



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS-T) ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

ΜΠΑΜΠΑΛΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΕΠΑΠΤΣΟΓΛΟΥ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η ραγδαία αύξηση παραγωγής δεδομένων που αφορούν στα συγκοινωνιακά δίκτυα, έχει οδηγήσει σε αυξανόμενη ανάγκη Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (**GIS συστημάτων**), τα οποία να εξυπηρετούν και να διευκολύνουν την εξαγωγή πληροφορίας σχετικής με τα εν λόγω δίκτυα.

Σε αυτή την εργασία, καταρχάς μελετήθηκαν γενικού σκοπού εφαρμογές GIS [1], καθώς και βασικές αρχές για την κατασκευή συστημάτων GIS [2] με έμφαση στον αστικό σχεδιασμό [3]. Στη συνέχεια, και με βάση την μεθοδολογία που εξήχθη από τις παραπάνω εργασίες, προτάθηκε μία πρότυπη κατασκευή - μοντέλο GIS για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Σημαντικό μέρος της εργασίας είναι η εύρεση και συμπλήρωση του μοντέλου με ένα πλούσιο σετ δεδομένων που αφορά την Αθήνα σχετικά με το οδικό δίκτυο και τις αστικές μεταφορές όπως αυτές παρέχονται από διάφορες βάσεις δεδομένων όπως το *openstreetmaps* και οι στάσεις που υπάρχουν στον ΟΑΣΑ και εξυπηρετούν το μεγαλύτερο ποσοστό της επικάλυψης της Αθήνας.

Στη συνέχεια έγινε εξαγωγή του μοντέλου σε **web-Gis** για διεπαφή με το χρήστη έχοντας όλες τις οντότητες που περιγράφηκαν παραπάνω και τα αποτελέσματα του αλγορίθμου που κατασκευάστηκε.

Για την επιβεβαίωση της ορθότητας της δουλειάς αλλά και την ποιότητά της, εφαρμόστηκε ο γνωστός αλγόριθμος **Dijkstra** (εύρεση ελάχιστου μονοπατιού) στο κατασκευασμένο πλέον δίκτυο, τα αποτελέσματα του οποίου συγκρίθηκαν με την υπάρχουσα εφαρμογή εύρεσης συντομότερης διαδρομής που υπάρχει διαθέσιμη από το *googlemaps*.

Τέλος, προτείνονται κάποιες μελλοντικές εφαρμογές στις οποίες η παρακάτω εργασία αποτελεί μια πολύ καλή βάση.

Λέξεις κλειδιά: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών για Συγκοινωνιακά (Gis-T), αλγόριθμοι συγκοινωνιακών, αλγόριθμος Dijkstra, Python, αλγόριθμοι οπτικοποίησης, Web-Gis

ABSTRACT

In recent years, the rapid increase in production of data on transport networks has led to an increasing need for Geographic Information Systems (GIS) to serve and facilitate the extraction of information related to these networks.

In this work, we first studied general purpose GIS applications [1], as well as basic principles for the construction of GIS systems [2] with an emphasis on urban planning [3]. Then, based on the methodology extracted from the above work, a GIS model for the wider area of Athens was proposed. An important part of the work is to find and complete the model with a comprehensive set of data concerning Athens on the road network and urban transport as they are provided by various databases such as openstreetmaps and attitudes at OASA and serving the largest percentage of the overlap of Athens.

Then the model was exported to web-Gis for user interface having all the entities described above and the results of the algorithm constructed.

In order to confirm the correctness of this work and its quality, the well-known Dijkstra algorithm has been applied to our own network, the results of which have been compared with the existing shortest path finder available from googlemaps

Finally some future applications are proposed in wich the following work is a very good basis.

Key Words: Geographic Information Systems Transportation (Gis-T), transportation algorithms, Dijkstra algorithms, Python, visualization algorithms, Web- Gis

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας και συνεπώς της φοίτησής μου στη σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών θα ήθελα να ευχαριστήσω κάποιους ανθρώπους που συνέβαλλαν σε αυτό. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Κωνσταντίνο Κεπαπτσόγλου για την πολύτιμη καθοδήγησή του το διάστημα που συνεργαστήκαμε.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 3 |
| ABSTRACT..... | 4 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 8 |
| 1.1 Συστήματα πληροφοριών ταξιδιωτών (Advanced Traveler Information Systems)..... | 8 |
| 1.2 Συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας..... | 9 |
| 1.3 Διαχείριση περιστατικών(συμβάντων)..... | 10 |
| 1.4. Διαχείριση ασφάλειας..... | 11 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ..... | 14 |
| 2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 14 |
| 2.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ transportGIS ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΙΣΟΧΡΟΝΗ ΧΡΗΣΗ MMM ΚΑΙ I.X... .. | 14 |
| 2.3.Geographical Information System in Transportation Planning..... | 14 |
| 2.3.1. Σύστημα Πληροφοριών Μεταφορών..... | 16 |
| 2.3.2 Ο ρόλος του GIS..... | 17 |
| 2.3.3. GIS για τη Μηχανική Μεταφορών..... | 17 |
| 2.3.4 Ανάπτυξη Εφαρμογών..... | 20 |
| 2.3.5 Χαρακτηριστικά συστήματος μεταφοράς..... | 20 |
| 2.3.6 Σχετική Βάση Δεδομένων..... | 21 |
| 2.3.7. Εφαρμογές GIS στη Μηχανική Μεταφορικών Συστημάτων..... | 23 |
| 2.3.8. Διαχείριση οδοστρώματος..... | 23 |
| 2.3.9. Μηχανική κυκλοφορίας..... | 24 |
| 2.3.10 Διαχείριση Ασφάλειας..... | 24 |
| 2.3.11 Συμπεράσματα..... | 25 |
| 2.4.GIS for Transportation: Principles, Data and Applications..... | 26 |
| 2.4.1.Εισαγωγή στο GIS-T..... | 26 |
| 2.5.Urban planning and GIS..... | 28 |
| 2.6. Transport Accessibility Analysis Using GIS: Assessing Sustainable Transport in London | 29 |
| 2.6.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 30 |
| 2.6.2.ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑ..... | 31 |
| 2.6.3. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ GIS..... | 32 |
| 2.6.4.Αποτελέσματα και συμπεράσματα..... | 37 |
| 3.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 42 |
| 3.1ΔΕΔΟΜΕΝΑ..... | 42 |
| 3.1.1Οριοθέτηση περιοχής για την κατασκευή του GIS..... | 42 |
| 3.1.2 Δεδομένα Βάσης transportGIS..... | 43 |
| 3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ..... | 44 |
| 3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ web-GIS-T..... | 49 |
| 3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟ T-GIS..... | 49 |
| 1. Εφαρμογή Dijkstra..... | 49 |
| 4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ..... | 60 |
| 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 60 |
| 4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ T-GIS..... | 60 |
| 4.3 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ GIS..... | 61 |
| 4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Dijkstra..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Σύγκριση αποτελεσμάτων Dijkstra με googlemaps..... | 62 |
| Συμπεράσματα σύγκρισης αλγορίθμου με GoogleEarth..... | 65 |
| Εξαγωγή αποτελεσμάτων Dijkstra στο web gis..... | 66 |
| 4.5.ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ - ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ..... | 68 |
| 4.5.1 Κατασκευή Ζωνών Ελέγχου Κυκλοφορίας..... | 68 |
| 4.5.2. Κατασκευή του Αττικού 511.org [8]..... | 70 |
| 4.5.3 χρήσιμες παρατηρήσεις και μελλοντική δουλειά στον Αλγόριθμο Dijkstra..... | 72 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΩΔΙΚΩΝ ΣΕ ΡΥΤΗΟΝ..... | 74 |
| ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 81 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πέρα από την κατασκευή αξιόπιστων δικτύων και εγκαταστάσεων μεταφοράς, οι κυβερνήσεις σε

ολόκληρο τον κόσμο χρησιμοποιούν, όλο και περισσότερο, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (**GIS**) στην προσπάθειά τους για πιο έξυπνα και ασφαλέστερα δίκτυα μεταφοράς.

