

Απαιτήσεις Προσαρμογής Οδικών Δικτύων και Τροφοδότησης Μαθηματικού Υποδείγματος Δυναμικού Καταμερισμού της Κυκλοφορίας. Εφαρμογή στην Πόλη της Θεσσαλονίκης.

**Κατσούλης Γεώργιος¹, Μητσάκης Ευάγγελος², Πολίτης Ιωάννης³, Ευαγγελίδης
Κωνσταντίνος⁴,**

1. Μηχανικός Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας Τ.Ε., gkatsou.geotopo@gmail.com
Θεσσαλονίκη
2. Επιστημονικός Συνεργάτης Ινστιτούτου Μεταφορών/EKETA, emit@certh.gr
3. Εργαστηριακός Συνεργάτης ΤΕΙ Σερρών, pol@civil.auth.gr
4. Επιστημονικός Συνεργάτης ΤΕΙ Σερρών, kevan@teiser.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σημαντικό τμήμα της διαδικασίας του Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού αποτελεί η τροφοδότηση των μοντέλων προσομοίωσης και καταμερισμού της κυκλοφορίας με τα απαιτούμενα δεδομένα προσφοράς καθώς η επιτυχής έκβαση της διαδικασίας αυτής επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων για τα εξεταζόμενα σε κάθε περίπτωση κυκλοφοριακά σενάρια. Οι εξελίξεις που λαμβάνουν χώρα στον τομέα της διαχείρισης πληροφοριών χώρου καθιστούν την επιστήμη της Γεωπληροφορικής και των αλληλένδετων με αυτήν τεχνολογιών, σημαντικό αρωγό προς την κατεύθυνση της ενίσχυσης της παραπάνω διαδικασίας.

Στα πλαίσια του παρόντος άρθρου μελετώνται οι απαιτήσεις τροφοδότησης μοντέλων δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας και προτείνεται μια νέα μέθοδος για την κωδικοποίηση των οδικών δικτύων με βάση τα χωρικά και συγκοινωνιακά τους χαρακτηριστικά. Η υιοθέτηση μιας γενικευμένης και κοινά αποδεκτής μεθόδου απόδοσης των οδικών δικτύων από τους εμπλεκόμενους στον τομέα του Συγκοινωνιακού Σχεδιασμού αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την εξέταση πολυσύνθετων σεναρίων και την αξιοποίηση ενός μεγάλου όγκου σχετικών πληροφοριών προσφοράς.

Λέξεις κλειδιά: Οδικά Δίκτυα, Κωδικοποίηση δικτύων, Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών για τις Μεταφορές (GIS-T), Πληροφοριακά Συγκοινωνιακά Συστήματα, Δυναμικός Καταμερισμός

Requirements of Road Networks' Setup and Data Input for the use of a Dynamic Traffic Assignment Model. The case of Thessaloniki.

Katsoulis Georgios¹, Mitsakis Evangelos², Politis Ioannis³, Evangelidis Konstantinos⁴,

1. Geomatics & Surveying Engineer, gkatsou.geotopo@gmail.com Thessaloniki
2. Hellenic Institute of Transport/CERTH Research Associate, emit@certh.gr
3. TEI of Serres Laboratorial Collaborator, pol@civil.auth.gr
4. TEI of Serres Scientific Collaborator, kevan@teiser.gr

ABSTRACT

Feeding traffic simulation and assignment models with the required supply data is considered an important step in the Transportation Planning process and, when successfully implemented, contributes to the reliability of the final results representing the traffic scenarios under examination. Recent developments occurred in the field of spatial information management have set the Geoinformatics science and its associated technological tools as a significant assistant towards the direction of enhancing the above mentioned process.

Within the framework of the present article, the results of a research study related to the requirements of the feeding procedures for a dynamic assignment traffic model are presented, together with a novel proposal of a method for the coding of road networks based on their spatial and transportation features. Adopting a generic and commonly accepted method for representing road networks, by transportation planning stakeholders, may be a significant step for examining complex scenarios and exploiting a huge amount of related supply information.

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

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν άρθρο παρουσιάζεται μια νέα προτεινόμενη μέθοδος για τη δημιουργία ολοκληρωμένων οδικών δικτύων μεγάλης κλίμακας και των συγκοινωνιακών τους χαρακτηριστικών, με σκοπό τη χρήση τους σε μοντέλα δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας. Στο πλαίσιο αυτό, παρέχεται αναλυτική επεξήγηση των παραμέτρων που ελήφθησαν υπόψη καθώς και περιγραφή μιας διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια προκαταρκτικής μελέτης εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου για το οδικό δίκτυο στην κεντρική περιοχή της πόλης της Θεσσαλονίκης. Ο σκοπός της έρευνας, της οποίας τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω, είναι αρχικά η ανάπτυξη μιας νέας μεθόδου για την απόδοση κωδικοποίησης των χωρικών χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου και η βασική κατηγοριοποίηση αυτών βάσει κριτηρίων όπως α) η γεωγραφική τους θέση, β) η ιδιότητά τους και γ) οι λειτουργικές τους προδιαγραφές. Ακολουθεί η παρουσίαση μιας προτεινόμενης μεθόδου τροφοδότησης ενός κυκλοφοριακού μαθηματικού υποδείγματος δυναμικού καταμερισμού με χρήση λογισμικών ανοικτού κώδικα και μεθόδους και τεχνικές που ανήκουν στο πεδίο της επιστήμης της Γεωπληροφορικής. Η παρούσα έρευνα ευελπιστεί να καλύψει ανάγκες σχετικά με τη δημιουργία συγκοινωνιακών δεδομένων προσφοράς σε ένα μαθηματικό υπόδειγμα δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας και στον προσδιορισμό των γενικών χαρακτηριστικών των στοιχείων ενός συγκοινωνιακού δικτύου με την ανάγνωση ενός μοναδικού κωδικού προσδιορισμού για το κάθε ένα στοιχείο. Επίσης, με την προτεινόμενη κωδικοποίηση παρέχεται στο χρήστη ενός τέτοιου υποδείγματος η γνώση της μοναδικής 'ταυτότητας' κάθε συγκοινωνιακού στοιχείου που τον ενδιαφέρει, χωρίς να κριθεί αναγκαία η εξαγωγή του δικτύου και η υποχρεωτική επισκόπηση του από μια τρίτη, εξωτερική εφαρμογή τύπου Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographic Information Systems - GIS), Βάσεων Δεδομένων ή άλλη.

Το άρθρο δομείται σε τέσσερις ενότητες. Η πρώτη ενότητα αναπτύσσει το τεχνικό υπόβαθρο της εργασίας. Αρχικά, γίνεται αναφορά στη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στις μεταφορές (GIS for Transportation) καθώς και στο πλαίσιο ενός τέτοιου συστήματος με παρουσίαση βασικών συστημάτων εφαρμογής του. Η ευρεία χρήση των GIS-T συστημάτων οδήγησε την παγκόσμια κοινότητα στην δημιουργία προτύπων - μοντέλων για τον χαρακτηρισμό και τον χωρικό προσδιορισμό συγκοινωνιακών οντοτήτων μέσω ενός GIS περιβάλλοντος. Δύο από τα αναγνωρισμένα πρότυπα που περιγράφονται αναλυτικότερα παρακάτω είναι τα UNETRANS (Unified NEtwork TRANSportation) [1] και Enterprise GIS-T [2]. Το επόμενο θέμα που αναπτύσσεται αφορά στα συγκοινωνιακά μοντέλα. Αρχικά, δίνεται ο γενικός ορισμός του συγκοινωνιακού μοντέλου και έπειτα οι κατηγορίες ταξινόμησής του. Η ταξινόμηση πραγματοποιείται με βάση το επίπεδο λεπτομέρειας και την μέθοδο αλγοριθμικής επίλυσης του προβλήματος του καταμερισμού της κυκλοφορίας στο δίκτυο. Το επίπεδο λεπτομέρειας καθορίζεται με βάση το επίπεδο ανάλυσης, κατηγοριοποιώντας τα μαθηματικά υποδείγματα σε μικροσκοπικά, μεσοσκοπικά και μακροσκοπικά. Ο καταμερισμός στο δίκτυο καθορίζει, με την χρήση αλγόριθμου, τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο καταμερισμός της ζήτησης στο δίκτυο προσφοράς. Αυτή η μέθοδος καταμερισμού μπορεί να είναι στατική ή δυναμική. Τέλος, γίνεται αναφορά σε λογισμικά γεωπληροφορικής που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης της τροφοδότησης με δεδομένα στις διαδικασίες του συγκοινωνιακού σχεδιασμού. Γίνεται περιγραφή των PostgreSQL [3], PostGIS [4], SQL Server [5] και ορισμένων χαρακτηριστικών των GIS Extensions [6].

