

Η εφαρμογή των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στα Μοντέλα Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού

Γ. Κατσούλης*

Μηχανικός Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας Τ.Ε.
Διευθ. Κουρμούλη 2, 11145, Αθήνα

Α. Μοσχόπουλος

Μηχανικός Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας Τ.Ε.
ΤΡΙΑΣ Α.Ε. Μελετών, Γ. Σεφέρη 39, 54250, Θεσσαλονίκη

Κ. Ευαγγελίδης

Καθηγητής Εφαρμογών, Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας, ΤΕΙ Σεργών
Τέρμα Μαγνησίας, 62124, Σέρρες

Τηλ.: 2108315298, Φαξ: 2311250498, E-mail: gkatsou.geotopo@gmail.com

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το παρόν άρθρο επιχειρεί να επιβεβαιώσει την περιγραφή του πτυχιούχου του τμήματος Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Σεργών σύμφωνα με την οποία, ο απόφοιτος, μπορεί να υποστηρίξει εκτός των άλλων Συγκοινωνιακές Μελέτες. Προς την κατεύθυνση αυτή και στα πλαίσια πρακτικής άσκησης που εκπονήθηκε στο Ινστιτούτο Μεταφορών του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ/ΙΜΕΤ), πραγματοποιήθηκαν επεξεργασίες για την υποβοήθηση διαδικασιών συγκοινωνιακού σχεδιασμού που βασίστηκαν σε τεχνολογικά εργαλεία και μεθόδους της επιστήμης της Γεωπληροφορικής. Αυτές περιελάμβαναν, χωρίς να περιορίζονται, τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), για τη συλλογή και τον προσδιορισμό χωρικών συγκοινωνιακών χαρακτηριστικών. Επιπροσθέτως, περιελάμβαναν την εφαρμογή στοιχειωδών τοπογραφικών διεργασιών επί των δεδομένων αυτών, όπως προβολές, μετασχηματισμούς, γεωαναφορές, διορθώσεις κ.λπ., την εκτέλεση εξειδικευμένων και σύνθετων ερωτημάτων επί των δεδομένων, βασισμένων στη Γλώσσα Δομικής Αναζήτησης (SQL), τη δημιουργία χαρτογραφικού περιεχομένου καθώς και πολυάριθμες άλλες επεξεργασίες δεδομένων.

Λέξεις Κλειδιά: Δυναμικός Καταμερισμός, Οδικά Δίκτυα, Συγκοινωνιακός Σχεδιασμός, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών για τις Μεταφορές (GIS-T), Πληροφοριακά Συγκοινωνιακά Συστήματα

ABSTRACT: The present article aims to confirm, that graduates of the Geoinformatics & Surveying Department, as officially mentioned in their profile description, are capable to support beyond others, the performance of Traffic Studies. Toward this direction, and during traineeship at the Hellenic Institute of Transportation, works assisting transport engineering processes were performed based on technological tools and methods of Geoinformation Science. The above works included, without being limited, usage of Geographic Information Systems (GIS), for collecting and identifying spatial transportation features. In addition, they included the application of primitive land-surveying processes upon traffic data, such as projections, transformations, georeferences, corrections etc., the execution of specialized and complicated queries, based on Structured Query Language (SQL), the creation of cartographical content as well as numerous data processes.

Keywords: Dynamic Traffic Assignment, Road Networks, Transport Planning, Geographic Information Systems for Transportation (GIS-T), Transport Information Systems

Ι. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο συγκοινωνιακός σχεδιασμός (transport planning), αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία που έχει σα στόχο της, την εφαρμογή μιας σειράς ενεργειών και μέτρων για την αλλαγή της μορφής του συστήματος των μεταφορών ή τμημάτων αυτού, σε σχέση με την υφιστάμενη μορφή, ώστε να αντανakλά σε κάποια μελλοντική χρονική στιγμή, με βάση συγκεκριμένους στόχους και κριτήρια [1]. Μια μελέτη Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού απαιτεί τον προσδιορισμό του χρονικού ορίζοντα για τον οποίο επιχειρείται πρόβλεψη της κατάστασης ενός συστήματος μεταφορών σε κάποια μελλοντική χρονική στιγμή. Η πρόβλεψη του χρονικού ορίζοντα ονομάζεται "έτος στόχος" και συνήθως ορίζεται σε 10-20 χρόνια από την εκτέλεση της μελέτης.

Ο συγκοινωνιακός σχεδιασμός εκφράζεται από τις έννοιες της ζήτησης και την προσφοράς:

Η ζήτηση εκφράζει την ανάγκη για μετακίνηση ανθρώπων και αγαθών από μια περιοχή σε μια άλλη. Αυτή η ανάγκη προκύπτει από τη μη σύμπτωση των θέσεων κατοικίας και παραγωγής αγαθών καθώς επίσης και των θέσεων εκτέλεσης δραστηριοτήτων και κατανάλωσης αγαθών από τους ανθρώπους. Με βάση αυτή την ανάγκη δημιουργούνται νοητά άκρα που δηλώνουν την έναρξη μιας μετακίνησης ή αλλιώς την *προέλευση* (origin) και την λήξη της επικείμενης μετακίνησης ή αλλιώς τον *προορισμό* (destination) και μια νοητή ευθεία που ενώνει τα δυο άκρα και ονομάζεται γραμμή επιθυμίας (desire line) [3]. Για τον προσδιορισμό όλων των μετακινήσεων διεξάγονται έρευνες που στόχο έχουν τη συλλογή στοιχείων σχετικά με τα αίτια τους, τα χαρακτηριστικά τους, τις διαδρομές που ακολουθούνται κ.λπ., προσδιορίζοντας έτσι τη συμπεριφορά (attitude) των μετακινούμενων αναφορικά με την κινητικότητα τους [4]. Ο πιο γνωστός τύπος τέτοιων ερευνών είναι οι μελέτες *προέλευσης-προορισμού* (Π-Π) των μετακινήσεων προσώπων, αγαθών ή οχημάτων από μια περιοχή σε μια άλλη. Οι έρευνες αυτές διεξάγονται με δειγματοληπτικές έρευνες κατά τις οποίες το πλήθος των παρατηρήσεων κυμαίνεται από 5- 50% του πληθυσμού, ανάλογα με το μέγεθος της υπό μελέτη περιοχής. Η συλλογή των

παρατηρήσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με έρευνες παρά την οδό, είτε με έρευνες ερωτηματολογίου στην κατοικία. Βασικό σημείο αναφοράς και ταξινόμησης των δεδομένων της έρευνας είναι η *κυκλοφοριακή ζώνη* (traffic analysis zone), που αποτελεί μικρό τμήμα της περιοχής μελέτης με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά, το μέγεθος της οποίας εξαρτάται από τον βαθμό λεπτομέρειας της μελέτης. Οι κυκλοφοριακές ζώνες αποτελούν την έναρξη και τον τερματισμό των μετακινήσεων και καθεμία τους αποτελείται από ένα νοητό κέντρο (γεωμετρικό κέντρο βάρους) που ονομάζεται *κεντροειδές* [1].

