάλυσης Δικτύων Παροχής Υπηρεσιών, Διπλωματική Εργασία στο Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Π.Θ., Επιβλέπων : Φώτης Γ.*
11. Σάλτα, Ζ. (2006) *Ανάλυση δικτύων σε χωρικές βάσεις δεδομένων, Διπλωματική Εργασία στο Δ.Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική» του Ε.Μ.Π., Επιβλέπων : Σελλής Τ.*

Διεθνής Βιβλιογραφία

1. Abraham, J. (2001) *Traffic Assignment, Report CE 7630*, Wayne State University
2. Atzeni, P., Ceri, S., Paraboschi, S. and Terlone, R. (1999) *Database Systems* McGraw Hill, Berkshire
3. Baaj, M. H., and Mahmassani, H. S. (1991) An AI-based approach for transit route system planning and design, *J. Adv. Transp.*, 25(2), 187–210
4. Baaj, M. H., and Mahmassani, H. S. (1995) Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks, *Transp. Res., Part C*, 3(1), 31–50
5. Berechman, Y. (1993) *Public transit economics and deregulation policy*, North-Holland, Amsterdam, The Netherlands
6. Black, A. (1995) *Urban mass transportation planning, McGraw-Hill series in transportation*, McGraw-Hill, New York, 411
7. Bodin, L., Golden, B. L., Assad A. and Ball, M. (1983) Routing and scheduling of vehicles and crews: The state of the arte, *Computers & Operations Research*, 10(20), 63-211
8. Ceder, A. (2001) Operational objective functions in designing public transport routes., *J. Adv. Transp.*, 35(2), 125–144
9. Ceder, A., and Israeli, Y. (1997) User and operator perspectives in transit network design, *Transportation Research Record*, 1623, 3–7
10. Ceder, A., and Wilson, N. H. M. (1986) Bus network design, *Transp.Res., Part B: Methodology*, 20B(4), 331–344
11. Chakroborty, P. (2003) Genetic algorithms for optimal urban transit network design, *Comput. Aided Civ. Infrastruct. Eng.*, 18(3), 184–200
12. Chang, S. K., and Schonfeld, P. M. (1991) Multiple period optimization of bus transit systems, *Transp. Res., Part B: Methodology*, 25B(6), 453–478
13. Chang, S. K., and Schonfeld, P. M. (1993a) Welfare maximization with financial constraints for bus transit systems, *Transportation Research Record*, 1395, 48–57

14. Chang, S. K., and Schonfeld, P. M. (1993b) Optimal dimensions of bus service zones, *J. Transp. Eng.*, 119(4), 567–585
15. Chien, S., Dimitrijevic, B., and Spacovic, L. (2003) Optimization of bus route planning in urban commuter networks, *J. Public Transportation*, 6(1), 53–80
16. Chien, S., and Spacovic, L. (2001) Optimization of grid bus transit systems with elastic demand, *J. Adv. Transp.*, 36(1), 63–91
17. Chua, T. A. (1984) The planning of urban bus routes and frequencies: A survey., *Transportation*, 12(2), 147–172
18. Constantin, I., and Florian, M. (1995) Optimizing frequencies in a transit network: A nonlinear bi-level programming approach, *Int. Trans.in Oper. Res.*, 2(2), 149–164
19. Delle Site, P., and Filippi, F. (2001) Bus service optimization with fuel saving objective and various financial constraints, *Transp. Res. A*, 35(2), 163–182
20. Fan, W., and Machemehl, R. (2004) Optimal transit route network design problem: Algorithms, implementations, and numerical results, *Rep. SWUTC/04/167244-1*, Center for Transportation Research, Univ. of Texas at Austin, Tex.
21. Fan, W., and Machemehl, R. (2006a) Optimal transit route network design problem with variable transit demand: A genetic algorithm approach, *J. Transp. Eng.*, 132(1), 40–51
22. Fan, W., and Machemehl, R. (2006b) Using a simulated annealing algorithm to solve the transit route network design problem, *J. Transp. Eng.*, 132(2), 122–132
23. Fielding, G. L. (1987) *Managing public transit strategically*, Jossey-Bass Publishers, San Francisco
24. Fisher, M. (1995) Vehicle routing, *Handbooks in Operations Research and management Science*, Volume 8, 1-33, Elsevier, Amsterdam
25. Fisher, M. (2003) GIS and Network Analysis, *Handbook 5 : Transport Geography and Spatial Systems*, Pergamon

26. Golden, G. B. and Assad, A. A. (1986) Perspectives on vehicle routing. Exciting new developments, *Operations Research*, 14, 803-810
27. Goodchild, M. F. (1998) Geographic information systems and disaggregate transportation modeling *Geographical Systems*, 5, 19-44
28. Hasselström, D. (1981) Public transportation planning — A mathematical programming approach, *Ph.D. thesis, Dept. of Business Administration*, Univ. of Göteborg, Sweden
29. Hurdle, V. F. (1973) Minimum cost locations for parallel public transit lines, *Transp. Sci.*, 7(4), 340–350
30. Kepaptsoglou K., and Karlaftis M. (2009) Transit Route Network Design Problem : Review, *J. of Trans. Eng.*, 491-503
31. Lampkin, W., and Saalmans, P. D. (1967) The design of routes, service frequencies and schedules for a municipal bus undertaking: A case study, *Oper. Res. Q.*, 18, 375–397
32. Lee, Y.-J., and Vuchic, V. R. (2005) Transit network design with variable demand, *J. Transp. Eng.*, 131(1), 1–10
33. Levinson, H. S. (1992) System and service planning, *Public transportation*, 2nd Ed., G. E. Gray and L. A. Hoel, eds., Prentice-Hall, New York
34. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W. (2001) *Geographic Information Systems and Science*, John Wiley, Chichester
35. Mandl, C. E. (1980) Evaluation and optimization of urban public transportation networks, *Eur. J. Oper. Res.*, 5(6), 396–404
36. Miller, H.J. and Shaw, S.L. (2001) *Geographic Information Systems for Transportation: Principles and Applications*, Oxford University Press, New York
37. Rodrigue, J-P, C. Comtois and B. Slack (2009), *The Geography of Transport Systems*, Second Edition, Routledge, New York

38. Russo, F. (1998) Transit frequencies design for enhancing the efficiency of public urban transportation systems: An optimization model and an algorithm, *Proc. 31st Int. Symp. on Automotive Technology and Automation*, Dusseldorf, Germany
39. Shaw, S.L. (2002) Book Review: Geographic Information Systems in Transportation Research, *Journal of Regional Science*, 42(2), 418-421
40. Tom, V. M., and Mohan, S. (2003) Transit route network design using frequency coded genetic algorithm, *J. Transp. Eng.*, 129(2), 186–195
41. Transport Research Board TRB (2003) *Transit capacity and quality of service manual*, National Research Council, Washington D.C.
42. Van Nes, R., and Bovy, P. H. L. (2000) The importance of objectives in urban transit network design, *Transportation Research Record*. 1735, 50–57
43. Van Nes, R., Hamerslag, R., and Immers, B. H. (1988) Design of public transport networks, *Transportation Research Record*, 1202, 74–83
44. Van Oudheusden, D. L., Ranjithan, S., and Singh, K. N. (1987) The design of bus route systems — An interactive location allocation approach, *Transportation*, 14(3), 253–270