Το επίκεντρο των περισσότερων επαγγελματιών μεταφορών στις αστικές περιοχές του κόσμου έχει μετατοπιστεί από την κατασκευή νέων εγκαταστάσεων αυτοκινητοδρόμων στη μεγιστοποίηση της χρησιμότητας των υφιστάμενων υποδομών και την ανάπτυξη νέων εγκαταστάσεων και δυνατοτήτων δημόσιων συγκοινωνιών. Ταυτόχρονα, ανανεώθηκε η εστίαση στην αποτελεσματική χρήση της τεχνολογίας για να καταστούν τα αστικά κέντρα πιο αποτελεσματικά και βιώσιμα. Αυτές οι τάσεις έχουν δημιουργήσει δύο επικαλυπτόμενες πρωτοβουλίες: **τα ευφυή συστήματα μεταφορών (ITS- Intelligent transport systems)**[4]και την έννοια των **έξυπνων πόλεων**[5]. Είναι σαφές ότι η τεχνολογία GIS[6] θα διαδραματίσει έναν ολοένα αυξανόμενο ρόλο και στις δύο πρωτοβουλίες. Ως πλατφόρμα για την ενσωμάτωση και τήρηση τεράστιων ποσοτήτων πληροφοριών, το GIS έχει ήδη συμβάλει σημαντικά σε ένα μεγάλο αριθμό συστημάτων ITS, τα οποία εξετάζονται σύντομα εδώ.

1.1 Συστήματα πληροφοριών ταξιδιωτών (Advanced Traveler Information Systems)

Τα συστήματα πληροφοριών ταξιδιωτών (**Advanced Traveler Information Systems - ATIS** - [7]) ήταν μία από τις πρώτες εφαρμογές στα ITS και σχεδιάστηκαν για να παρέχουν στο κοινό τις τρέχουσες πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες κυκλοφορίας και τις εναλλακτικές επιλογές ταξιδιού. Τέτοια

συστήματα συγκέντρωσαν πληροφορίες από διάφορους αισθητήρες και αυτοματοποιημένα συστήματα για να παρέχουν μια ενιαία πηγή ενημερωμένων πληροφοριών και επιλογών ταξιδιού. Ένα από τα πρώτα και πιο καλά τεκμηριωμένα παραδείγματα, είναι το σύστημα που εφαρμόστηκε για την περιοχή του Κόλπου του Σαν Φρανσίσκο (www.511.org)[8]. Συνδυάζει πληροφορίες σχετικά με τις ταχύτητες κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο μαζί με τις επιλογές ταξιδιού (και ένα ταξίδι σχεδιασμού) για τις δημόσιες μεταφορές, την κοινή χρήση αυτοκινήτων, την ποδηλασία και τη διαθεσιμότητα στάθμευσης σε μια ενιαία εφαρμογή που χρησιμοποιείται ευρέως από τους ντόπιους και τους τουρίστες. Η τρέχουσα περιοχή κυκλοφορίας συγχωνεύει τέσσερις ξεχωριστές υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο για την παροχή πληροφοριών στο κοινό: ταχύτητες κυκλοφορίας από ενσωματωμένους

ανιχνευτές βρόχων, ροή βίντεο από κάμερες CCTV, πληροφορίες συμβάντων από την Περιπολία Αυτοκινητοδρόμων της Καλιφόρνιας και τρέχουσα κατασκευαστική δραστηριότητα από το Υπουργείο Μεταφορών της Καλιφόρνιας, όλα οργανωμένα και παρουσιαζόμενα μέσω του GIS. Στην πραγματικότητα, όλες οι πληροφορίες από τις διάφορες επιλογές μοντέλων διαχειρίζονται από το ΓΣΠ στο παρασκήνιο, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών στάσης, διαδρομής και ναύλων από πάνω από 50 διαφορετικούς παρόχους δημόσιων μεταφορών.

Παρόμοια συστήματα έχουν αναπτυχθεί σε ολόκληρη την Ευρώπη και την Ασία, ενώ τα συστήματα **Transport Direct** και **EMT** [9] της Μαδρίτης είναι μερικά από τα καλύτερα παραδείγματα.

1.2 Συστήματα διαχείρισης κυκλοφορίας

Μεγάλο μέρος του ίδιου υλικού που εγκαταστάθηκε για συστήματα πληροφοριών ταξιδιωτών σχεδιάστηκε επίσης για την παροχή πληροφοριών για τα συστήματα διαχείρισης της αστικής κυκλοφορίας. Αρχικά, αυτές οι τεχνολογίες ήταν συχνά αυτόνομα συστήματα, με αποτέλεσμα τα πρώτα κέντρα ελέγχου της κυκλοφορίας να αποτελούσαν συχνά μια ομάδα μεγάλων τραπεζών συσκευών παρακολούθησης (**CCTV**) και να χαρακτηρίζονται από μια σειρά από μη ολοκληρωμένες τεχνολογίες διαχείρισης της κυκλοφορίας. Καθώς τα συστήματα αυτά ωρίμαζαν, η ενσωμάτωση αυτών των διαφορετικών τεχνολογιών έγινε πρωταρχικός στόχος, μαζί με την επιθυμία να επιτευχθεί συντονισμός μεταξύ των υπηρεσιών για τη διευκόλυνση της καλύτερης διαχείρισης της κυκλοφορίας, της διαχείρισης περιστατικών και της αντίδρασης σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Ήταν σε μεγάλο βαθμό δεδομένου ότι

οι οργανισμοί άρχισαν να επικεντρώνονται στον διοργανικό συντονισμό και στους τρόπους παρουσίασης μιας πιο αποτελεσματικής «κοινής επιχειρησιακής εικόνας» των συστημάτων αστικών συγκοινωνιών τους, που έρχονταν στο προσκήνιο με το GIS.

Ορισμένες από τις κορυφαίες λύσεις διαχείρισης κυκλοφορίας ενσωματώνουν στις μέρες μας το GIS ως έναν τρόπο καλύτερης κατανόησης (και διαχείρισης) της αστικής κυκλοφορίας. Η λύση **Stratos** της **Siemens** [10] μαζί με άλλους κορυφαίους παρόχους λύσεων διαχείρισης κυκλοφορίας **Transcore**, **Iteris** και

Kapsch [11] μεταξύ άλλων, διαθέτουν όλα τα ενσωματωμένα στοιχεία GIS στις λύσεις διαχείρισης της

κυκλοφορίας τους.

Στόχος αυτών των συστημάτων είναι να προσαρμόσουν δυναμικά τη ροή της κίνησης μέσω αστικών

κέντρων που ανταποκρίνονται σε περιστατικά και κυκλοφοριακή συμφόρηση σε πραγματικό χρόνο.

Τα δεδομένα κίνησης αυξάνονται συνεχώς και οι αισθητήρες γίνονται πρακτικά μέρος της καθημερινότητάς μας, καθώς είναι πιο φτηνοί και πιο δημοφιλείς [12]. Κατά συνέπεια, η επικρατούσα τάση είναι η εκμετάλλευση αυτών των δεδομένων από αλγορίθμους οι οποίοι γίνονται το κατά το δυνατόν αυτοματοποιημένοι, ελαχιστοποιείται δηλαδή η ανθρώπινη παρέμβαση. Επιπλέον, οι πληροφορίες αυτές μπορούν να επαναφερθούν στις προσπάθειες σχεδιασμού αυτών των πρακτορείων μεταφορών για να τους βοηθήσουν να σχεδιάσουν καλύτερα τις νέες βελτιώσεις στο δρόμο και να διαχειριστούν καλύτερα τις υπάρχουσες ροές κυκλοφορίας τους.

1.3 Διαχείριση περιστατικών(συμβάντων).