Πρόσφορα είναι η ικανότητα που παρέχουν οι υποδομές και οι τρόποι μεταφορών σε αυτές, στα πλαίσια ενός γεωγραφικά καθορισμένου συστήματος μεταφορών και για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο [7]. Με άλλα λόγια, η προσφορά εκφράζεται από την ποιότητα των υποδομών (ικανότητα), των υπηρεσιών (συχνότητα) και των δικτύων. Προσφερόμενο σύστημα ή αλλιώς σύστημα μεταφορών, μπορεί να οριστεί ένας χώρος με υποδομές που παρέχουν τη δυνατότητα να κινούνται σε αυτές οχήματα παράγοντας κατ' αυτό τον τρόπο ροές κυκλοφορίας [8]. Η πλήρης ικανοποίηση της ζήτησης (μετακινήσεις) μέσα από την προσφορά (σύστημα μεταφορών) ονομάζεται σημείο ισορροπίας (equilibrium point). Σημείο ισορροπίας σε ένα γραμμικό συνδυασμό κόστους-χρόνου μπορεί να οριστεί η τομή της συνάρτησης της αυξανόμενης προσφοράς με την συνάρτηση της μειούμενης ζήτησης [7].

Μια από τις σημαντικότερες διεργασίες του κοινωνιακού σχεδιασμού είναι η πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης για μετακινήσεις με χρήση των τεσσάρων βημάτων: α) της γένεσης των μετακινήσεων, β) της κατανομής των μετακινήσεων, γ) του καταμερισμού κατά μέσο και δ) του καταμερισμού στο δίκτυο. Η γένεση των μετακινήσεων προσδιορίζεται από την επιθυμία των ανθρώπων για μετακίνηση από μία περιοχή σε μια άλλη δημιουργώντας μια σχέση παραγωγής και έλξης ή αλλιώς παραγόμενων και ελκυσόμενων μετακινήσεων. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν και την παραγωγή και την έλξη των μετακινήσεων και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, σε παράγοντες θέσης και χρήσεων γης και σε παράγοντες προσιτότητας της κάθε κυκλοφορικής ζώνης [3]. Η ποσοτική εκτίμηση των μετακινήσεων σε μια κυκλοφοριακή ζώνη υπολογίζεται με μια από τις μεθόδους *ανάλυσης κατά κατηγορίες*, που έχει βασική μονάδα θεώρησης το νοικοκυριό και τα χαρακτηριστικά του και της *ανάλυσης παλινδρόμησης* που εκφράζει τον αριθμό των παραγόμενων ή ελκυσόμενων μετακινήσεων σε συνάρτηση των κοινωνικό-οικονομικών και λοιπών χαρακτηριστικών κάθε ζώνης [1]. Η κατανομή των μετακινήσεων στο χώρο αποτελεί το δεύτερο βήμα και περιλαμβάνει τον υπολογισμό των προελεύσεων και των προορισμών και την κατανομή τους σε κυκλοφοριακές ζώνες μέσα στη περιοχή μελέτης. Οι

μέθοδοι υπολογισμού για την κατανομή των μετακινήσεων στο χώρο διακρίνονται ως *μέθοδοι συντελεστή ανάπτυξης* (Growth Factor Methods), με χαρακτηριστικό τους την εκτίμηση ότι ο τρέχων ρυθμός μεταβολής των μετακινήσεων θα διατηρηθεί ίδιος και στο μέλλον και ο αριθμός τους θα μεταβληθεί γεωμετρικά κατά ένα σταθερό συντελεστή, και ως *αναλυτικές μέθοδοι με υποκατηγορίες τα υποδείγματα βαρύτητας και ευκαιριών* [1]. Ο καταμερισμός κατά μέσο αποτελεί το τρίτο βήμα και έχει στόχο τον καταμερισμό των προσώπων ή των αγαθών στα διάφορα μεταφορικά μέσα (αυτοκίνητο, δημόσιες συγκοινωνίες, πεζή κ.λπ.) ώστε να προκύψουν οι μετακινήσεις μεταξύ των κυκλοφοριακών ζωνών ανά μέσο [1]. Για τον καταμερισμό των μετακινήσεων κατά μέσο χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες μέθοδοι και τεχνικές, τρεις από τις οποίες είναι η *ανάλυση κατά κατηγορίες*, η *ανάλυση απλής ή πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης* και η *δημιουργία ειδικών καμπυλών διαχωρισμού* (diversion curvers). Ο καταμερισμός στο δίκτυο αποτελεί το τέταρτο και τελευταίο βήμα της πρόβλεψης μελλοντικών μετακινήσεων και αφορά σε μια διαδικασία καταμερισμού των αποτελεσμάτων των δυο προηγούμενων βημάτων, της κατανομής των μετακινήσεων και του καταμερισμού κατά μέσο, πάνω σε ένα δίκτυο μεταφορών. Σε περιπτώσεις αστικού δικτύου, ο καταμερισμός γίνεται με χρήση ειδικών αλγορίθμων λόγω της πολυπλοκότητας του δικτύου. Βασικός στόχος του καταμερισμού στο δίκτυο είναι η παραγωγή κυκλοφοριακών φόρτων σε κάθε τμήμα του δικτύου. Οι διαδικασίες καταμερισμού στο δίκτυο περιλαμβάνουν την *τεχνική εύρεσης των διαδρομών*, που λαμβάνει υπόψη τη λογική με την οποία οι μετακινούμενοι θεωρείται ότι κάνουν την επιλογή της διαδρομής τους με βάση το μικρότερο κόστος ή χρόνο διαδρομής και τη *μέθοδο καταμερισμού των μητρώων Π-Π* των μετακινήσεων στις διάφορες διαδρομές με πιο γνωστή αυτή του καταμερισμού τύπου *όλα-ή-τίποτα* (all-or-nothing) [1].