Στη δεύτερη ενότητα πραγματοποιείται η περιγραφή της νέας προτεινόμενης μεθοδολογίας που προτείνεται από την παρούσα εργασία. Η περιγραφή της μεθοδολογίας παρουσιάζεται μέσα από μια σειρά σταδίων-δραστηριοτήτων. Το αρχικό στάδιο της μεθοδολογίας

περιλαμβάνει τη συλλογή πρωτογενών χωρικών δεδομένων για την τροφοδότηση του μαθηματικού υποδείγματος δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας. Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την προσαρμογή των χωρικών δεδομένων μέσα από επεξεργασίες και τροποποιήσεις με απώτερο σκοπό την δημιουργία συμβατών και ολοκληρωμένων κυκλοφοριακών δεδομένων για την εισαγωγή τους στο κυκλοφοριακό μοντέλο VISTA (Visual Interactive System for Transportation Algorithms) [7] καθώς και την απόδοση κωδικοποίησης των χωρικών χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου και την βασική κατηγοριοποίηση αυτών βάσει κριτηρίων όπως η γεωγραφική τους θέση, η ιδιότητά τους και οι λειτουργικές τους προδιαγραφές. Το τρίτο στάδιο της μεθοδολογίας περιλαμβάνει την τροφοδότηση του μοντέλου με τα τελικά δεδομένα προσφοράς. Με την ολοκλήρωση της μεθοδολογίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και γίνεται αξιολόγηση αυτής με την πραγματοποίηση πειραματικής προσομοίωσης στο μαθηματικό υπόδειγμα δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας VISTA.

Στην τελευταία ενότητα παραθέτονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και τα πλεονεκτήματα της προτεινόμενης μεθόδου.

2. ΤΕΧΝΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 GIS-T

Η έννοια των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών για τις Μεταφορές, GIS-T (GIS for Transportation) αναφέρεται στη χρήση των GIS σε ένα ευρύ πεδίο δραστηριοτήτων που περιλαμβάνουν το σχεδιασμό, τον προγραμματισμό και τη διαχείριση συστημάτων μεταφορών. Η πληθώρα των εφαρμογών τύπου GIS-T τα καθιστά απαραίτητα σε ποικίλες μελέτες του τομέα των μεταφορών, με παραδείγματα εφαρμογής όπως η οδική ασφάλεια, ο προγραμματισμός των μελλοντικών αλλαγών που μπορούν να συμβούν σε ένα δίκτυο μεταφορών κ.λπ. Δεδομένου ότι ιστορικά η έρευνα στον τομέα των μεταφορών επιτελείται χωρίς απαραίτητα τη χρήση ενός συστήματος GIS, η ανάπτυξη μιας εφαρμογής για τις μεταφορές μπορεί να ωφεληθεί από τις πρόσθετες δυνατότητες που παρέχονται από τα συστήματα GIS, όπως για παράδειγμα αυτές της χωρικής ανάλυσης και των χαρτογραφικών απεικονίσεων. Ένα GIS-T αποτελείται από το συνδυασμό ενός αναβαθμισμένου συστήματος GIS και ενός αναβαθμισμένου πληροφοριακού συστήματος για τις μεταφορές [8].

Τα GIS-T αποτελούν έννοια με ευρύ περιεχόμενο που χρειάζεται να υποστηρίξουν 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 [6]:

Πίνακας 1: Πλαίσιο ενός συστήματος GIS-T

	Επιβατική Διαχείριση	Εμπορευματική Διαχείριση
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

2.2 Συγκοινωνιακά Μοντέλα Δεδομένων

Η εμφάνιση των GIS-T οδήγησε την ερευνητική κοινότητα, στη δημιουργία προτύπων και μοντέλων για το συμβολισμό και την απόδοση των χαρακτηριστικών των συγκοινωνιακών οντοτήτων σε ένα GIS περιβάλλον με χωρική πληροφορία. Ακολουθώντας, παρουσιάζονται δύο αναγνωρισμένα πρότυπα στον τομέα της ανάλυσης του χώρου, με έμφαση στα συγκοινωνιακά δίκτυα:

- UNETRANS

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*). Το μοντέλο δεδομένων UNETRANS υποδιαιρείται σε έξι κύριες λογικές ομάδες συσχετισμένων κλάσεων αντικειμένων και χωρικών κλάσεων. Οι ομάδες ή τα πακέτα αυτά περιέχουν συσχετισμένα ή συμπληρωματικά σύνολα βασικών αντικειμένων εντός του ευρύτερου Μοντέλου Δεδομένων. Τα έξι πακέτα του UNETRANS είναι τα εξής: α) Δίκτυο Αναφοράς, β) Διαδρομές και Αναφορά Θέσης, γ) Πόροι, δ) Δραστηριότητες, ε) Συμβάντα, και στ) Κινούμενα Αντικείμενα. Κάθε πακέτο περιέχει ένα σύνολο από κλάσεις αντικειμένων και χωρικές κλάσεις και τις συσχετίσεις μεταξύ των κλάσεων αυτών. Κάθε κλάση αντικειμένου αποτελείται από ένα περιγραφικό όνομα και από μια ομάδα ιδίων χαρακτηριστικών που καθορίζουν το αντικείμενο. Όλες οι κλάσεις αντικειμένων του UNETRANS κληρονομούν ιδιότητες από τους βασικούς τύπους αντικειμένων που υποστηρίζει το λογισμικό ArcGIS/ESRI. Ωστόσο είναι δυνατή η αξιοποίηση του UNETRANS και από άλλα λογισμικά που διαθέτουν ή πρόκειται να διαθέτουν ενσωματωμένες εφάμιλλες δυνατότητες εκμετάλλευσης μοντέλων δεδομένων [1].

- Enterprise GIS-T

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 (Linear Reference System - LRS) και τα χαρτογραφικά αντικείμενα. Τα συγκοινωνιακά χαρακτηριστικά αποτελούνται από τις οντότητες *Jurisdiction* (Όριο δικαιοδοσίας), *Transportation feature* (Συγκοινωνιακό χαρακτηριστικό), *Event* (Γεγονός), *Event point* (Σημείο γεγονότος) και *Intersection* (Διασταύρωση). Τα χαρακτηριστικά δικτύου αποτελούνται από τις οντότητες *Node* (Κόμβοι), *Link* (Συνδέσεις), *Traversal* και *Traversal Segment*. Τα χαρακτηριστικά συστημάτων Γραμμικής Αναφοράς (LRS) αποτελούνται από τις οντότητες *Anchor point* (Σημείο Anchor), *Anchor section* (Τομέας Anchor), *Reference object* (Αντικείμενο αναφοράς) και *Geographic point* (Γεωγραφικό σημείο). Και τέλος, τα χαρτογραφικά αντικείμενα αποτελούνται από τις οντότητες *Cartographic point* (Χαρτογραφικό σημείο), *Line segment* (Γραμμικό τμήμα), *Base map string* (Σύνολο βασικών χαρτών), *Linear event string* (Σύνολο γραμμικών γεγονότων), και *Point symbol* (Σημειοτικό σύμβολο) [2].

2.3 Συγκοινωνιακά Μοντέλα

Σύμφωνα με το Highway Capacity Manual (HCM) [9], ένα μοντέλο προσομοίωσης της κυκλοφορίας περιγράφεται ως

«...ένα λογισμικό που χρησιμοποιεί μαθηματικά πρότυπα για την πραγματοποίηση πειραμάτων στα κυκλοφοριακά γεγονότα που λαμβάνουν χώρα σε ένα μεταφορικό μέσο ή σύστημα κατά την διάρκεια εκτεταμένων χρονικών περιόδων....».

Τα μαθηματικά πρότυπα προσομοίωσης της κυκλοφορίας μπορούν να ταξινομηθούν σε κατηγορίες με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους, όπως περιγράφεται στην συνέχεια.