Η περιφέρεια του Λος Άντζελες αντιμετωπίζει χιλιάδες περιστατικά (έκτακτα/ανάγκης, κλπ)την ημέρα, [13] τα οποία επηρεάζουν τα επίπεδα συμφόρησης στο σύστημα αυτοκινητοδρόμων και αστικές αρτηρίες. Ως εκ τούτου, έχει καταβληθεί μεγάλη προσπάθεια στο συντονισμό των κρατικών υπηρεσιών (alliedservices) που είναι αρμόδιες για την αντιμετώπιση (και την εκκαθάριση) τέτοιων περιστατικών. Ένα σύστημα που βασίζεται στο GIS βοηθά στον εντοπισμό της θέσης κάθε περιστατικού, καθώς η τηλεφωνική κλήση έρχεται στο κέντρο αποστολής και κάθε μία από τις συμμαχικές συναρμόδιες/ συνεργαζόμενες υπηρεσίες (περιπολία αυτοκινητοδρόμων, χειριστές έλξης φορτηγών, μονάδες έκτακτης ανάγκης) ενημερώνεται άμεσα μέσω ενός κεντρικού συστήματος GIS . Με τον τρόπο αυτό, διευκολύνεται ο συντονισμός μεταξύ οργανισμών, με αποτέλεσμα την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση αυτών των περιστατικών και τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Καθώς θα είναι διαθέσιμες περισσότερες πηγές πληροφόρησης σχετικά με την κυκλοφορία σε πραγματικό χρόνο, αυτό θα αρχίσει να επηρεάζει και άλλους τομείς έκτακτης ανάγκης, με ασθενοφόρα, πυροσβεστικά οχήματα, αστυνομικά αυτοκίνητα, μεταξύ άλλων, μεγαλύτερη χρήση δεδομένων πραγματικού χρόνου και πρόβλεψης κίνησης. Οι υπάρχουσες έρευνες δείχνουν ότι τα ασθενοφόρα που ανταποκρίνονται σε τροχαίο ατύχημα στην ίδια θέση αλλά σε διαφορετικές ώρες της ημέρας πρέπει να μεταφέρουν τους ασθενείς σε διαφορετικά νοσοκομεία βάσει των σχετικών επιπέδων συμφόρησης, με χρονικές διαφορές της τάξης των 15 λεπτών, κρίσιμο χρόνο με τραυματισμένο ασθενή .

1.4. Διαχείριση ασφάλειας

Μία από τις σημαντικότερες υποσχέσεις των ITS είναι μεγαλύτερη ασφάλεια στους δρόμους μας. Έχουν πραγματοποιηθεί σημαντικές έρευνες[4] σε νέες τεχνολογίες που έχουν σχεδιαστεί για να ενσωματωθούν στο όχημα, καθώς και για τη χρήση αναδυόμενων τεχνολογιών για την καλύτερη κατανόηση των αιτίων των τροχαίων ατυχημάτων. Και οι δύο εξαρτώνται από τη χρήση του GIS και η έρευνα πάνω σε αυτά τα πεδία γίνεται με ταχείς ρυθμούς.

Υπάρχει μια σειρά τεχνολογιών επί οχημάτων που έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και την υποβοήθηση της συμπεριφοράς των οδηγών. Γνωστά ως προηγμένα συστήματα υποστήριξης

οδηγού (**ADAS - Advanced Driver Assistance Systems**) [14], αυτά αποτελούν τεχνολογίες που έχουν σχεδιαστεί για την αποφυγή συγκρούσεων, συστήματα προειδοποίησης αναχώρησης από τη λωρίδα κυκλοφορίας, έξυπνη προσαρμογή ταχύτητας και προειδοποιητικά συστήματα πεζών, μεταξύ άλλων. Καθένα έχει σχεδιαστεί για να προειδοποιεί τον οδηγό για μη ασφαλή οδήγηση και για πιθανούς κινδύνους άγνωστους στον οδηγό.

Εάν ένας οδηγός πλησιάσει μια επερχόμενη στροφή με υπερβολικά υψηλή ταχύτητα, η τεχνολογία ADAS [14] θα εκδώσει πρώτα μια προειδοποίηση και αν δεν ενεργήσει, το αυτοκίνητο θα βοηθήσει στην πέδηση χωρίς την ενεργό συμμετοχή του οδηγού. Παρόμοιες προειδοποιήσεις θα ειδοποιούσαν τον οδηγό ή τον πεζό σε μια επερχόμενη διασταύρωση ή τυχόν ανασφαλείς συνθήκες οδοστρώματος. Κρίσιμο στοιχείο σε τέτοια συστήματα είναι ένα πολύ ακριβές οδικό δίκτυο με γεωμετρία οδοστρώματος υψηλής ακρίβειας, όπου όλα διαχειρίζονται σε μια βάση δεδομένων GIS. Πολλοί από τους σημαντικότερους εμπορικούς πωλητές δικτύων δρόμου έχουν στρέψει την προσοχή τους στη συλλογή αυτών των χαρακτηριστικών οδοστρώματος, συχνά χρησιμοποιώντας μεθόδους συλλογής δεδομένων με χρήση LIDAR (short for **light detection and ranging**) [15] υψηλής ακρίβειας. Με τον καιρό, οι προσπάθειες αυτές θα οδηγήσουν σε ολοένα και πιο αυτοματοποιημένα συστήματα καθοδήγησης στα οχήματά μας.

Οι ίδιες τεχνικές συλλογής δεδομένων LiDAR χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή της γεωμετρίας των οδών για χρήση σε ανάλυση σύγκρουσης. Εξάγοντας τέτοια χαρακτηριστικά όπως χωρητικότητα, κλίση και καμπυλότητα του δρόμου, αυτές οι μεταβλητές μπορούν πλέον να προστεθούν σε άλλα χαρακτηριστικά του δρόμου και του οδηγού, για πιο εξελιγμένη ανάλυση συντριβής. Επιπλέον, ο ταχέως εξελισσόμενος τομέας γεωγραφικών στατιστικών εφαρμόζεται σε αυτές τις αναλύσεις, όλες σε μια προσπάθεια να εντοπιστούν καλύτερα οι προβληματικές τοποθεσίες υψηλής συχνότητας συντριβής. Μια συντονισμένη ερευνητική προσπάθεια

πολλαπλών φορέων μεταξύ του Υπουργείου Μεταφορών της Γιούτα, του **Esri** και του Ιδρύματος **AAA** θέλει να εφαρμόσει τέτοιες τεχνικές για την ανάπτυξη της επόμενης γενιάς μεθοδολογιών ανάλυσης σύγκρουσης.[16]

Σε κάθε μία από αυτές τις περιοχές των **ITS**, το GIS έχει καταστεί βασική τεχνολογία για τη συγκέντρωση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων, όλα με στόχο να καταστούν ασφαλέστεροι οι δρόμοι μας και να έχουν λιγότερη συμφόρηση και, τελικά, οι πόλεις μας να είναι πιο εύκολες και βιώσιμες.

Το GIS παρέχει σε σχεδιαστές, επιθεωρητές και μηχανικούς τα εργαλεία που χρειάζονται για να σχεδιάσουν και να χαρτογραφήσουν τις γειτονιές και τις πόλεις τους. Η απεικόνιση, η χωρική ανάλυση και η χωρική μοντελοποίηση είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες λειτουργίες GIS στο σχεδιασμό του μοντέλου. Το GIS μπορεί να βοηθήσει στην αποθήκευση, τον χειρισμό και την ανάλυση φυσικών, κοινωνικών και οικονομικών δεδομένων μιας πόλης. Οι υπεύθυνοι σχεδιασμού μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν τις χωρικές επερωτήσεις και τις λειτουργίες χαρτογράφησης του GIS για να αναλύσουν την υπάρχουσα κατάσταση στην πόλη. Μέσω της ανάλυσης επικάλυψης χάρτη, το GIS μπορεί να συμβάλει στον εντοπισμό των περιοχών σύγκρουσης της ανάπτυξης γης με το περιβάλλον, επικαλύπτοντας την υπάρχουσα ανάπτυξη της γης σε χάρτες καταλληλότητας γης.