Ο κοινωνιακός σχεδιασμός προσεγγίζεται από δυο αντιλήψεις: την κλασική αντίληψη ενός συνόλου μαθηματικών σχέσεων (αλγορίθμων) που χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τον τρόπο και τις επιλογές των μετακινούμενων ανθρώπων και αγαθών σε ένα δίκτυο μεταφορών με χρήση κάποιων βημάτων και τη μοντέρνα αντίληψη που αποτελεί μια αυτοματοποιημένη κλασική διαδικασία μέσω υπολογιστή. Για τη δημιουργία ενός μοντέλου κοινωνιακού σχεδιασμού ακολουθούνται κάποια καθορισμένα βήματα/ διαδικασίες που κατά σειρά περιλαμβάνουν [2]:

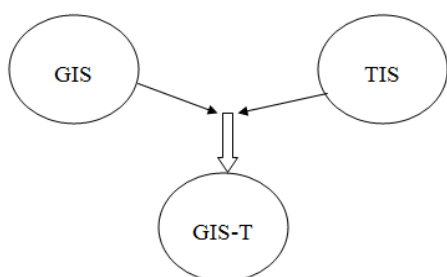
1. Ορισμό περιοχής μελέτης
2. Συλλογή στοιχείων
3. Ανάπτυξη Μαθηματικού Μοντέλου
4. Βαθμονόμηση Μοντέλου
5. Πρόβλεψη μεταβλητών σχεδιασμού
6. Εφαρμογή μοντέλου

7. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Τα παραπάνω βήματα αυτοματοποιούνται μέσα από πλήρη πακέτα συγκοινωνιακών λογισμικών που διατίθενται στην αγορά. Δημοφιλή συγκοινωνιακά λογισμικά είναι το Cube [12], το Saturn [13], το Emme2 [14], το Vissum [15], το Vista κ.α. Το VISTA (Visual Interactive System for Transport Algorithms), που έχει χρησιμοποιηθεί στο εφαρμοσμένο μέρος της παρούσας εργασίας, αποτελεί ένα διαδικτυακό λογισμικό, με εξειδικευμένες υπορουτίνες (modules) που επιτρέπουν το δυναμικό καταμερισμό στο δίκτυο (Dynamic Traffic Assignment), εφαρμογή συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών GIS, μεγάλη γκάμα εξαγωγής αναφορών των αποτελεσμάτων, δυναμική δρομολόγηση (routing), προσομοίωση κυκλοφορίας και ευκολία πρόσβασης μέσω διεπαφής διαδικτύου [16].

II. ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών για τις Μεταφορές (GIS-T) αποτελούν ένα ευρύ πεδίο δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν τη χρήση των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών στις μεταφορές για σκοπούς σχεδιασμού, προγραμματισμού και διαχείρισης των συστημάτων των μεταφορών. Στα τέλη της δεκαετίας του '80 ξεκίνησε η ευρεία χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) στην έρευνα και τη διαχείριση των μεταφορών. Η πληθώρα των εφαρμογών τύπου GIS-T τα καθιστά απαραίτητα σε ποικίλες μελέτες μεταφορών, με χαρακτηριστικά παραδείγματα τον έλεγχο των τροχαίων ατυχημάτων που έχουν εμφανιστεί στο παρελθόν ή τον προγραμματισμό των μελλοντικών αλλαγών που μπορεί να εμφανιστούν σε ένα δίκτυο μεταφορών. Δεδομένου ότι ιστορικά το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας στις μεταφορές έχει πραγματοποιηθεί χωρίς τη χρήση ενός συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών, μια εφαρμογή στον τομέα των μεταφορών μπορεί να ωφεληθεί από τις προστιθέμενες χωρικό-αναλυτικές και χαρτογραφικές ικανότητες ενός συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών. Ένα GIS-T χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό ενός αναβαθμισμένου συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και ενός αναβαθμισμένου συστήματος συγκοινωνιακών πληροφοριών (TIS) [9].



Σχήμα 1 – Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών για τις Μεταφορές (GIS-T)

Σήμερα, με την ανάπτυξη των σχετικών τεχνολογιών, αρκετά λογισμικά πακέτα συγκοινωνιακού σχεδιασμού έχουν τη δυνατότητα γεωγραφικής προεπισκόπησης ή ακόμα και τροποποίησης του συγκοινωνιακού τους δικτύου μέσα από μια GIS εφαρμογή. Από την άλλη πλευρά, πολλά GIS λογισμικά πακέτα, μέσω των επεκτάσεων τους, μπορούν να παράγουν συγκοινωνιακά μοντέλα όμοια με αυτά των συγκοινωνιακών λογισμικών, πείθοντας και τους πιο απαιτητικούς συγκοινωνιολόγους, ότι η σύνθεση των παραδοσιακών ερευνητικών μεθόδων με την προστιθέμενη αξία των GIS θέτουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο που συνδυάζει κλασικές και καινοτόμες δραστηριότητες στο χώρο των μεταφορών.

Τα GIS-T υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από το σχεδιασμό έως την επιχειρησιακή λειτουργία και από τη διαχείριση υποδομών κοινής ωφέλειας έως την διαχείριση στόλων. Οι εφαρμογές που αφορούν στο κομμάτι του σχεδιασμού χαρακτηρίζονται από χαμηλό επίπεδο χωρικής ακρίβειας για το οποίο χρειάζεται μόνο ενημέρωση ή σπανίως πρόβλεψη, ενώ τα επιχειρησιακά συστήματα χαρακτηρίζονται από ανάγκες δεδομένων πραγματικού χρόνου και ένα υψηλό επίπεδο χωρικής ακρίβειας έτσι ώστε οι λειτουργίες των οχημάτων να συσχετίζονται με το σωστό δρόμο, ράμπα, ή λωρίδα όπως αυτά απεικονίζονται στη βάση δεδομένων. Ο πίνακας που ακολουθεί απεικονίζει τα είδη σχεδιασμού και λειτουργίας για τα οποία ένα σύστημα GIS-T παρέχει υποστήριξη [7]:

Πίνακας 1 Πλαίσιο ενός συστήματος GIS-T

	Επιβατικές Μεταφορές	Εμπορευματικές Μεταφορές
Σχεδιασμός		
Συστήματα	Συγκοινωνιακός σχεδιασμός	Σχεδιασμός διαχείρισης διακίνησης εμπορευμάτων
Έργο	Ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων	Σχεδιασμός υπηρεσιών
Λειτουργίες		
Προγραμματισμός	Ανάλυση κυκλοφορίας και οδικής ασφάλειας	Προγραμματισμός
Λειτουργίες και έλεγχος σε πραγματικό χρόνο	Συστήματα ευφών μεταφορών	Πλοήγηση οχημάτων και αποστολή εμπορικών οχημάτων

Τα περισσότερα συστήματα GIS έχουν αναπτυχθεί για να υποστηρίζουν πληροφορίες περιβαλλοντικές και χρήσεων γης, επικεντρώνοντας στα περιγραφικά χαρακτηριστικά των γεωγραφικών χωρικών δομών (σημεία, γραμμές και πολύγωνα). Με τη χρήση ενός

GIS-T παρέχονται τρία επιπλέον από τα υπάρχοντα βοηθήματα ειδικά για συγκοινωνιακές εφαρμογές [7].

- 1) Ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει το επίπεδο πληροφορίας που θέλει από ένα GIS-T. Για παράδειγμα μια κυκλοφοριακή μελέτη απαιτεί μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο δίκτυο από ότι ένας συγκοινωνιακός σχεδιασμός. Το GIS-T έχει τη δυνατότητα να παρουσιάζει ένα συγκοινωνιακό δίκτυο σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις μια συγκοινωνιακής εφαρμογής.
- 2) Με τη χρήση του GIS-T και με την τεχνική της δυναμικής τμηματοποίησης (dynamic segmentation) μπορεί να διευκολυνθεί η μετατροπή των μονοδιάστατων γραμμικών μετρήσεων σε διδιάστατα γραμμικά τμήματα αναφοράς με συντεταγμένες, με σκοπό την απεικόνιση και την ανάλυση των συγκοινωνιακών δεδομένων. Αυτή η μετατροπή είναι απαραίτητη για την προσαρμογή των διαδικασιών ενημέρωσης, παρουσίασης και εφαρμογής χωρικών ερωτημάτων πάνω σε δεδομένα με γραμμικό σύστημα αναφοράς.
- 3) Τα εργαλεία των συγκοινωνιακών μοντέλων στηρίζονται σε μεγάλο ποσοστό στην διαχείριση πινάκων. Μέσω του GIS-T, υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής των βάσεων δεδομένων σε πίνακες για συγκοινωνιακά μοντέλα, βοηθώντας έτσι στις διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων και στην αποδοτικότερη αξιολόγηση αλγορίθμων.

Η διείσδυση των GIS στα συγκοινωνιακά συστήματα οδήγησε τη διεθνή ερευνητική κοινότητα, πολλές φορές σε συνεργασία με ιδιωτικούς φορείς, στη δημιουργία πρότυπων-μοντέλων για το συμβολισμό και την απόδοση των χαρακτηριστικών των συγκοινωνιακών δεδομένων σε περιβάλλον με χωρική πληροφορία. Χαρακτηριστικά παραδείγματα γεωπληροφοριακών προτύπων αποτελούν το UNETRANS και το Enterprise GIS-T.

- Το Γεωπληροφοριακό Μοντέλο Δεδομένων UNETRANS εστιάζει στις ανάγκες των οργανισμών που διαχειρίζονται οδικά και σιδηροδρομικά Συγκοινωνιακά Δίκτυα και είναι ένα από τα πιο γνωστά πρότυπα μοντέλων δεδομένων GIS για τις μεταφορές. Με βάση τη λειτουργικότητα και τη μορφή των δεδομένων γίνεται ένας διαχωρισμός των εμπλεκόμενων αντικειμένων με κάποια χρονική αλληλουχία σε επιμέρους στρώματα: το Δίκτυο Αναφοράς (Reference Network Layer), τις Δρομολογήσεις (Route Features Layer) και τα Γεγονότα (Events Layer) [10].
- Το μοντέλο δεδομένων Enterprise GIS-T παρουσιάστηκε από τους Dueker και Butler με σκοπό τον διαμοιρασμό και την κοινή χρήση συγκοινωνιακών δεδομένων. Βασικό

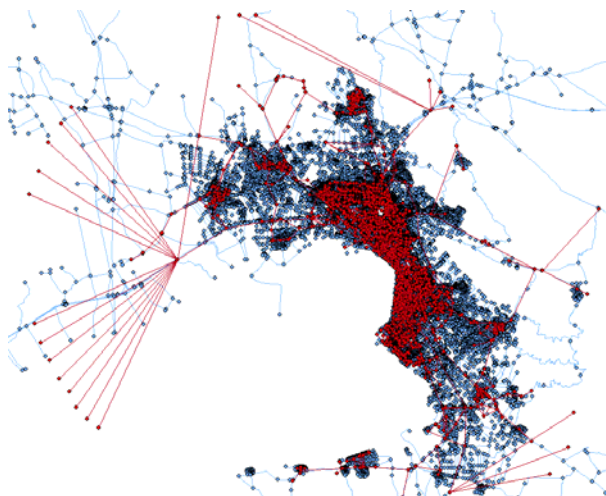
χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι ότι κάθε αντικείμενο διαθέτει ξεχωριστά τη γεωμετρία, την τοπολογία, και τις ιδιότητές του διευκολύνοντας έτσι την αποκλειστική ανανέωση και εξαγωγή στοιχείων. Η δομή του μοντέλου αποτελείται από οντότητες οι οποίες χρησιμεύουν για αποθήκευση των πληροφοριών καθώς και από σχέσεις που συνδέουν μεταξύ τους τις οντότητες. Οι οντότητες, με βάση τα χαρακτηριστικά τους, διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες: τα συγκοινωνιακά χαρακτηριστικά, τα χαρακτηριστικά δικτύου, τα χαρακτηριστικά συστημάτων Γραμμικής Αναφοράς (LRS) και τα χαρτογραφικά αντικείμενα [11].