2.3.1 Επίπεδο Λεπτομέρειας

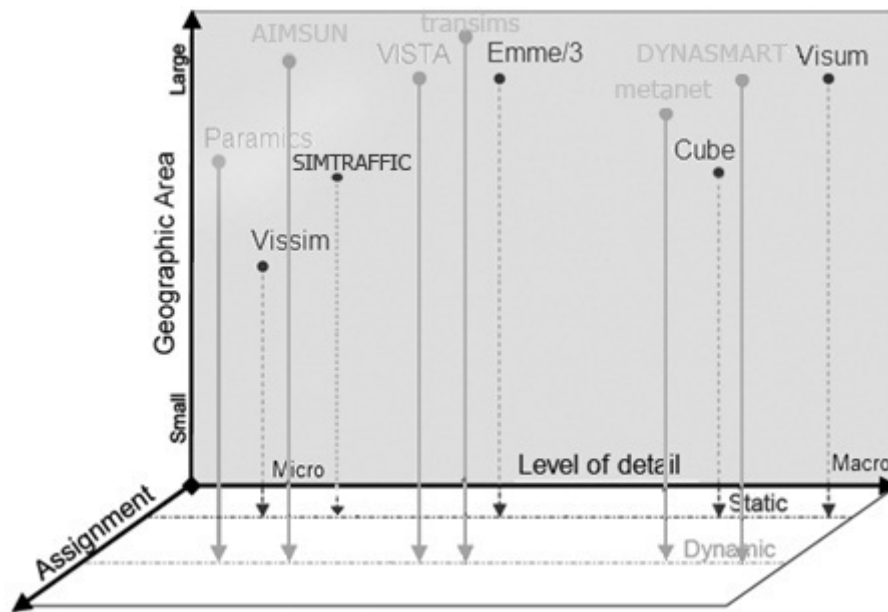
Μια από τις πιο βασικές ταξινομήσεις των μαθηματικών υποδειγμάτων προσομοίωσης της κυκλοφορίας αποτελεί αυτή που γίνεται βάσει του επιπέδου λεπτομέρειας με την οποία το σύστημα έχει διαμορφωθεί και τον τρόπο με τον οποίο παρουσιάζονται τα κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά σε αυτό. Με βάση τα παραπάνω, υπάρχουν τρεις κατηγορίες ταξινόμησης των μαθηματικών υποδειγμάτων: τα μικροσκοπικά (microscopic), τα μεσοσκοπικά (mesoscopic) και τα μακροσκοπικά (macroscopic).

Στα μακροσκοπικά μαθηματικά υποδείγματα, η προσομοίωση λαμβάνει υπόψη τις ιδιότητες των συγκοινωνιακών δικτύων όπως είναι η χωρητικότητα, τα όρια ταχύτητας και η σηματοδότηση των κόμβων για να αναπαραστήσει τις αλλαγές στη ζήτηση μέσω των τελικών συγκοινωνιακών χαρακτηριστικών όπως είναι η ταχύτητα ροής, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι και η πυκνότητα. Οι μακροσκοπικές προσομοιώσεις κυκλοφορίας συνήθως χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό βασικών οδικών δικτύων σε μια περιοχή ή σε μεγάλης κλίμακας οδικούς άξονες όπως είναι οι αυτοκινητόδρομοι και οι κύριοι οδικοί άξονες. Αυτά τα μοντέλα έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό τους την δυνατότητα λειτουργίας σε μικρό επίπεδο λεπτομέρειας [10]. Παραδείγματα μοντέλων που λειτουργούν σε μακροσκοπικό επίπεδο αποτελούν το VISUM [11], το METANET [12], το Cube [13] κ.α.

Στα μικροσκοπικά μαθηματικά υποδείγματα λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά και οι αλληλεπιδράσεις των μεμονωμένων οχημάτων και το επίπεδο ανάλυσης περιορίζεται συνήθως σε έναν κόμβο ή σε ένα οδικό τμήμα. Τα μικροσκοπικά υποδείγματα αναπαριστούν διακριτά χαρακτηριστικά της κίνησης των οχημάτων όπως είναι η επιτάχυνση, η αλλαγή των λωρίδων και η προσπέραση. Αυτά τα μοντέλα είναι αποτελεσματικά για την αξιολόγηση αλλαγών των λωρίδων κυκλοφορίας και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των κόμβων και χαρακτηρίζονται από το μεγάλο επίπεδο λεπτομέρειας. Παραδείγματα μικροσκοπικών μοντέλων είναι το PARAMICS [14], το SIMTRAFFIC [15] και το VISSIM [16]. Μια ενδιάμεση κατηγορία που συνδυάζει χαρακτηριστικά τόσο των μικροσκοπικών όσο και των μακροσκοπικών μαθηματικών υποδειγμάτων αποτελούν τα μεσοσκοπικά μαθηματικά υποδείγματα. Η μεσοσκοπική προσομοίωση λαμβάνει υπόψη την πραγματική γεωμετρία των οδών και των προγραμματισμένων χρόνων σηματοδότησης για μια σειρά από κόμβους σε ένα κύριο οδικό άξονα ή σε επίπεδο γειτονιάς. Αυτά τα μαθηματικά υποδείγματα μπορούν να προσομοιώσουν μεμονωμένα οχήματα αλλά περιγράφουν τις δραστηριότητες τους βασισμένες σε συνολικές ή μακροσκοπικές σχέσεις όπως ή ταχύτητα ροής και το σύνολο κυκλοφοριακών ροών [10]. Παραδείγματα τέτοιων μαθηματικών υποδειγμάτων είναι το EMM3 [17], το AIMSUN [18] και το VISTA.

2.3.2 Καταμερισμός στο Δίκτυο

Τα μαθηματικά υποδείγματα προσομοίωσης μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση τον τρόπο, με τον οποίο η ζήτηση καταμερίζεται στο δίκτυο. Η ζήτηση για μετακινήσεις μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε μεμονωμένους κόμβους με την χρήση των στρεφουσών κινήσεων (εισαγωγή από χρήστη) είτε με την χρήση ενός μητρώου Προορισμού-Προέλευσης (Origin-Destination). Το μαθηματικό υπόδειγμα βασιζόμενο σε μητρώο Προορισμού-Προέλευσης (O-D) απαιτεί έναν αλγόριθμο για την επίλυση του προβλήματος του καταμερισμού των διαδρομών στο δίκτυο μεταξύ της Προέλευσης και του Προορισμού. Αυτή η μέθοδος καταμερισμού της κυκλοφορίας μπορεί να είναι στατική ή δυναμική. Στα δυναμικά υποδείγματα καταμερισμού, η επιλογή των διαδρομών από μεμονωμένα οχήματα μεταβάλλεται συνεχώς ανάλογα με την κατάσταση του συστήματος (προσφορά) στην εξεταζόμενη μονάδα χρόνου. Στον στατικό καταμερισμό, η επιλογή διαδρομής μεταξύ του Προορισμού και της Προέλευσης παραμένει σταθερή σε όλη την διάρκεια της προσομοίωσης ανεξάρτητα από την κατάσταση του εξεταζόμενου συστήματος. Η πλειοψηφία των μαθηματικών υποδειγμάτων καταμερισμού της κυκλοφορίας βασίζονται στον στατικό καταμερισμό, όπου η επιλογή των διαδρομών επιτυγχάνεται μέσω της αναζήτησης της κατάστασης ισορροπίας (equilibrium point) σε όλους τους συνδέσμους του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη κάποιο μέτρο αποτελεσματικότητας, όπως ο χρόνος ταξιδιού ή η μέτρηση του κόστους ταξιδιού ή το γενικευμένο κόστος μετακίνησης [14]. Μερικά από τα πιο πρόσφατα μαθηματικά υποδείγματα προσομοίωσης, όπως το VISTA που χρησιμοποιείται στο παρόν άρθρο αλλά και το DYNASMART [19] ή το TRANSIMS [20], πραγματοποιούν δυναμική αναζήτηση της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ της Προέλευσης και του Προορισμού. Το σχήμα 1 παρουσιάζει ορισμένα από τα μαθηματικά υποδείγματα καταμερισμού της κυκλοφορίας, βάσει των παραπάνω χαρακτηριστικών.