Χρησιμοποιώντας το πολύεπίπεδο χαρακτηριστικό χαρτογράφησης του GIS, μια επιτροπή πολεοδομικού σχεδιασμού μπορεί να απεικονίσει μια ποικιλία πραγμάτων, για παράδειγμα, πρώιμη γεωργική γη, επιφανειακά ύδατα, υψηλή συχνότητα πλημμύρας και εξαιρετικά διαβρώσιμη γη. Οι πληροφορίες αυτές οδηγούν σε τεκμηριωμένες αποφάσεις, όπως η αποφυγή ανάπτυξης περιοχών με υψηλή συχνότητα πλημμύρας, καθώς οι περιοχές αυτές δεν είναι πιθανό να προσελκύσουν κατοίκους.

Το GIS μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην παρακολούθηση μιας περιοχής ή στη διεξαγωγή μελέτης σκοπιμότητας μιας τοποθεσίας για συγκεκριμένο σκοπό, για παράδειγμα την εξακρίβωση της καταλληλότητας ενός τόπου για την κατασκευή μιας γέφυρας ή ενός φράγματος.

Οι μελέτες σκοπιμότητας μικρότερων δομών, όπως τα σχολεία και τα νοσοκομεία, μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας το GIS. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να διαπιστωθεί η σκοπιμότητα χρήσης μιας περιοχής για τη διάθεση και την επεξεργασία των αποβλήτων.

Το GIS βοηθά επίσης στον εντοπισμό αλλαγών στα γεωγραφικά χαρακτηριστικά ή τη συμπεριφορά μιας γης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Οι πληροφορίες αυτές επιτρέπουν στους επαγγελματίες να

λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την αναπτυξιακή κατάσταση μιας περιοχής και να σχεδιάζουν ανάλογα.

Οι υπεύθυνοι σχεδιασμού χρησιμοποιούν το GIS για να εξομαλύνουν την πρόοδο της συμμετοχής των πολιτών και των κοινοτικών εισροών καθώς αναπτύσσουν ένα όραμα για την κοινότητα που βελτιώνει την ποιότητα ζωής για όλους τους πολίτες. Οι πολίτες αποτελούν σημείο αναφοράς οποιασδήποτε πόλης και οι άμεσες εισροές από αυτούς ως προς το τι μπορεί να γίνει για να καταστήσουν την πόλη πιο έξυπνη μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία εκπληκτικά παραγωγικών μεθόδων / μέσων για τον πολεοδομικό σχεδιασμό. Η πλατφόρμα **PPGIS** (PublicParticipation GIS - δημόσιο συμμετοχικό GIS) επιτρέπει αυτή την αποτελεσματική διαδικασία εμπλοκής.
[17]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μια εισαγωγή στο πρόβλημα της κατασκευής ενός transportgis και αναλύονται οι διάφορες προσεγγίσεις που έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί καθώς και τα προβλήματα τα οποία προσπάθησαν να λύσουν. Ακόμα γίνεται μια ανασκόπηση κάποιων εκ των εργασιών που έχουν γίνει πάνω στην κατασκευή των συγκοινωνιακών gis, όπου ανάλογα με τη χρήση και την προσέγγιση που ήθελε να μελετηθεί την εκάστοτε φορά ακολουθούνταν και ένα διαφορετικό σκεπτικό πίσω από την κατασκευή. Τέλος, γίνεται παρουσίαση και αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε σε αυτή την εργασία προκειμένου να παρουσιαστεί όσο πιο πλήρες γίνεται το GIS της Αθήνας που κατασκευάστηκε, ώστε να έχει για κύρια χρήση την ανάλυση και την πρόσβαση με τα MMM στις διάφορες διαδρομές.

2.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ transportGIS ΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑ ΣΕ ΙΣΟΧΡΟΝΗ ΧΡΗΣΗ MMM ΚΑΙ Ι.Χ.

Στην παρούσα μελέτη για το desktopGIS[29] που κατασκευάστηκε έγινε χρήση των βασικών εργαλείων που χαρακτηρίζουν ένα gis και διερευνούν συγκοινωνιακά προβλήματα πράγμα το οποίο ονομάζεται και networkanalysis. Ασχολείται με παραδοσιακά προβλήματα συντομότερης απόστασης, με τη χρήση ή όχι των αστικών συγκοινωνιών μεγαλουπόλεων όπως το Εδιμβούργο στη Σκωτία και με το οποίο ασχολήθηκε. Η παραπάνω εργασία[30]είχε ως σκοπό την εξέταση της σκοπιμότητας της δημιουργίας ισοχρονικών χαρτών για ένα συγκοινωνιακό πρόβλημα χρησιμοποιώντας GIS και τρίτον να αποδειχθεί ότι ένα GIS έχει τη δυνατότητα να κατασταθεί ένα ισχυρό εργαλείο στην σύγχρονη μεγαλούπολη.

2.3. Geographical Information System in Transportation Planning

Η παραπάνω εργασία γράφηκε για το περιοδικό geospatial world το 2009 από τους dr Pankaj Gupta, Neelam Jain, Kishor Kumar και τον καθηγητή P.K. Schipdarp που δραστηριοποιούνται και βρίσκονται στο Central Road Research Institute New Delhi, India, 110020[18]. Η εργασία είναι μια μελέτη για τις βελτιώσεις που μπορούν να επέλθουν και να καταστήσουν πιο λειτουργικό το οδικό δίκτυο στην Ινδία και τις διάφορες εργασίες που μπορούν να λυθούν με τη χρήση κάποιου GIS-T.

Το οδικό δίκτυο στην Ινδία είναι τεράστιο, με μήκος άνω των 3,01 εκατομμυρίων χιλιομέτρων, με 34.608 χλμ εθνικής οδικής αρτηρίας, 128.622 χλμ. Εθνικής οδού και

ανεπίσημο δίκτυο 2.737.080 χλμ., που λειτουργούν σε πολύ διαφορετικά κοινωνικά, οικονομικά και κλιματικά περιβάλλοντα [18]. Ο σχεδιασμός και η διαχείριση ενός τέτοιου τεράστιου δικτύου στη χώρα πραγματοποιήθηκε κυρίως σε δύο επίπεδα, δηλαδή σε εθνικό και τοπικό επίπεδο. Ο σχεδιασμός σε εθνικό επίπεδο στη χώρα είναι ευρύτατος και γίνεται με τη χρήση ορισμένων δεδομένων μακροοικονομικού επιπέδου όπως η περιοχή, το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν, κλπ., Ενώ ο σχεδιασμός σε τοπικό επίπεδο είναι συγκεκριμένος ως προς το πρόβλημα και περιορίζεται σε μια περιοχή μερικών μητροπολιτικών πόλεων. Ο προγραμματισμός του οδικού δικτύου με βάση τις απαιτήσεις της ζήτησης για ταξίδια στη χώρα δεν μπορούσε να υιοθετηθεί απλώς και μόνο λόγω έλλειψης σχετικών δεδομένων που απαιτούνται γι 'αυτό (MOST, 1984).