III. ΕΦΑΡΜΟΓΗ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Κατά το εφαρμοσμένο μέρος του έργου εκτελέστηκε μια σειρά από δραστηριότητες που οδήγησαν στη δημιουργία ενός πλήρους, από χωρική και συγκοινωνιακή πληροφορία, δικτύου μεταφορών στο κυκλοφοριακό μοντέλο δυναμικού καταμερισμού VISTA. Οι δραστηριότητες περιελάμβαναν συλλογή δεδομένων, προσαρμογές και επεξεργασίες, τροφοδότηση του μοντέλου με προσαρμοσμένα δεδομένα, σχεδιασμό και εκτελέσεις σεναρίων και εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων.

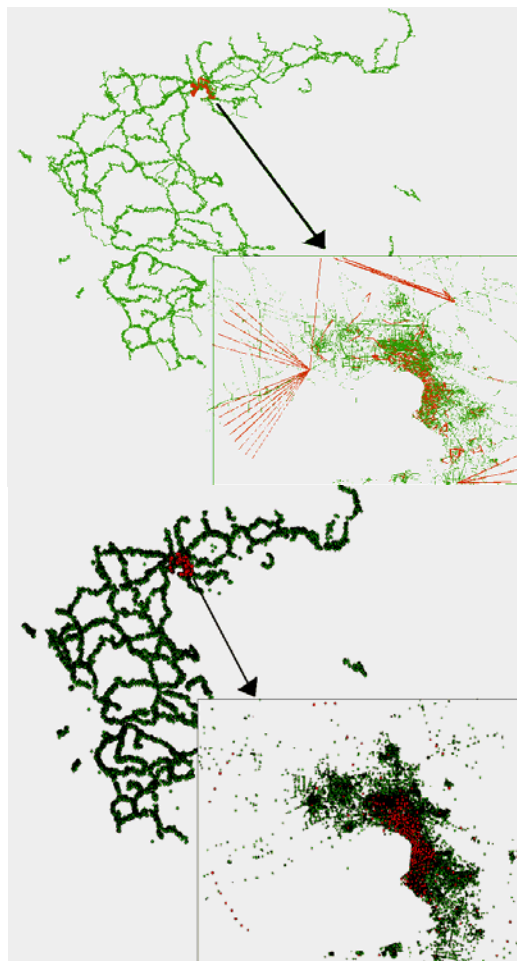
Η πρώτη δραστηριότητα του εφαρμοσμένου μέρους του έργου περιελάμβανε τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων. Τα πρωτογενή δεδομένα κατηγοριοποιούνται σε δεδομένα προσφοράς και δεδομένα ζήτησης. Τα δεδομένα προσφοράς αποτελούνται από χωρικά δεδομένα σε μορφή σημειακών (κόμβοι) και γραμμικών (οδικά τμήματα) θεματικών επιπέδων GIS, τύπου shapefiles (χωρικά γεω-δεδομένα του Νομού Θεσσαλονίκης και συγκοινωνιακά χωρικά δεδομένα της πόλης της Θεσσαλονίκης) και από δεδομένα διαχείρισης κυκλοφορίας για το πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης που περιλαμβάνουν χρονομετρήσεις των ενδείξεων των φωτεινών σηματοδοτών σε κόμβους κεντρικών οδικών αξόνων. Τα δεδομένα ζήτησης αποτελούν τα δεδομένα του μητρώου Προέλευσης – Προορισμού το οποίο είναι παράγωγο κυκλοφοριακής μελέτης που πραγματοποιήθηκε στο πολεοδομικό συγκρότημα το 1998 και περιλαμβάνει μετρήσεις διάρκειας μιας ώρας σε περίοδο αιχμής. Όλα τα δεδομένα, εκτός των δεδομένων διαχείρισης κυκλοφορίας, που χρησιμοποιήθηκαν για το στάδιο της επεξεργασίας, εξασφαλίστηκαν μέσω του Ινστιτούτου Μεταφορών του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (EKETA/IMET). Τα δεδομένα διαχείρισης κυκλοφορίας συλλέχθηκαν από προσωπικές μετρήσεις στο πεδίο για λογαριασμό του Ινστιτούτου Μεταφορών στα πλαίσια εκπόνησης πρακτικής άσκησης. Στο σχήμα 2 αποτυπώνεται εποπτικά το

σύνολο των αρχικών θεματικών επιπέδων των δεδομένων προσφοράς και ζήτησης.



Σχήμα 2 – Θεματικά επίπεδα δεδομένων προσφοράς και ζήτησης

Η δεύτερη δραστηριότητα περιελάμβανε την προσαρμογή των χωρικών δεδομένων μέσα από επεξεργασίες και τροποποιήσεις με απώτερο σκοπό τη δημιουργία συμβατών και ολοκληρωμένων κυκλοφοριακών δεδομένων για την εισαγωγή τους στο κυκλοφοριακό μοντέλο VISTA. Το σύνολο των διαδικασιών της δραστηριότητας πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS 9.2 της ESRI. Οι διαδικασίες αυτές περιελάμβαναν τη γεωαναφορά όλων των χωρικών δεδομένων σε ενιαίο σύστημα γεωγραφικής αναφοράς (σε ΕΓΣΑ'87), απόσπαση επιμέρους συγκοινωνιακής χωρικής πληροφορίας (κεντροειδή και συνδετήριοι σύνδεσμοι των κυκλοφοριακών ζωνών) από τα συγκοινωνιακά χωρικά δεδομένα (δίκτυο), τροποποιήσεις των βάσεων των χωρικών γεω-δεδομένων για προσθήκη της αποσπώμενης συγκοινωνιακής πληροφορίας, γεωμετρική προσαρμογή της συγκοινωνιακής πληροφορίας για την χωρική της ταύτιση με τα χωρικά γεω-δεδομένα και τέλος, ενσωμάτωση των προσαρμοσμένων συγκοινωνιακών δεδομένων στα χωρικά γεω-δεδομένα και παραγωγή του τελικού κυκλοφοριακού δικτύου (δίκτυο προσφοράς). Η τελική μορφή του κυκλοφοριακού δικτύου αποτελείται από δύο χωρικά δεδομένα σε μορφή σημειακών και γραμμικών αντίστοιχα, θεματικών επιπέδων GIS τύπου shapefiles με πλήρη χωρική και συγκοινωνιακή πληροφορία (Σχήμα 3). Τα σημειακά θεματικά επίπεδα κατηγοριοποιούνται, με βάση τη λειτουργία τους στο μοντέλο, σε οδικούς κόμβους και κεντροειδή κυκλοφοριακών ζωνών με τις αντίστοιχες πληροφορίες στις βάσεις δεδομένων τους. Τα γραμμικά θεματικά επίπεδα κατηγοριοποιούνται, με βάση τη λειτουργία τους στο μοντέλο, σε οδικά τμήματα και συνδετήριους συνδέσμους με τις αντίστοιχες βάσεις δεδομένων τους.