Σχήμα 1: Συγκριτικό διάγραμμα μαθηματικών υποδειγμάτων

2.4 Λογισμικά Γεωπληροφορικής

Η ανάπτυξη ενός συστήματος που θα υποστηρίξει τον συγκοινωνιακό σχεδιασμό με χρήση εργαλείων GIS-T απαιτεί τη χρήση μιας σειράς εργαλείων που επιτελούν διαδικασίες διαχείρισης χωρικών δεδομένων. Τα υποσυστήματα αυτά εντάσσονται στην κατηγορία των λογισμικών γεωπληροφορικής και στα πλαίσια του παρόντος άρθρου παρουσιάζονται συνοπτικά τα ακόλουθα:

- PostgreSQL

Η PostgreSQL είναι ένα σύστημα σχεσιακής βάσης δεδομένων ανοικτού κώδικα. Είναι συμβατή με όλα τα σημαντικά λειτουργικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των Linux, UNIX (AIX, BSD, HP-UX, SGI IRIX, Mac OS X, Solaris, Tru64), και Microsoft Windows. Η PostgreSQL διαθέτει πλήρη υποστήριξη για ξένα κλειδιά (foreign keys), ενώσεις (joins), προβολή δεδομένων και διαδικασίες αποθήκευσης με χρήση διάφορων γλωσσών. Περιλαμβάνει περισσότερους τύπους δεδομένων για τα πρότυπα SQL92 και SQL99, συμπεριλαμβανομένων των INTEGER, NUMERIC, BOOLEAN, CHAR, VARCHAR, DATE, INTERVAL και TIMESTAMP. Υποστηρίζει επίσης αποθήκευση μεγάλων δυαδικών αντικειμένων, συμπεριλαμβανομένων εικόνων, ήχου, ή βίντεο. Επίσης, παρέχει και προγραμματιστικό περιβάλλον για C/C++, Java, .Net, Perl, Python και Ruby. Οι δυνατότητες της PostgreSQL μπορούν να καλύψουν απεριόριστο μέγεθος βάσης δεδομένων, πινάκες μεγέθους μέχρι 32 TB, εγγραφές μεγέθους 1 GB, απεριόριστο αριθμό γραμμών και μέχρι 1600 στήλες ανάλογα με τον τύπο της στήλης [3].

- PostGIS

Το PostGIS είναι ένα πρόγραμμα λογισμικού ανοικτού κώδικα που παρέχει υποστήριξη για τα γεωγραφικά αντικείμενα της σχεσιακής βάσης δεδομένων της PostgreSQL. Γενικά, το PostGIS υποστηρίζει:

- Κλασικούς τύπους γεωμετρίας για τα σημεία, τις γραμμές, τα πολύγωνα, τα πολλαπλά σημεία, τις πολλαπλές γραμμές, τα πολλαπλά πολύγωνα και για τις συνολικές γεωμετρίες.

- Χωρικές διαδικασίες για την εύρεση γεωχωρικών μετρήσεων όπως το εμβαδόν, η απόσταση, το μήκος και η περίμετρος.
- Χωρικές διαδικασίες για τον καθορισμό των γεωχωρικών διαδικασιών, όπως η ένωση, η διαφορά, η συμμετρική διαφορά και οι ζώνες επιρροής .
- Χωρικά ευρετήρια με την μέθοδο R-tree για εκτέλεση υψηλής ταχύτητας χωρικών ερωτημάτων.
- Υποστήριξη ευρετηρίου επιλογών, για την παροχή υψηλής επίδοσης πρόσβασης και επεξεργασίας της βάσης SQL με την χρήση μεικτών χωρικών /μη-χωρικών ερωτημάτων.

Η εφαρμογή PostGIS είναι βασισμένη σε απλή και “ελαφριά” αρχιτεκτονική χωρίς υψηλές απαιτήσεις μνήμης και χώρου στο σκληρό δίσκο. Χαρακτηριστικό της απλής και “ελαφριάς” αρχιτεκτονικής είναι ότι ελευθερώνει χώρο στην μνήμη RAM με αποτέλεσμα να μπορούν να εκτελεσθούν πολύ σύνθετα ερωτήματα με μεγάλο αριθμό δεδομένων. Η πρώτη έκδοση κυκλοφόρησε το 2001 από την Refrations Research με άδεια GNU για ελεύθερη χρήση, και με συχνές αναβαθμίσεις λογισμικού. Το 2006, το PostGIS πιστοποιήθηκε ως χρήσιμο εργαλείο για βάσεις δεδομένων SQL από το Open Geospatial Consortium [4].

- SQL Server

Ο SQL Server είναι ένα Σχεσιακό Σύστημα Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων RDBMS το οποίο αναπτύχθηκε από τη Microsoft. Οι κύριες γλώσσες που χρησιμοποιεί είναι η T-SQL και η ANSI SQL. Ο SQL Server εμφανίστηκε για πρώτη φορά στην αγορά το 1989 σε συνεργασία με την Sybase. Η κύρια μονάδα αποθήκευσης στοιχείων είναι μια βάση δεδομένων, η οποία αποτελείται από πίνακες και κώδικα. Η κεντρική βάση υποστηρίζει διαφορετικούς τύπους δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των ακεραίων αριθμών, αριθμών κινητής υποδιαστολής, δεκαδικών, αλφαριθμητικών, varchar (σειρές χαρακτήρων μεταβλητού μήκους), δυαδικών αριθμών (για τα μη δομημένα δεδομένα) και κειμένων. Ο SQL Server 2008, η πιο πρόσφατη έκδοση, περιλαμβάνει ενισχυμένη XML υποστήριξη, ενσωμάτωση του .NET Framework στη βάση δεδομένων, βελτιωμένη ενσωμάτωση με το Microsoft Visual Studio και με το Microsoft Office System καθώς και βελτιωμένη ανάλυση αναφορών και υπηρεσίες ενσωμάτωσης δεδομένων. Επίσης ο SQL Server 2008 και οι τελευταίες εκδόσεις του υποστηρίζουν χωρικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, υποστηρίζει γεωμετρικά δεδομένα όπως σημεία, γραμμές και πολύγωνα μέσα σε ένα Ευκλείδειο σύστημα συντεταγμένων. Ο τύπος δεδομένων της γεωγραφίας (geography) παρουσιάζει γεωγραφικά στοιχεία σε μία περιοχή της επιφάνειας της γης όπως η κάλυψη της ξηράς. Ένας χωρικός δείκτης σε μια στήλη γεωγραφίας χαρτογραφεί τα γεωγραφικά στοιχεία σε ένα δισδιάστατο, μη-Ευκλείδειο χώρο. Ένας χωρικός δείκτης καθορίζεται σε μια στήλη ενός πίνακα που περιέχει χωρικά δεδομένα (χωρική στήλη). Κάθε χωρικός δείκτης αναφέρεται σε ένα πεπερασμένο χώρο. Παραδείγματος χάριν, ένας δείκτης για μια στήλη γεωμετρίας αναφέρεται σε μια καθορισμένη από τον χρήστη, ορθογώνια περιοχή σε ένα επίπεδο [5].

- GIS Extensions

Τα περισσότερα συστήματα GIS έχουν αναπτυχθεί για να υποστηρίζουν πληροφορίες περιβαλλοντικές και χρήσεων γης, επικεντρώνοντας στα χαρακτηριστικά των σημείων (Point), των γραμμών (Line) και των πολύγωνων (Polygon). Με τη χρήση ενός GIS-T παρέχονται τρία επιπλέον από τα υπάρχοντα βοηθήματα ειδικά για συγκοινωνιακές εφαρμογές [6]:

- α) Ο χρήστης μπορεί να προσαρμόσει το επίπεδο πληροφορίας που θέλει από ένα GIS-T. Για παράδειγμα η μελέτη της κυκλοφορίας προστάζει μεγαλύτερη λεπτομέρεια στο δίκτυο από ότι ο συγκοινωνιακός σχεδιασμός. Το GIS-T έχει

την δυνατότητα να παρουσιάζει ένα συγκοινωνιακό δίκτυο σε διαφορετικά επίπεδα λεπτομέρειας ώστε να καλύψει τις απαιτήσεις μιας συγκοινωνιακής εφαρμογής,

β) 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 δισδιάστατα 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

γ) Τα εργαλεία των συγκοινωνιακών μοντέλων στηρίζονται σε μεγάλο ποσοστό στη 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 της αξιολόγησης αλγορίθμων αποδοτικότερα.

3. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ

3.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται τα στάδια που ακολουθήθηκαν για την ανάπτυξη της νέας προτεινόμενης μεθόδου απόδοσης κωδικοποίησης των χωρικών χαρακτηριστικών του οδικού δικτύου και της βασικής κατηγοριοποίησης αυτών βάσει κριτηρίων όπως:

- η γεωγραφική τους θέση
- η ιδιότητά τους
- η λειτουργική τους προδιαγραφή

Επίσης γίνεται παρουσίαση μιας προτεινόμενης μεθόδου τροφοδότησης ενός μαθηματικού υποδείγματος δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας με χρήση λογισμικών ανοικτού κώδικα και μεθόδους και τεχνικές που ανήκουν στο πεδίο της επιστήμης της Γεωπληροφορικής. Για την επίτευξή του σκοπού αυτού πραγματοποιήθηκε μια σειρά δραστηριοτήτων για την δημιουργία ενός πλήρους, βάσει χωρικής και συγκοινωνιακής πληροφορίας, δικτύου προσφοράς στο κυκλοφοριακό μοντέλο δυναμικού καταμερισμού VISTA. Οι δραστηριότητες περιελάμβαναν τη συλλογή δεδομένων, τις προσαρμογές και επεξεργασίες, την απόδοση χαρακτηριστικών κωδικών στα δεδομένα, την τροφοδότηση του μοντέλου με τα προσαρμοσμένα δεδομένα και την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου.