Ο μεγάλος σχεδιασμός σε διάφορες πτυχές του οδικού δικτύου μπορεί να αποδοθεί στην έλλειψη μεγάλου όγκου δεδομένων που απαιτούνται για το σκοπό αυτό. Ακόμα κι αν αυτά τα δεδομένα είναι διαθέσιμα, το επόμενο πρόβλημα είναι πώς να διαχειριστεί και να αποκτήσει πρόσβαση κανείς σε αυτά τα δεδομένα. Οι πολύτιμες πληροφορίες που αφορούν στην υπάρχουσα υποδομή μεταφορών είναι διάσπαρτες σε ολόκληρη τη χώρα, σε διαφορετικούς οργανισμούς. Τα δεδομένα χαρακτηριστικών του δικτύου NH, SH και MDR διατίθενται σε τεμάχια σε διαφορετικούς οργανισμούς του συστήματος κρατικού επιπέδου και σπανίως χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά από τους σχεδιαστές. Επί του παρόντος, κάθε άσκηση σχετικά με την επάρκεια του υφιστάμενου δικτύου στο περιφερειακό πλαίσιο ή σε εθνική γενιά σχεδίων για το πρωτεύον δίκτυο, όπως η οδός ταχείας κυκλοφορίας, δεν μπορεί να χρησιμοποιήσει κανένα από τα υπάρχοντα δεδομένα. Συνεπώς, τα σημερινά διαθέσιμα δεδομένα σε μεγάλο αριθμό θέσεων σε όλες τις δυνατές μορφές είναι άχρηστα και οι πόροι που δαπανώνται για τη συλλογή και τη συντήρηση αυτών των δεδομένων δημιουργούν πρόβλημα στον οικονομικό προϋπολογισμό για τους συγκεκριμένους τομείς

Τα δίκτυα αυτοκινητοδρόμων αντιμετωπίζουν πρόβλημα φθοράς λόγω έλλειψης πόρων για υποδομές. Η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών όπως το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων στον τομέα αυτό για την καλύτερη χρήση των διαθέσιμων περιορισμένων κεφαλαίων. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στις υπηρεσίες σχεδιασμού μεταφορών, ιδίως μεταξύ μητροπολιτικών μεταφορικών οργανισμών.

Σε πολλές αναπτυγμένες χώρες, η διαχείριση συντήρησης αυτοκινητοδρόμων γίνεται ένα κρίσιμο ζήτημα. Πολλές άλλες αρχές είναι πλέον σε θέση να χρησιμοποιούν το GIS για αυτοκινητόδρομους και τη διαχείριση των μεταφορών, λόγω της μείωσης του κόστους και της αύξησης της φιλικότητας του GIS. Το GIS προσφέρει στους φορείς σχεδιασμού μεταφορών ένα μέσο για την αποθήκευση και την ανάλυση δεδομένων σχετικά με την πυκνότητα του πληθυσμού, τις χρήσεις γης, τη συμπεριφορά των ταξιδιών κλπ. Οι σημαντικότεροι στόχοι για τη χρήση του GIS είναι ο σχεδιασμός χαρτών / απεικόνισης και δεδομένων. Οι οργανισμοί πρέπει να εντοπίζουν πιθανά ζητήματα που μπορούν να αντιμετωπιστούν μέσω μιας εφαρμογής GIS πιο αποδοτικά

και αποτελεσματικά και πιο οικονομικά από ότι με τις επικρατούσες μεθόδους. Οι ομοσπονδιακοί, κρατικοί και τοπικοί φορείς χρησιμοποιούν πληροφορίες GIS για την ανάπτυξη της πολιτικής μεταφορών και του σχεδιασμού.

Η χρήση του GIS για εφαρμογές μεταφοράς είναι ευρέως διαδεδομένη. Τυπικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τη συντήρηση αυτοκινητοδρόμων, τη μοντελοποίηση κυκλοφορίας, την ανάλυση ατυχημάτων και τον σχεδιασμό διαδρομών και την περιβαλλοντική αξιολόγηση των οδικών συστημάτων. Μια θεμελιώδης απαίτηση για το μεγαλύτερο μέρος των μεταφορών GIS είναι ένα δομημένο οδικό δίκτυο. Πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τη γενική τοπογραφία, την κάλυψη της γης και τη χρήση της γης είναι κατάλληλες για την εξέταση των επιπτώσεων της κατασκευής. Η έλλειψη κατάλληλων δεδομένων για το GIS παραμένει ένα χρόνιο πρόβλημα. Το GIS περιγράφει έναν κόσμο όσον αφορά τα μήκη και πλάτη και άλλα συστήματα προβολής που αποτελούνται από μια ιεραρχική δομή γραφικών αντικειμένων. Το τυπικό GIS αντιπροσωπεύει τον κόσμο ως χάρτη. Οι κύριες απαιτήσεις και θέματα που αφορούν στην τεχνολογία διαχείρισης GIS είναι η δημιουργία και η διατήρηση μιας βάσης δεδομένων, η επιλογή και η αναβάθμιση του υλικού και του λογισμικού, η χρήση της τεχνολογίας για την επίλυση προβλημάτων, η χρηματοδότηση, η δικτύωση, η παροχή πρόσβασης και άλλα. Οι τυπικές λειτουργίες GIS περιλαμβάνουν θεματική χαρτογράφηση, στατιστικές, χειρισμό μήτρας, σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, μοντελοποίηση και αλγόριθμους και ταυτόχρονη πρόσβαση σε διάφορες βάσεις δεδομένων.

Η εργασία εξετάζει έτσι την καταλληλότητα της τεχνολογίας γεωγραφικού συστήματος διαχείρισης (GIS) για τη διαχείριση της υποδομής μεταφορών στη χώρα.

2.3.1. Σύστημα Πληροφοριών Μεταφορών

Πολλά αναπτυξιακά έργα έχουν σοβαρή εξάρτηση από το δίκτυο μεταφορών. Τεκμηριωμένες πληροφορίες σχετικά με την υποδομή μεταφορών αποτελούν θεμελιώδη προϋπόθεση για πολλές διαδικασίες λήψης αποφάσεων, επομένως, οι πληροφορίες πρέπει να είναι αξιόπιστες, ενημερωμένες, σχετικές, εύκολα προσβάσιμες και προσιτές. Η καλύτερη πληροφόρηση δεν εγγυάται καλύτερη ικανότητα λήψης αποφάσεων, αλλά η απουσία της την αποκλείει. Αυτή η απαραίτητη ζήτηση πληροφοριών απαιτεί νέες προσεγγίσεις στις οποίες πρέπει να εντοπίζονται, να συλλέγονται, να αποθηκεύονται, να ανακτώνται, να διαχειρίζονται, να αναλύονται, να διαβιβάζονται και να παρουσιάζονται δεδομένα σχετικά με το δίκτυο μεταφορών. Τα δεδομένα σχετικά με τις οδικές μεταφορές, περιλαμβάνουν ιδίως δραστηριότητες όπως καταμέτρηση της κυκλοφορίας, καταγραφή σημείων, έρευνα ατυχημάτων, καταγραφή έργων και χρηματοδότησης έργων και συντήρησης, μελέτες ορθής οδού, απογραφές γεφυρών, έρευνες κατάστασης οδοστρώματος, απογραφές σχεδιασμού γεωμετρίας και άλλες συλλογές και δραστηριότητες συντήρησης δεδομένων. Αυτές οι

ενέργειες είναι ως επί το πλείστον ασυντόνιστες εντός των οργανώσεων και στα οργανωτικά όρια. Λόγω της έλλειψης συντονισμού ή στενής αντίληψης της χρήσης και εφαρμογής των δεδομένων, τα δεδομένα που συλλέγονται για έναν σκοπό είναι σπάνια χρήσιμα για άλλους. Εάν δύο χρήστες χρειάζονται τα ίδια δεδομένα ή πολύ παρόμοια δεδομένα, τα δεδομένα συλλέγονται συχνά δύο φορές. Ωστόσο, αν τα δεδομένα είναι σωστά ενσωματωμένα χρησιμοποιώντας την κατάλληλη έννοια του συστήματος αναφοράς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέγιστη χρήση τόσο για τη μεταφορά όσο και για πολλούς άλλους σκοπούς. Λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα της ανάπτυξης, της ενημέρωσης και της επεξεργασίας των δεδομένων που σχετίζονται με τις μεταφορές και της φθίνουσας εξέλιξης του κόστους διαχείρισης και αποθήκευσης δεδομένων, υπάρχει επείγουσα ανάγκη υιοθέτησης νέων εννοιών και τεχνολογιών για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη της διαχείρισης των υποδομών μεταφορών χώρας. Ως εκ τούτου, η εξέλιξη στον τομέα της πληροφορικής, όπως το σύστημα εμπειρογνομώνων GIS και τα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων, έχουν ιδιαίτερη σημασία για τον τομέα της μηχανικής μεταφοράς.