Σχήμα 3 – Προσαρμογές δικτύων (γραμμικά επάνω, σημειακά κάτω)

Η τρίτη δραστηριότητα περιελάμβανε την τροφοδότηση του κυκλοφοριακού μοντέλου VISTA με τα δεδομένα προσφοράς και ζήτησης. Η εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο VISTA πραγματοποιήθηκε με τη χρήση βοηθητικών λογισμικών GIS ανοικτού κώδικα και βάσεων δεδομένων και συγκεκριμένα: το σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων PostgreSQL [17] και το εργαλείο διαχείρισης PgAdmin III [19] καθώς και τα λογισμικά GIS PostGIS [18] και u-Dig [20]. Το κυκλοφοριακό μοντέλο VISTA διαχειρίζεται τα δεδομένα του μέσα από σχεσιακές βάσεις δεδομένων και ως εκ τούτου απαιτούνται επεξεργασίες βασισμένες στο πρότυπο δομημένης αναζήτησης SQL. Για το σκοπό αυτό αρχικά μετασχηματίστηκαν τα δεδομένα των θεματικών επιπέδων GIS σε αρχεία τύπου SQL μέσα από το περιβάλλον της PostgreSQL. Έπειτα δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων για να φιλοξενήσει τα δεδομένα προσφοράς. Η εισαγωγή των δεδομένων σε μορφή εντολών πραγματοποιήθηκε επίσης με χρήση του προτύπου SQL στο ίδιο περιβάλλον. Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής, τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν προσωρινά στη βάση δεδομένων του μαθηματικού υποδείγματος (μοντέλο), χωρίς ωστόσο

να περιέχουν τη χωρική πληροφορία του δικτύου προσφοράς. Για τη δημιουργία του δικτύου προσφοράς χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PgAdmin III και με χρήση εντολών δομημένης αναζήτησης SQL ολοκληρώθηκε η τροφοδότηση του μαθηματικού υποδείγματος. Οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν διαχώρισαν και κατηγοριοποίησαν σε διάφορους πίνακες της βάσης δεδομένων τους κόμβους, τα οδικά τμήματα, τους συνδετήριους συνδέσμους, τα κεντροειδή των ζωνών και την γεωμετρία των δεδομένων. Παράδειγμα εντολής δομικής αναζήτησης SQL για δημιουργία γεωμετριών, αποτυπώνεται ως ακολούθως:

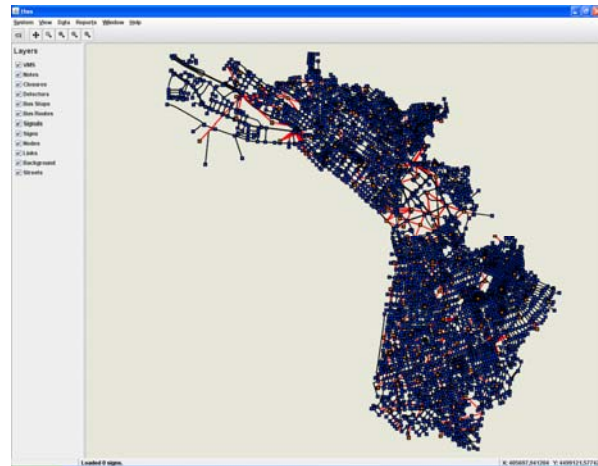
```
CREATE OR REPLACE FUNCTION path (TEXT)
RETURNS PATH
AS $$
DECLARE result PATH; BEGIN SELECT INTO result $1; RETURN result; END;
$$ LANGUAGE 'plpgsql';
```

```
CREATE CAST (TEXT AS PATH) WITH FUNCTION path (TEXT);
```