3.2 Συλλογή και Περιγραφή Δεδομένων

Το αρχικό στάδιο περιλαμβάνει τη συλλογή πρωτογενών χωρικών δεδομένων για την τροφοδότηση του μαθηματικού υποδείγματος, δηλαδή των δεδομένων προσφοράς του δικτύου. Τα χωρικά δεδομένα του δικτύου εξασφαλίστηκαν μέσω του Ινστιτούτου Μεταφορών του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ/ΙΜΕΤ). Παρασχέθηκαν χωρικά δεδομένα της μορφής σημειακών (κόμβοι) και γραμμικών (οδικοί σύνδεσμοι) θεματικών επιπέδων GIS τύπου shapefile και αποτελούνται από χωρικά δεδομένα του Νομού Θεσσαλονίκης και συγκοινωνιακά χωρικά δεδομένα της πόλης της Θεσσαλονίκης. Αναλυτικά, τα χωρικά δεδομένα αποτελούνται από ένα γραμμικό θεματικό επίπεδο, προβολικού συστήματος WGS'84, που περιλαμβάνει στην βάση του λεπτομερειακή

χωρική και περιγραφική πληροφορία των οδικών συνδέσμων του Νομού Θεσσαλονίκης, επικαιροποιημένο με δεδομένα του 2008 και ένα σημειακό θεματικό επίπεδο προβολικού συστήματος WGS'84, που περιλαμβάνει στη βάση του λεπτομερειακή χωρική και περιγραφική πληροφορία των κόμβων των οδικών συνδέσμων του Νομού Θεσσαλονίκης, επίσης επικαιροποιημένο με δεδομένα του 2008. Τα συγκοινωνιακά χωρικά δεδομένα αποτελούνται από ένα γραμμικό θεματικό επίπεδο, που περιλαμβάνει στη βάση του τους βασικούς οδικούς άξονες της πόλης της Θεσσαλονίκης και τους αντίστοιχους συνδετήριους συνδέσμους (connectors) των κυκλοφοριακών ζωνών καθώς και ένα σημειακό θεματικό επίπεδο, που περιλαμβάνει στη βάση του τους κόμβους των βασικών οδικών αξόνων της πόλης της Θεσσαλονίκης και τα αντίστοιχα κεντροειδή των κυκλοφοριακών ζωνών. Η βάση δεδομένων των χωρικών δεδομένων περιέχει, στο γραμμικό θεματικό επίπεδο, πληροφορίες σχετικά με το μήκος των οδικών συνδέσμων, την ονομασία της οδού, τους κωδικούς αριθμούς των κόμβων προέλευσης και προορισμού, την κατεύθυνση του οδικού συνδέσμου, την λειτουργική και διοικητική ιεράρχηση της οδού και τα ειδικά χαρακτηριστικά όπως ράμπες εισόδου/εξόδου, τούνελ κ.ά. ενώ στο σημειακό θεματικό επίπεδο κωδικό αριθμό, κωδικό Νομού και συντεταγμένες X-Y. Η βάση των συγκοινωνιακών δεδομένων περιέχει πληροφορίες σχετικά με το είδος του συνδέσμου, τους κωδικούς αριθμούς των κόμβων προέλευσης-προορισμού, το μήκος των συνδέσμων, την μέγιστη ταχύτητα ανά ώρα, την χωρητικότητα ανά λωρίδα κυκλοφορίας και τον αριθμό λωρίδων ανά κατεύθυνση για το γραμμικό θεματικό επίπεδο καθώς και τον κωδικό αριθμό κόμβου και το είδος του κόμβου για το σημειακό θεματικό επίπεδο.



Σχήμα 2: Χάρτης αρχικών χωρικών δεδομένων

3.3 Προσαρμογή Δεδομένων

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει την προσαρμογή των χωρικών δεδομένων μέσα από επεξεργασίες και τροποποιήσεις με απώτερο σκοπό την δημιουργία συμβατών και ολοκληρωμένων κυκλοφοριακών δεδομένων για την εισαγωγή τους στο μοντέλο δυναμικού καταμερισμού κυκλοφορίας. Το σύνολο των διαδικασιών πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS 9.2 της ESRI [21]. Οι διαδικασίες αυτές περιελάμβαναν τη γεω-αναφορά όλων των χωρικών δεδομένων, με την χρήση εργαλείου GIS, σε ενιαίο σύστημα γεωγραφικής

αναφοράς, στην συγκεκριμένη περίπτωση στο Ελληνικό Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς '87 (ΕΓΣΑ'87), την απόσπαση επιμέρους συγκοινωνιακής χωρικής πληροφορίας (κεντροειδή και συνδετήριοι σύνδεσμοι των κυκλοφοριακών ζωνών) από τα συγκοινωνιακά χωρικά δεδομένα (οδικοί σύνδεσμοι και κόμβοι) με την χρήση εργαλείου τροποποίησης και δημιουργίας διανυσματικών δεδομένων (Editor) του GIS. Η αναγνώριση των κεντροειδών και των συνδετήριων συνδέσμων επιτεύχθηκε μέσω των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών τους στην βάση δεδομένων όπως το είδος του κόμβου/συνδέσμου (όπου συνδετήριος σύνδεσμος ή κεντροειδής στην βάση = 100), η χωρητικότητα του συνδέσμου (όπου συνδετήριος σύνδεσμος = 999999 οχήματα/ώρα) και το μήκος του συνδέσμου (όπου συνδετήριος σύνδεσμος = 0 μ.). Με την επιτυχή απόσπαση της συγκεκριμένης πληροφορίας, πραγματοποιήθηκαν οι τροποποιήσεις των βάσεων των χωρικών δεδομένων και των εξαχθέντων δεδομένων με σκοπό την ενσωμάτωση της συγκοινωνιακής πληροφορίας που εξήχθη στα χωρικά δεδομένα για την δημιουργία του δικτύου προσφοράς. Οι τροποποιήσεις περιελάμβαναν την δημιουργία κεντροειδών προέλευσης και προορισμού, με την αντιγραφή των ήδη υπάρχοντων κεντροειδών και τον προσδιορισμό των κωδικών τους (από 0 έως 999 για τα κεντροειδή προέλευσης και από 1000 έως 1999 για τα κεντροειδή προορισμού). Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η χωρική ταύτιση των κυκλοφοριακών ζωνών με το λεπτομερειακό δίκτυο με την χρήση εργαλείου τροποποίησης διανυσματικών θεματικών επιπέδων GIS. Αυτό επιτεύχθηκε με την χωρική τροποποίηση των συνδετήριων συνδέσμων από τους αρχικούς κόμβους του συγκοινωνιακού δικτύου (συγκοινωνιακά δεδομένα) στους κόμβους του λεπτομερειακού δικτύου (γραμμικό θεματικό επίπεδο) και την ενημέρωση της βάσης των συνδετήριων συνδέσμων με τα νέα δεδομένα των τελικών κόμβων (κόμβος Προέλευσης ή Προορισμού αντίστοιχα). Τέλος, πραγματοποιήθηκε η ενσωμάτωση των προσαρμοσμένων συγκοινωνιακών δεδομένων (συνδετήριοι σύνδεσμοι και κεντροειδή) στα χωρικά γεω-δεδομένα (οδικοί σύνδεσμοι και κόμβοι) και η παραγωγή του τελικού κυκλοφοριακού δικτύου. Η τελική μορφή του κυκλοφοριακού δικτύου αποτελείται από δύο χωρικά δεδομένα της μορφής σημειακών και γραμμικών θεματικών επιπέδων GIS τύπου shapefile, με πλήρη χωρική πληροφορία και μερική συγκοινωνιακή πληροφορία. Βάσει των απαιτήσεων του μαθηματικού υποδείγματος δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας, πραγματοποιήθηκε η ενημέρωση των βάσεων των δύο θεματικών επιπέδων με τη δημιουργία νέων δεδομένων και τροποποίηση των ήδη υπάρχοντων. Η διαδικασία ενημέρωσης περιελάμβανε την εισαγωγή συγκοινωνιακών δεδομένων για το οδικό δίκτυο, όπως αριθμός λωρίδων ανά κατεύθυνση, ορισμός κατεύθυνσης συνδέσμου, κυκλοφοριακός φόρτος ανά λωρίδα ανά ώρα, χαρακτηριστικό είδος (συνδετήριος σύνδεσμος ή οδικός σύνδεσμος), μέγιστη ταχύτητα ανά ώρα, μήκος συνδέσμου και κωδικός αριθμός κόμβου προέλευσης και προορισμού. Για τους κόμβους εισήχθησαν δεδομένα μόνο για το χαρακτηριστικό είδος (κεντροειδής ή οδικός κόμβος). Μέσω του λογισμικού GIS πραγματοποιήθηκε η συμπλήρωση των δεδομένων βάσει διεθνών προτύπων και της πραγματικής κατάστασης του οδικού δικτύου της Θεσσαλονίκης εκτιμώμενη μέσα από έρευνα.