2.3.2 Ο ρόλος του GIS

Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) αποτελεί ένα νέο υπόδειγμα για την οργάνωση της πληροφόρησης και του σχεδιασμού πληροφοριακών συστημάτων, η βασική πτυχή της οποίας είναι η χρήση της έννοιας της θέσης ως βάσης για τη δομή των πληροφοριακών συστημάτων. Η εφαρμογή του GIS

έχει σχέση με τη μεταφορά λόγω του ουσιαστικά χωρικά κατανεμημένου χαρακτήρα των δεδομένων που σχετίζονται με τη μεταφορά και της ανάγκης για διάφορους τύπους ανάλυσης επιπέδου δικτύου, στατιστικής ανάλυσης και χωρικής ανάλυσης και χειρισμού. Οι περισσότερες επιπτώσεις στις μεταφορές είναι χωρικές. Στην πλατφόρμα GIS, η βάση δεδομένων του δικτύου μεταφορών γενικά επεκτείνεται ενσωματώνοντας πολλά σύνολα χαρακτηριστικών και χωρικών δεδομένων του μέσω του γραμμικού συστήματος αναφοράς. Επιπλέον, το GIS θα διευκολύνει την ενσωμάτωση όλων των άλλων κοινωνικοοικονομικών δεδομένων με τη βάση δεδομένων του δικτύου μεταφορών για ευρεία ποικιλία λειτουργιών σχεδιασμού.

2.3.3. GIS για τη Μηχανική Μεταφορών

Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης του GIS είναι η ικανότητά του να έχει πρόσβαση και να αναλύει χωρικά κατανεμημένα δεδομένα σε σχέση με την πραγματική χωρική του θέση που επικαλύπτεται σε έναν βασικό χάρτη της περιοχής κάλυψης που επιτρέπει την ανάλυση που δεν είναι δυνατή με τα άλλα συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων. Το κύριο πλεονέκτημα της χρήσης του GIS δεν είναι απλώς η φιλική προς το χρήστη οπτική πρόσβαση και απεικόνιση, αλλά και η ικανότητα χωρικής ανάλυσης και η δυνατότητα εφαρμογής τυπικών λειτουργιών GIS, όπως η θεματική χαρτογράφηση, η χαρτογράφηση, η ανάλυση σε επίπεδο δικτύου, η ταυτόχρονη πρόσβαση σε πολλά επίπεδα των δεδομένων και της επικάλυψης αυτών, καθώς και της δυνατότητας διασύνδεσης με εξωτερικά προγράμματα και λογισμικό

υποστήριξης αποφάσεων, διαχείρισης δεδομένων και λειτουργιών που σχετίζονται με το χρήστη (Vonderohe, 1993) [19].

Η υπάρχουσα βάση δεδομένων δεν επιτρέπει στο χρήστη να χειρίζεται, να αποκτά πρόσβαση και να αναζητά τη βάση δεδομένων εκτός από πολύ περιορισμένο τρόπο. Ο χρήστης περιορίζεται μόνο σε αντικειμενικά ερωτήματα, η επιλογή και η προβολή των δεδομένων ιδιοτήτων διέλευσης σε σχέση με τις χωρικές και τοπολογικές σχέσεις δεν είναι δυνατή. Πάνω από τα συναφή δεδομένα, όπως η χρήση της γης, ο πληθυσμός και τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου της περιοχής στα σημεία διασταύρωσης, δεν είναι δυνατή η πρόσβαση στην παρούσα βάση δεδομένων. Αυτή η ικανότητα του GIS, μαζί με την τελική παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε έναν ψηφιακό βασικό χάρτη, θα επιτρέψει στον χρήστη να αντιληφθεί καλύτερα το πρόβλημα, να επιτρέψει καλύτερες αποφάσεις και να καταστήσει δυνατή την καλύτερη κατανόηση του τι πρέπει να επιτευχθεί με ευρύτερη έννοια. Η δυνατότητα καθορισμού ερωτημάτων υπό όρους, η πραγματοποίηση στατιστικής ανάλυσης, η δημιουργία θεματικών χαρτών και η παροχή δυνατοτήτων χαρτογράφησης του προγράμματος ασφάλειας διασταύρωσης επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση των δεδομένων.

Επιπλέον, η ικανότητα του λογισμικού GIS να παρέχει πολλά βασικά μοντέλα μεταφοράς και αλγορίθμους μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη σε συγκεκριμένες καταστάσεις. Η δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερικές διαδικασίες και λογισμικά παρέχει επίσης ευελιξία, καθώς αυτές οι διαδικασίες μπορούν να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα εντός του GIS και να παρουσιάσουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης στο GIS για προβολή και ανάλυση.

Το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη διαχείριση της υποδομής των οδικών αρτηριών με τρόπο παρόμοιο με την τρέχουσα εφαρμογή του σε πληροφορίες επί χερσαίων συνόρων. Οι διαδικασίες GIS παρέχουν μια συντονισμένη μεθοδολογία για τη συγκέντρωση μιας ευρείας ποικιλίας πηγών πληροφοριών κάτω από μια ενιαία, οπτικά προσανατολισμένη ομπρέλα, ώστε να είναι διαθέσιμες σε ένα διαφορετικό ακροατήριο των χρηστών. Τα εργαλεία GIS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βοηθήσουν τεχνικούς και διοικητικούς ειδικούς τόσο για τη διαχείριση δαπανηρών και εντατικών πόρων όσο και για την παροχή πληροφοριών στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων.

Ο σχεδιασμός των μεταφορών αποτελείται γενικά από έναν αριθμό επιμέρους ενοτήτων, που λειτουργούν συχνά ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Οι ενότητες αυτές περιλαμβάνουν τον έλεγχο της ποιότητας κατασκευής, τη διαχείριση των οδοστρωμάτων, τη διαχείριση συντήρησης, τη διαχείριση γέφυρας, τη διαχείριση των

κυκλοφοριακών συστημάτων (διαχείριση κυκλοφοριακών διεργασιών για ανάλυση διαδρόμων κυκλοφορίας, επαναδρομολόγηση κατασκευής αυτοκινητοδρόμων, δρομολόγηση επικίνδυνων υλικών, διαχείριση συμβάντων και διαχείριση στοιχείων ασφάλειας) και δεδομένα ατυχημάτων.

Έτσι, οι πιθανές εφαρμογές για GIS στον προγραμματισμό των μεταφορών περιλαμβάνουν τα εξής [20]:

- Εκτελεστικό σύστημα πληροφοριών.
- Σύστημα διαχείρισης οδοστρώματος.
- Διαχείριση γέφυρας.
- Διαχείριση συντήρησης.
- Διαχείριση ασφάλειας.
- Διαχείριση συστήματος μεταφοράς (TSM)
- Πρόβλεψη της ζήτησης ταξιδιού
- Διατήρηση του διαδρόμου και δικαίωμα διαδρομής
- Διαχείριση Τεχνικών Έργων
- Επικίνδυνη δρομολόγηση φορτίου
- Τα υπερβολικά / υπερμεγέθη οχήματα επιτρέπουν τη δρομολόγηση.
- Ανάλυση ατυχημάτων
- Επιπτώσεις στο περιβάλλον
- Αντιστοίχιση οικονομικών επιπτώσεων στο έδαφος και ανάλυση συλλογής αξίας και άλλα.