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION geometry2path (GEOMETRY)
RETURNS PATH
AS $$
SELECT ( ' ' || replace( replace( AsText( $1 ), 'LINESTRING'
, ' ' ), ' ' ), ' ' ) || ' ' )::PATH
$$ LANGUAGE 'sql';
```

Με όμοιο τρόπο πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή επιπρόσθετων κυκλοφοριακών δεδομένων όπως ο αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας των οδικών τμημάτων. Τα επιπρόσθετα δεδομένα αποτελούν παράγωγα έρευνας, σε κεντρικούς οδικούς άξονες του Δήμου Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα διαχείρισης κυκλοφορίας εισήχθησαν με τη χρήση εργαλείου γεωγραφικής απεικόνισης και επεξεργασίας δικτύου του VISTA, γνωστό ως VISTA Editor. Τα δεδομένα ζήτησης (μητρώο Προορισμού-Προέλευσης) εισήχθησαν στη βάση δεδομένων του VISTA με τη χρήση της διαδικασίας εισαγωγής εξωτερικού πίνακα του λογισμικού PgAdmin III.

Με την ολοκλήρωση της προσαρμογής και της τροφοδότησης του μαθηματικού υποδείγματος, δημιουργήθηκε ένα ολοκληρωμένο δίκτυο προσφοράς (Σχήμα 4) αποτελώντας μέρος ενός πλήρους μοντέλου δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας.



Σχήμα 4 – Το δίκτυο Προσφοράς στο VISTA

Στην τέταρτη δραστηριότητα του εφαρμοσμένου μέρους ακολουθεί ο σχεδιασμός των σεναρίων. Αρχικά ορίστηκε η περιοχή μελέτης που εφαρμόστηκε η εκτέλεση των σεναρίων. Η περιοχή μελέτης ορίστηκε μέσα στα όρια του Δήμου Θεσσαλονίκης όπου τα συγκοινωνιακά προβλήματα είναι πιο οξυμένα και η πληρότητα των δεδομένων ζήτησης και διαχείρισης που συλλέχτηκαν ήταν ικανή για τη δημιουργία των σεναρίων. Τα σενάρια, τρία στον αριθμό, αποτελούνταν από το αρχικό ή αλλιώς μηδενικό σενάριο που περιελάμβανε την προσομοίωση του δικτύου βάσει της υφιστάμενης κατάστασης, το δεύτερο σενάριο που περιελάμβανε την προσομοίωση του δικτύου βάσει της υφιστάμενης κατάστασης συμπεριλαμβανόμενων των δεδομένων διαχείρισης κυκλοφορίας (σηματοδότηση) και το τρίτο σενάριο που περιελάμβανε την προσομοίωση του δικτύου μετά από βελτιστοποίηση της σηματοδότησης.

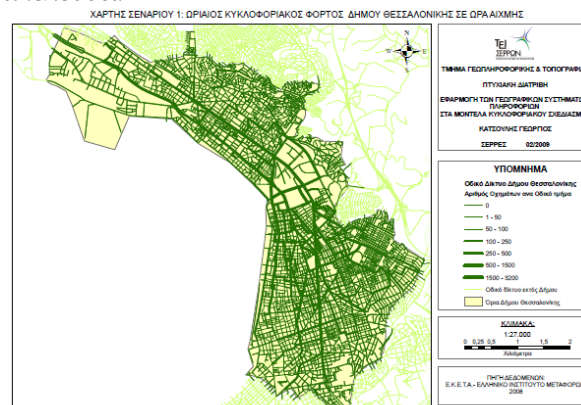
Στην πέμπτη δραστηριότητα πραγματοποιήθηκε η εκτέλεση των σεναρίων. Στον Πίνακα 2 που ακολουθεί αποτυπώνονται για τα σενάρια που εκτελέστηκαν, οι προκαταρκτικές ενέργειες καθώς και οι απαιτούμενες υπορουτίνες του λογισμικού VISTA που απαιτήθηκε να εκτελεστούν.

Πίνακας 2 – Προκαταρκτικές Ενέργειες και Υπορουτίνες VISTA για την εκτέλεση των συγκοινωνιακών σεναρίων

Σενάριο	Προκαταρκτικές Ενέργειες	Υπορουτίνες VISTA
1: Προσομοίωση του δικτύου βάσει της υφιστάμενης κατάστασης	Αντιγραφή του δικτύου προσφοράς που εισήχθηκε από τη δραστηριότητα της τροφοδότησης σε μια νέα βάση δεδομένων που αποτελεί το αρχικό σενάριο	<i>Validate Data:</i> Επικύρωση των δεδομένων δικτύου, ζήτησης, έλεγχου και των άλλων δεδομένων εισόδου <i>Cell Generator:</i> Ανάλυση του δικτύου για σκοπούς προσομοίωσης <i>Prepare Demand:</i> Προετοιμασία δεδομένων ζήτησης <i>DTA-Path Generation:</i> Παραγωγή διαδρομών στο δίκτυο <i>DTA- Dynamic User Equilibrium:</i> Δυναμική ισορροπία χρηστών στο δίκτυο <i>Import Results:</i> Εισαγωγή των αποτελεσμάτων του καταμερισμού και της προσομοίωσης στη βάση του σεναρίου
2: Προσομοίωση του δικτύου βάσει της υφιστάμενης κατάστασης συμπεριλαμβανόμενων των δεδομένων διαχείρισης κυκλοφορίας (σηματοδότηση)	Αντιγραφή της βάσης και των παραγώγων δεδομένων από την προσομοίωση του αρχικού σεναρίου σε μια νέα βάση-δεύτερο σενάριο. Προσθήκη των δεδομένων διαχείρισης κυκλοφορίας	<i>Simulate:</i> Προσομοίωση κυκλοφορίας μετά την εισαγωγή των νέων δεδομένων <i>Import Results:</i> Εισαγωγή των νέων αποτελεσμάτων καταμερισμού και προσομοίωσης στην βάση του σεναρίου
3: Προσομοίωση του δικτύου μετά από βελτιστοποίηση της σηματοδότησης	Αντιγραφή της βάσης και των παραγώγων δεδομένων από την προσομοίωση του δευτέρου σεναρίου σε μια νέα βάση	<i>Optimize Signal:</i> Βελτιστοποίηση των χρόνων της σηματοδότησης <i>DTA-Path Generator:</i> Παραγωγή νέων διαδρομών μετά την βελτιστοποίηση. <i>DTA-Dynamic User Equilibrium:</i> Παροχή δυναμικής ισορροπίας χρηστών στο δίκτυο <i>Import Results:</i> Εισαγωγή των αποτελεσμάτων καταμερισμού και προσομοίωσης στην βάση του τρίτου σεναρίου

Η έκτη δραστηριότητα αφορούσε την εξαγωγή και παρουσίαση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων των τριών σεναρίων, με δυο τρόπους, με τη μορφή αναφορών για κάθε σενάριο και με τη μορφή χαρτοσυνθέσεων. Η δημιουργία των αναφορών πραγματοποιήθηκε με εκτέλεση της εντολής αναφοράς General Report του VISTA. Το σύνολο των αποτελεσμάτων που αφορούν στην προσομοίωση του δικτύου περιγράφονται στη γενική αναφορά (General Report) και παρουσιάζονται μέσω

πινάκων και γραφημάτων. Για τη δημιουργία των χαρτοσυνθέσεων πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε πίνακες με χρήση του λογισμικού PgAdmin III και με χρήση εντολών δομημένης αναζήτησης SQL, και η εισαγωγή τους στο ArcGIS 9.2 για τη δημιουργία χαρτοσυνθέσεων. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης οπτικοποιούνται μέσω διαβαθμίσεων χρωμάτων και μεγεθών στους χάρτες, όπως χαρακτηριστικά απεικονίζεται στο Σχήμα 5 που ακολουθεί.