Πίνακας 2: Περιγραφή βάσης δεδομένων γραμμικού θεματικού επιπέδου

Πεδίο	Περιγραφή
Αρχικός Κωδικός	Μοναδικός κωδικός προσδιορισμού του τμήματος
Τύπος συνδέσμου	001 (σύνδεσμος), 100 (συνδετήριος σύνδεσμος)
Κωδ. κόμβου Προέλευσης	Κωδικός αριθμός κόμβου προέλευσης
Κωδ. κόμβου Προορισμού	Κωδικός αριθμός κόμβου προορισμού
Μήκος Συνδέσμου	Μήκος
Ταχύτητα	Από 30-130, ανάλογα την λειτουργική ιεράρχηση
Χωρητικότητα	Από 500-2100 ανά λωρίδα, ανάλογα την λειτουργική ιεράρχηση και τον αριθμό λωρίδων

Λωρίδες/κατεύθυνση	Από 0 για τους πεζόδρομους έως 5 λωρίδες ανά κατεύθυνση
Προσδιορισμός συνδέσμου	T: σύνδεσμος, F: συνδετήριος σύνδεσμος
Όνομα οδού	Όνομα οδού
Λειτουργική Ιεράρχηση	Από 1 για τους πεζόδρομους έως 8 για τους αυτοκινητόδρομους
Κατεύθυνση συνδέσμου	0: από - προς 1: προς - από 2: διπλής κατεύθυνσης

Πίνακας 3: Περιγραφή βάσης δεδομένων σημειακού θεματικού επιπέδου

Πεδίο	Περιγραφή
Αρχικός Κωδικός	Μοναδικός κωδικός προσδιορισμού του σημείου
Τύπος κόμβου	001 (κόμβος), 100 (κεντροειδής)
Κωδ. Νομού	Κωδικός Νομού στον οποίο ανήκει ο κόμβος
X	Τετμημένη x
Y	Τεταγμένη y

3.4 Κωδικοποίηση Δεδομένων

Με την ολοκλήρωση των παραπάνω σταδίων που παρείχαν την απαιτούμενη πληρότητα στα δεδομένα του δικτύου προσφοράς, πραγματοποιήθηκε η κωδικοποίηση του δικτύου, αποδίδοντας στα χωρικά χαρακτηριστικά έναν σύνθετο μοναδικό κωδικό προσδιορισμού του κάθε στοιχείου μέσα από την εκτέλεση τριών σταδίων.

Κατά το πρώτο στάδιο προσδιορίστηκε και αποδόθηκε η θέση του συγκοινωνιακού στοιχείου στον ελλαδικό χώρο. Η γεωγραφική του θέση προσδιορίζεται με βάση τον κωδικό αριθμό του νομού με βάση στοιχεία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) και με βάση τον κωδικό αριθμό του δήμου επίσης βάση των στοιχείων του ΥΠΕΧΩΔΕ. Μετά από έρευνα εύρεσης στοιχείων για τους κωδικούς αριθμούς του δικτύου προσφοράς, αποδόθηκαν οι κωδικοί 54 για τον Νομό Θεσσαλονίκης και 01 για τον δήμο Θεσσαλονίκης στον γεωγραφικό προσδιορισμό. Ο γεωγραφικός προσδιορισμός αφορά και τους κωδικούς των κόμβων στο σημειακό θεματικό επίπεδο.

Κατά το δεύτερο στάδιο κωδικοποίησης αποδόθηκε η ιδιότητα του χωρικού στοιχείου με τον ορισμό ομάδων αριθμητικών κωδικών που προσδιορίζουν και διαχωρίζουν τα χαρακτηριστικά του δικτύου (οδικά τμήματα, κόμβοι) από τα συγκοινωνιακά χαρακτηριστικά (κεντροειδή ζωνών, συνδετήριοι σύνδεσμοι κλπ) καθώς και η λειτουργική ιεράρχηση των συνδέσμων του δικτύου με βάση στοιχεία του ΥΠΕΧΩΔΕ. Ο προσδιορισμός της ιδιότητας επιτυγχάνεται με κωδικοποίηση των χαρακτηριστικών όπως ο κωδικός 001 για τα χαρακτηριστικά του δικτύου και 100 για τα συγκοινωνιακά χαρακτηριστικά. Η λειτουργική ιεράρχηση δηλώνεται βάσει κωδικών εύρους από το 1, με τον οποίο προσδιορίζονται πεζόδρομοι με σκαλοπάτια έως και το 8 που αντιπροσωπεύει έναν αυτοκινητόδρομο.

Κατά το τρίτο στάδιο αποδόθηκε η λειτουργικότητα του χωρικού στοιχείου, η οποία χαρακτηρίζει τον τρόπο λειτουργίας του στο κυκλοφοριακό μαθηματικό υπόδειγμα. Αυτό το στάδιο αφορά μόνο τους συνδέσμους. Χαρακτηριστικά που κωδικοποιούνται και αφορούν την λειτουργία των συνδέσμων αποτελούν η φορά ροής του συνδέσμου, η χωρητικότητα ανά λωρίδα, οι κόμβοι προέλευσης και προορισμού, η μέγιστη ταχύτητα ροής και ο αριθμός

λωρίδων. Οι κωδικοί των κόμβων προέλευσης - προορισμού προσδιορίζουν επίσης την γεωγραφική θέση των άκρων και συνεπώς και ολόκληρου του συνδέσμου. Τέλος, η παραπάνω κωδικοποίηση συμπληρώνεται με τον μοναδικό κωδικό αριθμό του συνδέσμου. Το αποτέλεσμα της κωδικοποίησης των συνδέσμων και των κόμβων παρουσιάζεται παρακάτω.

Με την εφαρμογή της κωδικοποίησης και με τον προσδιορισμό των συγκεκριμένων κανόνων, διαχωρίστηκε και προσδιορίστηκε ο ρόλος της λειτουργίας καθενός χαρακτηριστικού του δικτύου προσφοράς. Η προτεινόμενη κωδικοποίηση παρέχει στο χρήστη ενός μαθηματικού υποδείγματος την γνώση της μοναδικής ταυτότητας κάθε συγκοινωνιακού στοιχείου που τον ενδιαφέρει χωρίς να κριθεί αναγκαία η εξαγωγή του δικτύου και η υποχρεωτική επισκόπηση του από μια τρίτη, εξωτερική εφαρμογή τύπου Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, Βάσεων Δεδομένων ή άλλη.