Το GIS για τις μεταφορές (GIS-T) είναι η ένωση του συστήματος πληροφοριών μεταφοράς (TIS) και του GIS. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του GIS-T σε διάφορους οργανισμούς μεταφορών είναι η δυνατότητα

ολοκλήρωσης των δεδομένων. Τα δεδομένα που αναφέρονται στο δίκτυο μεταφοράς καθώς και πολλές άλλες αυτόνομες βάσεις δεδομένων του παρελθόντος, όπως απογραφές γέφυρας, θέση σήμανσης, αρχείο ατυχημάτων και άλλα δεδομένα ασφαλείας · τον όγκο της κυκλοφορίας και άλλα λειτουργικά δεδομένα. Μπορούν επίσης να ενσωματωθούν και άλλοι τύποι δεδομένων όπως τα δεδομένα διοικητικής χρήσης, χρήσης γης, δημογραφικά δεδομένα, περιβαλλοντικά στοιχεία, πόροι, έδαφος και υπόγεια στοιχεία. Οι βασικές λειτουργίες του GIS χρήσιμες για την επίλυση προβλημάτων μεταφοράς είναι η επεξεργασία, η απεικόνιση, η μέτρηση, η επικάλυψη, η δυναμική κατάτμηση, η μοντελοποίηση επιφανειών, η απεικόνιση "raster" και η ανάλυση, η δρομολόγηση και οι συνδέσεις με άλλο λογισμικό.

Μπορούν να αναμένονται εφαρμογές GIS στη διαχείριση των οδοστρωμάτων, στη μηχανική κυκλοφορίας, στον προγραμματισμό και την έρευνα, στη συντήρηση της γέφυρας και στην υποστήριξη γραφείων, Άλλες εφαρμογές σχεδιασμού περιλαμβάνουν σχεδιασμό εκκένωσης, σχεδιασμό περιστατικών απελευθέρωσης επικίνδυνων υλικών, ανάπτυξη νέων ζωνών ανάλυσης κυκλοφορίας από απογραφές και ανάπτυξη νέων αστικών δικτύων αυτοκινητοδρόμων.

Το GIS είναι ένα ισχυρό εργαλείο στην ανάλυση και σχεδιασμό δικτύων δρομολόγησης μεταφορών. Οι γραφικές του δυνατότητες προβολής επιτρέπουν όχι μόνο την οπτικοποίηση των διαφόρων διαδρομών αλλά και την αλληλουχία στην οποία είναι κατασκευασμένες, γεγονός που επιτρέπει την κατανόηση της λογικής πίσω από το σχεδιασμό του δικτύου δρομολόγησης.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ του συστήματος μεταφοράς και του περιβάλλοντός του καθιστά την τεχνολογία GIS ιδανική για επικίνδυνα υλικά, σχεδιασμό δρομολόγησης, ανάλυση κινδύνου και λήψη αποφάσεων. Το GIS μπορεί επίσης να ενσωματωθεί με εξελιγμένα μαθηματικά μοντέλα και διαδικασίες αναζήτησης για την ανάλυση διαφορετικών επιλογών διαχείρισης και πολιτικών [20].

2.3.4 Ανάπτυξη Εφαρμογών

Οι τρεις ευρείες λειτουργικές περιοχές - σχεδιασμός, διαχείριση και μηχανική - [20], θα χρησιμοποιηθούν για την κατηγοριοποίηση των υφιστάμενων και μελλοντικών εφαρμογών GIS-T. Οι εφαρμογές προγραμματισμού συχνά δεν χρειάζονται ιδιαίτερα ακριβή δεδομένα γεωγραφικής περιοχής. Έτσι μπορούν να αναπτυχθούν σε κρατικό επίπεδο με δίκτυο δικτύου που καλύπτει ολόκληρο το κράτος. Το κρατικό δίκτυο θα είναι πρωτίστως χρήσιμο για σχεδιασμό στρατηγικού επιπέδου μεγάλου βεληνεκού με σπάνιες ενημερώσεις.

Οι εφαρμογές διαχείρισης συχνά απαιτούν λεπτομερέστερα δεδομένα τοποθεσίας που είναι διαθέσιμα σε περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο. Ένα γραμμικό δίκτυο θα περιλαμβάνει συνήθως έναν διάδρομο ή μια υπό-ζώνη ενδιαφέροντος. Για μια υπό-περιοχή μπορεί να απαιτείται δίκτυο δικτύου.

Οι εφαρμογές των μηχανικών περιορίζονται γενικά στο επίπεδο του έργου που περιλαμβάνει ένα μόνο στενό διάδρομο. Απαιτείται υψηλό επίπεδο χωρικής ακρίβειας. Οι περισσότερες εφαρμογές είναι μια μοναδική προσπάθεια για την περιοχή ενδιαφέροντος, αλλά μπορεί να απαιτηθεί μηχανική ανασκόπηση ως μέρος των κύκλων ανασκόπησης σχεδιασμού και διαχείρισης (Peuquet, 1991).[19]

2.3.5 Χαρακτηριστικά συστήματος μεταφοράς

Τα χαρακτηριστικά του συστήματος μεταφοράς μπορούν να ομαδοποιηθούν σε έξι κατηγορίες: 1) φυσική,

2) κίνηση, 3) ταξίδια, 4) φορτία, 5) λειτουργίες και συντήρηση και 6) οικονομικά.[20]

Η μεταφορά συνεπάγεται την αλληλεπίδραση μεταξύ της προσφοράς (φυσικά χαρακτηριστικά) και της ζήτησης (χαρακτηριστικά κυκλοφορίας). Η ανάλυση της αλληλεπίδρασης μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ενισχύεται από τα χαρακτηριστικά ταξιδιού που εξηγούν γιατί η κυκλοφορία υπάρχει σε μια θέση και όχι σε άλλη. Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τον έλεγχο του συστήματος μεταφοράς και τον τρόπο διατήρησης του συστήματος. Τέλος, απαιτούνται οικονομικά στοιχεία για την αντιμετώπιση των ερωτημάτων κατανομής πόρων.

Τα οικονομικά χαρακτηριστικά καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα δαπανών, οι οποίες μπορούν να ομαδοποιηθούν στις τρεις βασικές κατηγορίες κατασκευής, συντήρησης και κόστους λειτουργίας των οχημάτων.

2.3.6 Σχετική Βάση Δεδομένων

Θα πρέπει να είναι διαθέσιμες διάφορες βάσεις δεδομένων για εφαρμογές GIS-T, συμπεριλαμβανομένων των βάσεων δεδομένων για τη χρήση γης, τη δημογραφία, το περιβάλλον, "τη χρησιμότητα" (utility) και τα επικίνδυνα υλικά. Τα πρώτα τρία αφορούν επικαλύψεις πολυγώνων που παράγονται από άλλους οργανισμούς. Το πλήρες εύρος των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με αυτές τις βάσεις δεδομένων είναι δυνητικά χρήσιμο για εφαρμογές GIS-T. Τα συστήματα χρησιμότητας (utility systems) όπως ο αποχετευτικός αγωγός και το νερό μπορούν να εκπροσωπούνται ως δίκτυα που χρησιμοποιούν κόμβους και συνδέσμους με κατάλληλα χαρακτηριστικά. Τα επικίνδυνα υλικά μπορούν να εκπροσωπούνται ως "ζήτηση ταξιδιού" με προέλευση και προορισμό για επικίνδυνο φορτίο ή ως επικαλύψεις σημείων ή πολύγωνων σε περίπτωση μολυσμένης περιοχής. Επιπλέον, πρέπει να είναι διαθέσιμα τα εταιρικά συστήματα διαχείρισης, λογιστικής και προϋπολογισμού για εφαρμογές GIS-T.