Σήμερα με τη χρήση των τεχνολογιών πληροφορικής παρέχεται η δυνατότητα διαχείρισης της χωρικής πληροφορίας και χωρικής αναπαράστασης του συγκοινωνιακού δικτύου καθώς και οπτικοποίησης των συγκοινωνιακών γεγονότων που λαμβάνουν χώρα σε αυτό, με αποτέλεσμα την ταχύτερη και βέλτιστη λήψη αποφάσεων.

- Η δυνατότητα ενσωμάτωσης χωρικής πληροφορίας σε συγκοινωνιακές βάσεις δεδομένων προσδίδει τα πλεονεκτήματα της εξειδικευμένης αναζήτησης που εγγενώς παρέχει ένα σύστημα διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Δεδομένα όπως οι στάσεις ενός λεωφορείου ή ένα ατύχημα που αποτελούν συγκοινωνιακά δεδομένα, μπορούν εύκολα να προσδιοριστούν χωρικά μέσω των συντεταγμένων θέσης τους. Επιπρόσθετα, η χρήση τεχνολογιών γεωπληροφορικής όπως για παράδειγμα το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) καθιστά δυνατή τη χωροθέτηση συγκοινωνιακών αντικειμένων και την σε πραγματικό χρόνο τήρησή τους σε μια συγκοινωνιακή βάση δεδομένων.

Συμπερασματικά και από τις επεξεργασίες που εκτελέστηκαν προκύπτει εμφανώς ότι η τεχνολογική κατάρτιση που αποκτά ένας πτυχιούχος του τμήματος Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας κατά τη διάρκεια των σπουδών του είναι ικανή να τον καταστήσει πολύτιμο συνεργάτη ενός συγκοινωνιολόγου μηχανικού σε ζητήματα που άπτονται του ευρύτερου πεδίου του συγκοινωνιακού σχεδιασμού.

V. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν το Ινστιτούτο Μεταφορών (I.MET.) του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ) για την παροχή των λογισμικών καθώς και τον Ευάγγελο Μητσάκη, επιστημονικό συνεργάτη του Ινστιτούτου Μεταφορών για την καθοδήγησή και την υποστήριξη που παρείχε στο εφαρμοσμένο μέρος του έργου.

VI. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Γεώργιος Γιαννόπουλος (2002), «Σχεδιασμός των μεταφορών», εκδ. Παρατηρητής Θεσ/νικη
- [2] Α. Καλτσούνης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Εργαστήριο συγκοινωνιακής τεχνικής, Διδακτικές σημειώσεις http://www.survey.ntua.gr/main/labs/roads/Roads-g_files/Edu-g_files/Edu-82-g.html Ημ. Πρόσβασης 14/12/2008 20:32
- [3] Κ. Γ. Αμπακουμκίν, (2000) «Σχεδιασμός Μεταφορικών Συστημάτων (Μεταφορές Ι)», εκδ. Συμμετρία Αθήνα
- [4] Αθανάσιος Αραβαντινός (1997), «Πολοδομικός σχεδιασμός για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου», εκδ. Συμμετρία, Αθήνα.
- [5] Γεώργιος Γιαννόπουλος (2003), «Μετρήσεις και έρευνες για την ανάλυση των χαρακτηριστικών της κυκλοφορίας και των μετακινήσεων», εκδ. Παρατηρητής α' έκδοση Θεσ/νικη
- [6] Γεώργιος Γιαννόπουλος (1986), «Σχεδιασμός των μεταφορών και κυκλοφοριακή τεχνική», τόμος 2 Β' έκδοση εκδ. Παρατηρητής Θεσ/νικη
- [7] David A. Hensher, Kenneth J. Button (2000), «Handbook of Transport Modelling, Handbooks in transport volume 1», εκδ. Pergamon
- [8] Κων/νος Ευαγγελίδης (2005), Διδακτορική διατριβή «Συμβολή στο σχεδιασμό και την βελτιστοποίηση προτύπων γεωπληροφορικών μοντέλων δεδομένων και βάσεων δεδομένων για συγκοινωνιακά», Θεσσαλονίκη
- [9] Jean-Claude Thill (2000), «Geographic information systems for transportation in perspective», Transport Research part C8 εκδ. Pergamon
- [10] Kevin Curtin, Valerian Noronha, Mike Goodchild and Steve Grisé (2001), ArcGIS Transportation Data Model Reference, ESRI and Regents of the University <http://support.esri.com/index.cfm?fa=downloads.dataModels.filteredGateway&dmdid=14> Ημ. Πρόσβασης 15/01/2009 12:42
- [11] Kenneth J. Dueker, J. Allison Butler (2000), A geographic information systems framework for transportation data sharing, Transport Research part C8 εκδ. Pergamon
- [12] Επίσημη ιστοσελίδα του Citilabs Cube 5 λογισμικού http://www.citilabs.com/cube_brochure.html#http://www.citilabs.com/pagelader/broch_cube/en/broch_cube.htm Ημ. Πρόσβασης 17/11/2008 21:58
- [13] Επίσημη ιστοσελίδα του Atkins Saturn λογισμικού <http://www.saturnsoftware.co.uk/7.html> Ημ. Πρόσβασης 18/12/2008 14:52
- [14] Επίσημη ιστοσελίδα του INRO Emme2 λογισμικού <http://www.inro.ca/en/index.php> Ημ. Πρόσβασης 18/12/2008 18:12
- [15] Επίσημη ιστοσελίδα της PTV AG:Visum <http://www.ptvag.com/traffic/software-system-solutions/visum/> Ημ. Πρόσβασης 27/12/2008 12:12
- [16] Επίσημο site του Vista Transport Group inc <http://www.vistatransport.com/products/> Ημ. Πρόσβασης 12/12/2008 10:35
- [17] Επίσημη ιστοσελίδα της PostgreSQL <http://www.postgresql.org/about/> Ημ. Πρόσβασης 28/01/2008 20:35

- [18] Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια Wikipedia για το PostGIS
<http://en.wikipedia.org/wiki/PostGIS> Ημ. Πρόσβασης
28/01/2008 20:35
- [19] Επίσημη ιστοσελίδα της PgAdmin
<http://www.pgadmin.org/> Ημ. Πρόσβασης 28/01/2008 21:02
- [20] Επίσημη ιστοσελίδα του uDig
<http://udig.refrains.net/> Ημ. Πρόσβασης 28/01/2008 22:22

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Γεώργιος Κατσούλης

Μηχανικός Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας Τ.Ε.

Διευθ. Κουρμούλη 2, 11145, Αθήνα - ΕΛΛΑΣ

Τηλ.: 2108315298, Φαξ: 2311250498

E-mail: gkatsou.geotopo@gmail.com

Χωρογραφίες/ Τόμος 1/ Αρ 1/ 2010 – σελ 31-39