Κωδικοποίηση συνδέσμου:

ΝΟ/ΟΤΑ/ΤΥΠ/ΠΡΟΕ/ΠΡΟΟ/ΛΕΙΤ/ΛΩΡ/ΚΑΤ/ΤΑΧ/ΧΩΡ/v/a

Κωδικοποίηση κόμβου:

ΝΟ/ΟΤΑ/ΤΥΠ/v/a

Όπου,

ΝΟ: Κωδικός Νομού

ΟΤΑ: Κωδικός Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης

ΤΥΠ: Τύπος συνδέσμου ή κόμβου

ΠΡΟΕ: Κωδικός Κόμβου Προέλευσης

ΠΡΟΟ: Κωδικός Κόμβου Προορισμού

ΛΕΙΤ: Λειτουργική ιεράρχηση συνδέσμου

ΛΩΡ: Λωρίδες ανά κατεύθυνση

ΚΑΤ: Κατεύθυνση συνδέσμου (0: διπλής, 1:Από-Προς, 2:Προς-Από)

ΤΑΧ: Μέγιστη Επιτρεπτή Ταχύτητα

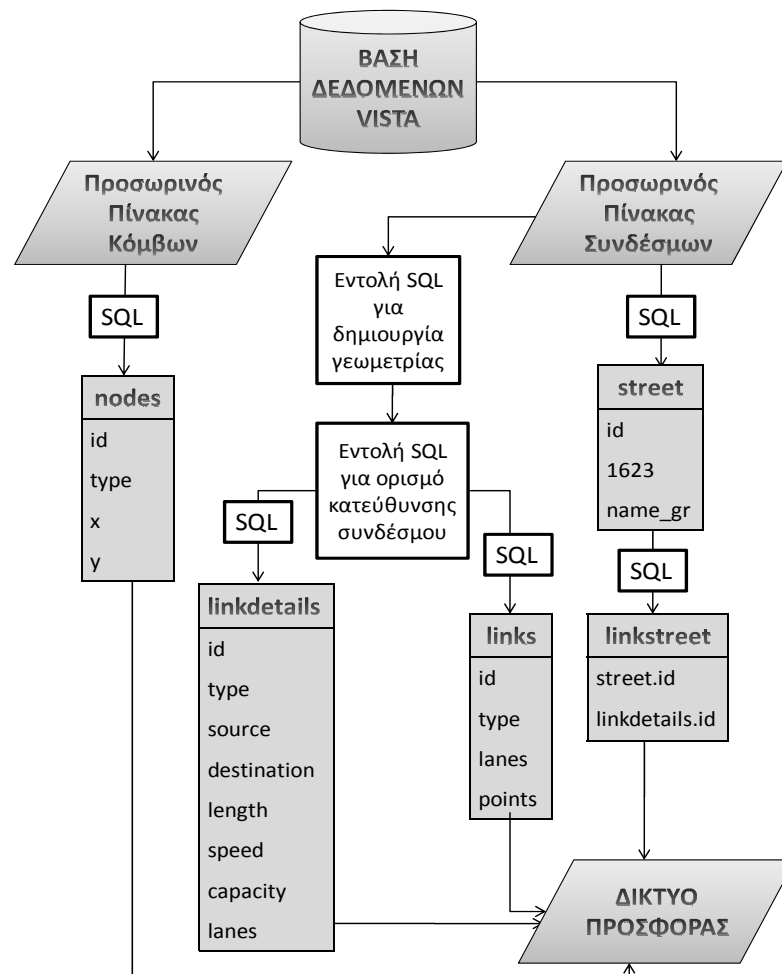
ΧΩΡ: Χωρητικότητα συνδέσμου

v/a: Μοναδικός Αριθμός συνδέσμου/κόμβου

3.5 Τροφοδότηση Μαθηματικού Υποδείγματος VISTA

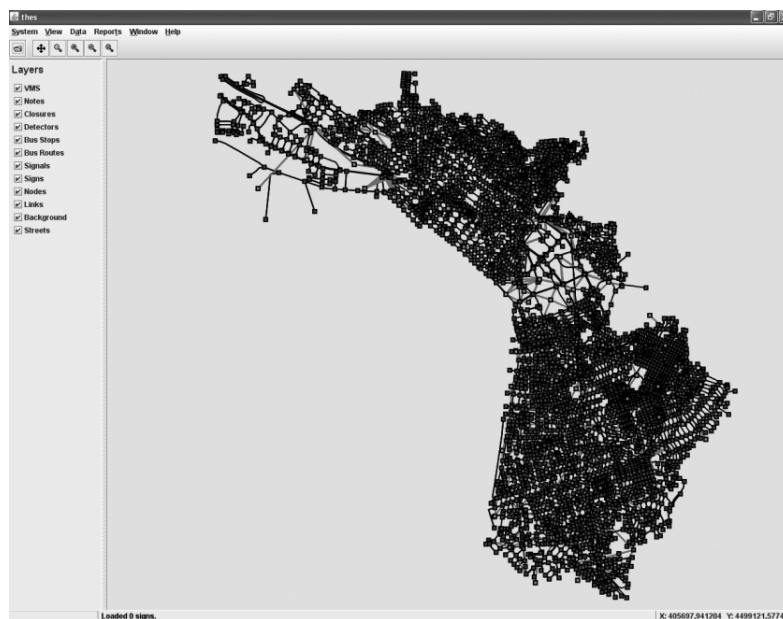
Η τρίτη δραστηριότητα περιλαμβάνει την τροφοδότηση του μαθηματικού μοντέλου δυναμικού καταμερισμού κυκλοφορίας VISTA με τα τελικά δεδομένα προσφοράς. Η τροφοδότηση του μαθηματικού υποδείγματος VISTA πραγματοποιήθηκε με τη χρήση βοηθητικών λογισμικών GIS ανοικτού κώδικα και βάσεων δεδομένων και συγκεκριμένα με το σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων PostgreSQL και το εργαλείο διαχείρισης αυτής PgAdmin III καθώς και με τα λογισμικά PostGIS και u-Dig [22]. Το μαθηματικό υπόδειγμα δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας δεν παρέχεται σε μορφή λογισμικού για εγκατάσταση σε προσωπικό υπολογιστή αλλά είναι εγκατεστημένο σε server με λειτουργικό Linux του Ινστιτούτου Μεταφορών και παρέχεται στον χρήστη μέσω πλοηγό διαδικτύου (web browser) κατόπιν ειδικής αδείας πρόσβασης. Όλες οι διαδικασίες επεξεργασίας και τροφοδότησης πραγματοποιήθηκαν στο Ινστιτούτο Μεταφορών με αδεία χρήσης διαχειριστή. Η αρχιτεκτονική του VISTA αποτελείται από μια σύνθεση πολλών

βάσεων δεδομένων όπου αποθηκεύονται όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για την δημιουργία του μοντέλου. Για την εισαγωγή των δεδομένων προσφοράς απαιτούνται μετατροπές και 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 με την χρήση εντολών συστήματος. Έπειτα δημιουργήθηκε μια κενή βάση δεδομένων στο περιβάλλον της βάσης δεδομένων του μαθηματικού υποδείγματος VISTA με την χρήση εντολών συστήματος μέσω του λογισμικού PuTTY [23] που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ του server του VISTA και ενός προσωπικού υπολογιστή, για να φιλοξενήσει τα δεδομένα προσφοράς. Η εισαγωγή των δεδομένων σε μορφή εντολών πραγματοποιήθηκε επίσης με χρήση του προτύπου SQL στο ίδιο περιβάλλον. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η αντιγραφή των αρχείων τύπου SQL στον server του VISTA μέσω λογισμικού WinSCP [24], που επιτρέπει την προβολή και την επεξεργασία αρχείων μεταξύ διαφορετικών λειτουργικών συστημάτων. Έπειτα πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των αρχείων τύπου SQL σε πίνακες της βάσης δεδομένων του VISTA μέσω εντολών συστήματος και με χρήση του PuTTY. Με την ολοκλήρωση της εισαγωγής, τα δεδομένα αποθηκεύτηκαν προσωρινά σε δύο πίνακες στη βάση δεδομένων του μαθηματικού υποδείγματος, 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 εκτελέστηκαν τα παρακάτω βήματα όπως περιγράφονται στο διάγραμμα ροής.



Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής διαδικασιών για την δημιουργία δικτύου Προσφοράς

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



Σχήμα 4: Το ολοκληρωμένο δίκτυο προσφοράς στο VISTA

3.6 Αποτελέσματα

Για την εξαγωγή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την λειτουργικότητα του δικτύου πραγματοποιήθηκε πειραματική προσομοίωση κυκλοφορίας μέσω του μαθηματικού υποδείγματος VISTA. Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής του δικτύου προσφοράς, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή της ζήτησης. Η ζήτηση εκφραζόταν μέσα από ένα μητρώο Προέλευσης – Προορισμού προερχόμενο από κυκλοφοριακή μελέτη που αφορούσε στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης για το έτος 1998 χωρίς επικαιροποιήσεις. Το μητρώο περιέχει την ζήτηση για μετακινήσεις σε διάρκεια 60 λεπτών και αναφέρεται σε ώρα αιχμής. Για την εισαγωγή των δεδομένων ζήτησης στην βάση δεδομένων του VISTA χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό PgAdmin III. Με την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας και με την χρήση υπο-ρουτινών του VISTA πραγματοποιήθηκε η πειραματική προσομοίωση. Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε μέσω γενικής αναφοράς του VISTA που περιγράφει την πρόοδο και τα χαρακτηριστικά της προσομοίωσης καθώς και μέσω της δυναμικής παρουσίασης της προσομοίωσης με την χρήση κινούμενων αντικειμένων (animation).

Σκοπό της προσομοίωσης δεν αποτέλεσε η παραγωγή δεδομένων προσομοίωσης και εκτίμησης της κυκλοφορίας για σύγκριση με την πραγματική κατάσταση που επικρατεί στο οδικό δίκτυο του Δήμου Θεσσαλονίκης, αλλά ο έλεγχος ορθότητας και λειτουργίας των δεδομένων εισόδου και των αποτελεσμάτων εξόδου και αν εμπίπτουν μέσα σε αποδεκτά όρια σε σχέση με την πραγματική κατάσταση. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, τα δεδομένα εξόδου της προσομοίωσης δεν συμβαδίζουν εξ' ολοκλήρου με την πραγματική κατάσταση της κυκλοφορίας στο οδικό δίκτυο της πόλης σήμερα, πρώτιστος εξαιτίας των δεδομένων ζήτησης, τα οποία δεν είναι επικαιροποιημένα, επίσης εξαιτίας της έλλειψης διαδικασιών

βαθμονόμησης για το μοντέλο, αλλά κυρίως εξαιτίας της εστίασης της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας, η οποία δεν επικεντρώθηκε στα θέματα αυτά. Μέσω των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν διαπιστώθηκε ότι το δίκτυο προσφοράς είναι έγκυρο και έτοιμο να αποτελέσει μέρος οποιουδήποτε συγκοινωνιακού μοντέλου που αφορά τον συγκεκριμένο δήμο και παράδειγμα για άλλες περιοχές μελέτης που απαιτούν την χρήση του συγκεκριμένου μαθηματικού υποδείγματος δυναμικής προσομοίωσης VISTA.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραπάνω προκαταρκτική μελέτη εφαρμογής, τόσο στο επίπεδο προσαρμογής και κωδικοποίησης του οδικού δικτύου όσο και στο επίπεδο τροφοδότησης και πειραματικής προσομοίωσης, βοήθησε στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σχετικά με την δημιουργία ολοκληρωμένων οδικών δικτύων μεγάλης κλίμακας με ενσωματωμένη συγκοινωνιακή πληροφορία με σκοπό να αποτελέσουν μέρος ενός μοντέλου δυναμικού καταμερισμού της κυκλοφορίας. Οι απαιτήσεις των μοντέλων σε συγκοινωνιακά δεδομένα γεννά προβλήματα στην εύρεση τους και στην δημιουργία τους. Με την εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, το μόνο που αρκεί είναι ένα οδικό δίκτυο σε μορφή χωρικών θεματικών επιπέδων και επιμέρους βάσεις συγκοινωνιακών χαρακτηριστικών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου δημιουργίας ενός εξ 'ολοκλήρου νέου οδικού δικτύου στο κυκλοφοριακό μοντέλο. Ένα άλλο βασικό προτέρημα της μεθόδου αποτελεί η δυνατότητα δημιουργίας δικτύου προσφοράς χωρίς περιορισμό στο μέγεθος του δικτύου και στον αριθμό των κόμβων και των συνδέσμων που απαιτούν άλλες μέθοδοι. Επίσης, η τροφοδότηση ενός τέτοιου μοντέλου με λογισμικά ανοιχτού κώδικα μειώνει το κόστος, λόγω της ελεύθερης και δωρεάν διάθεσής τους.

Από τα βασικότερα πλεονεκτήματα που παρέχει είναι η δυνατότητα που δίνεται στον χρήστη ενός τέτοιου μαθηματικού υποδείγματος να μπορεί να τροποποιεί και να επεξεργάζεται τα δεδομένα του από οποιοδήποτε Ηλεκτρονικό Υπολογιστή με πρόσβαση στο διαδίκτυο καθώς είναι web-based model και τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια PostgreSQL βάση δεδομένων. Τέλος, μέσω της χρήσης κατάλληλων εντολών Δομημένης Αναζήτησης SQL μπορεί να γίνει η εισαγωγή δεδομένων από πολλά άλλα αντίστοιχα μαθηματικά υποδείγματα όπως και εξαγωγή δεδομένων από την βάση σε αντίστοιχες μορφές, έτσι καθίστα την μέθοδο εφαρμόσιμη και σε άλλα μαθηματικά υποδείγματα. Επίσης, η τροφοδότηση απαιτεί γνώση βασικών εντολών δομημένης αναζήτησης SQL και δεν απαιτεί γνώση κάποιας γλώσσας προγραμματισμού που θα απαιτούσε επιπλέον χρόνο εκμάθησης και θα έκανε δύσχρηστο το συγκεκριμένο μοντέλο.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ/ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Curtin, K.M., (2001), The UNETRANS Data Model, *ESRI International Users Conference (Transportation Specialist Meeting)*, San Diego, CA.
- [2]. Dueker J.K., Butler A.J., (2000), A geographic information systems framework for transportation data sharing, *Transport Research part C8* εκδ. Pergamon
- [3]. Ewald G., Hans-Jurgen S., (2001), PostgreSQL developer's handbook. Sams Publishing, USA

- [4]. Επίσημη ιστοσελίδα για το PostGis (Geographic Objects for PostgreSQL).
<http://postgis.refractory.net>
- [5]. Επίσημη ιστοσελίδα της Microsoft SQL Server <http://technet.microsoft.com/en-us/library/bb545450.aspx>
- [6]. Hensher A.D., Button J.K., (2000), Handbook of Transport Modelling, *Handbooks in transport volume 1*, εκδ. Pergamon
- [7]. Ziliaskopoulos, A.K., Waller S.T., (2000), An internet based geographic information system that integrates data, models and users for transportation applications, *Transportation Research 8C (1)*: 427-44.
- [8]. Thill C.J., (2000), Geographic information systems for transportation in perspective, *Transport Research part C8* εκδ. Pergamon
- [9]. Highway Capacity Manual, (2000), *Transportation Research Board*, National Research Council, Ch.31, U. S. A.
- [10]. Papaioannou P., Politis I., Basbas S., (2008), The role of transport planning software tools on modeling transport systems and evaluating their performance, *3rd International Conference "From Scientific Computing to Computational Engineering"*, Athens
- [11]. Fellendorf, M., Vortisch, P., (2000), Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSUM in Different Real-World Situations, *Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C.
- [12]. Messner A., Papageorgiou M., (1990), METANET: A macroscopic simulation program for motorway networks, *Traffic engineering & control*.
- [13]. Επίσημη ιστοσελίδα του λογισμικού Citilabs Cube 5 <http://www.citilabs.com>
- [14]. Krogscheepers C., Kacip K., (2001), Latest trends in micro simulation: An application of the Paramics Model, *20th Annual South Africa Transport Conference*
- [15]. Zenina N., Merkuriev Y., (2009), Analysis of simulation input and output to compare simulation tools, *Mechanics*, № 0403
- [16]. Bloomberg L., Dale J., (2000), A comparison of the VISSIM and CORSIM traffic simulation models on a congested network, *Transportation Research Record*.
- [17]. Επίσημη ιστοσελίδα του λογισμικού INRO Emme2
<http://www.inro.ca/en/index.php>
- [18]. Barcelo J., Casas J., (2005), Dynamic Network Simulation with AIMSUN, *Simulation Approaches in Transportation Analysis*, p.57-98, Springer US
- [19]. Jayakrishnan R., Cohen M., Kim J., Mahmassani S.H., Ta-Yin Hu, (1993), A simulation-based framework for the analysis of traffic networks operating with real-time information, *Advanced Transit and Highways (PATH)*, CALTRANS Research Project, MOU-39

- [20]. Smith L., Beckman R., Anson D., Nagel K., and Williams M., (1995), TRANSIMS: Transportation analysis and simulation system, *Proceedings of the 5th National Conference on Transportation Planning Methods Applications*, Seattle.
- [21]. Επίσημη ιστοσελίδα του λογισμικού ArcGIS 9.2 ESRI,
<http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>
- [22]. Επίσημη ιστοσελίδα του λογισμικού Udig (User-friendly Desktop Internet GIS),
<http://udig.refractions.net:8080/confluence/display/UDIG/UDIG+Project>
- [23]. Επίσημη ιστοσελίδα του PuTTY,
<http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/>
- [24]. Επίσημη ιστοσελίδα του WinSCP, <http://winscp.net/eng/index.php>