GIS-T Λειτουργικότητα

Για τον προσδιορισμό και την ταξινόμηση των εφαρμογών GIS-T, χρησιμοποιούνται επτά λειτουργίες GIS ή ομάδες λειτουργιών [19]:

- 1. Βασικές λειτουργίες (επεξεργασία, εμφάνιση, μετρήσεις)**
- 2. Επικάλυψη.**
- 3. Δυναμική τμηματοποίηση.**
- 4. Μοντελοποίηση επιφανειών.**
- 5. Εμφάνιση και ανάλυση "raster"**
- 6. Δρομολόγηση, και**
- 7. Σύνδεσμοι με άλλο λογισμικό (π.χ. πακέτα μεταφοράς μοντέλων μεταφοράς).**

Οι βασικές λειτουργίες χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία, την εμφάνιση και τη μέτρηση των βασικών χαρτών. Η λειτουργία επεξεργασίας επιτρέπει στον χρήστη να προσθέτει ή να διαγράφει σημεία, γραμμές ή πολύγωνα και να αλλάζει τα

χαρακτηριστικά αυτών των λειτουργιών. Η λειτουργία απεικόνισης δημιουργεί θεματικούς χάρτες που εμφανίζουν τα χαρακτηριστικά των επιλεγμένων λειτουργιών χρησιμοποιώντας μια ποικιλία συμβόλων και χρωμάτων. Η λειτουργία μέτρησης είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό του μήκους των γραμμών και της περιοχής των πολύγωνων.

Η λειτουργία επικάλυψης επιτρέπει την ταυτόχρονη εμφάνιση δύο ή περισσότερων βασικών χαρτών. Η ένωση δύο βασικών χαρτών εμφανίζει όλες τις λειτουργίες και των δύο χαρτών, ενώ η διατομή δύο χαρτών βάσης εμφανίζει μόνο τις λειτουργίες που είναι κοινές στους δύο βασικούς χάρτες.

Η δυναμική κατάτμηση περιλαμβάνει τη διαίρεση ή τον διαχωρισμό των συνδέσεων δικτύου σε τμήματα που είναι ομοιογενή για το συγκεκριμένο σύνολο χαρακτηριστικών συνδέσεων. Η τμηματοποίηση είναι δυναμική επειδή δημιουργείται ως απόκριση στα τρέχοντα χαρακτηριστικά του δικτύου. Εάν αλλάξουν τα χαρακτηριστικά, τότε "δυναμική κατάτμηση" θα δημιουργήσει ένα νέο σύνολο ομοιογενών τμημάτων.

Η δυναμική τμηματοποίηση [21] έχει εισαχθεί στο λογισμικό GIS προκειμένου να ενσωματωθούν και να αναλυθούν τα χαρακτηριστικά του συστήματος μεταφοράς που βασίζονται σε συνδέσμους. Για παράδειγμα, στη διαχείριση του οδοστρώματος, ο χάρτης βάσης οδικής κυκλοφορίας μπορεί αρχικά να "δυναμικά κατατμηθεί" από ασφαλτικό έναντι σκυροδέματος, έτσι ώστε κάθε τμήμα δικτύου να περιέχει μόνο ασφαλτικό οδόστρωμα ή μόνο σκυρόδεμα. Η προδιαγραφή του τύπου του οδοστρώματος και του αριθμού λωρίδων ως χαρακτηριστικών για τη δυναμική τμηματοποίηση θα οδηγούσε σε τμήματα δικτύου με τον ίδιο αριθμό λωρίδων για κάθε τύπο δρόμου.

Η λειτουργία μοντελοποίησης επιφάνειας δημιουργεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο μορφών γης ή άλλων επιφανειακών χαρακτηριστικών. Ο ψηφιακός τοπογραφικός χάρτης που δημιουργείται από τη λειτουργία μοντελοποίησης επιφάνειας είναι απαραίτητος για τον σχεδιασμό των εθνικών οδών. Ο πραγματικός σχεδιασμός αυτοκινητόδρομων μπορεί να γίνει με ξεχωριστό λογισμικό σχεδιασμού που εισάγει τον τοπογραφικό χάρτη από το GIS. Η προκύπτουσα ευθυγράμμιση αυτοκινητοδρόμων εξάγεται έπειτα στο GIS για περαιτέρω ανάλυση.

Η λειτουργία απεικόνισης ράστερ επιτρέπει την ενσωμάτωση φωτογραφιών και άλλων εικόνων σε ένα GIS. Οι επικαλύψεις αεροφωτογραφιών με χάρτες βασικών οδών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενημέρωση των βασικών χαρτών προσθέτοντας νέους συνδέσμους, νέες λειτουργίες όπως γέφυρες ή διασταυρώσεις και διορθώνοντας τα λάθη στην ευθυγράμμιση. Επικαλύψεις με χάρτες βασικών ζωνών (πολύγωνο) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον κωδικό χρήσης γης και άλλα χαρακτηριστικά.

Οι δυνατότητες δρομολόγησης βασισμένες σε ελάχιστες χρονικές διαδρομές είναι διαθέσιμες στο λογισμικό ταξιδιωτικής ζήτησης για πολλά χρόνια. Η ενσωμάτωση της δρομολόγησης στο λογισμικό GIS μειώνει άμεσα την ανάγκη δημιουργίας δεσμών με άλλα μοντέλα και λογισμικό. Οι συνδέσεις με άλλα μοντέλα και λογισμικό, όπως τα μοντέλα ζήτησης σχεδιασμού μεταφοράς και το λογισμικό σχεδιασμού αυτοκινητοδρόμων, θα εξακολουθήσουν να είναι απαραίτητα, εάν υλοποιηθεί η πλήρης ισχύς του GIS-T.

Η λειτουργικότητα του υπάρχοντος λογισμικού GIS-T μπορεί να περιορίσει την επιλογή της χωρικής βάσης δεδομένων και των τρόπων μεταφοράς. Οι διαθέσιμες χωρικές βάσεις δεδομένων περιορίζουν αρχικά την επιλογή των χωρικών και χρονικών διαστάσεων των πιθανών εφαρμογών. Η διαθεσιμότητα σχετικών βάσεων δεδομένων θα προκαλέσει αρχικά παρόμοιους περιορισμούς. Κατά την προβολή μελλοντικών εφαρμογών GIS-T, αυτοί οι περιορισμοί θα χαλαρώσουν.

2.3.7. Εφαρμογές GIS στη Μηχανική Μεταφορών Συστημάτων

Η μεταφορά είναι εγγενώς γεωγραφική και ως εκ τούτου, το GIS διαθέτει τεχνολογία με σημαντικές δυνατότητες για δραματικά οφέλη αποδοτικότητας και παραγωγικότητας για πλήθος παραδοσιακών εφαρμογών μεταφοράς και δημιουργεί την ευκαιρία ανάπτυξης νέων εφαρμογών. Οι εφαρμογές του GIS στη μεταφορά μπορούν να θεωρηθούν ότι περιλαμβάνουν είτε (i) Ανάκτηση δεδομένων, (ii) ολοκληρωτής δεδομένων, ή (iii) Ανάλυση δεδομένων. Οι τομείς εφαρμογής του GIS στη μεταφορά καλύπτουν όλους τους παραδοσιακούς τομείς ευθύνης ενός οδικού δικτύου (Singh, 1999)[28]

2.3.8. Διαχείριση οδοστρώματος

Το Σύστημα Διαχείρισης Πλακών (PMS) περιέχει τρία κύρια στοιχεία: συλλογή, ανάλυση και ενημέρωση δεδομένων. Τα συστατικά στοιχεία που συλλέγονται περιλαμβάνουν:

- Απογραφή: Χαρακτηριστικό φυσικού οδοστρώματος που περιλαμβάνει τους αριθμούς λωρίδων, μήκος, πλάτος, τύπος επιφάνειας, λειτουργική ταξινόμηση και γενικές πληροφορίες
- Ιστορικό: Στοιχεία έργου και τύπος κατασκευής, ανακατασκευή, αποκατάσταση και προληπτική συντήρηση
- Έλεγχος κατάστασης: τραχύτητα στην οδήγηση, τριβή επιφάνειας οδοστρώματος, διαδρομή και δυσφορία
- Κυκλοφορία: όγκος, τύπος οχήματος και δεδομένα φορτίου. και
- Τα συστατικά που εξετάζονται περιλαμβάνουν:
- Ανάλυση συνθηκών: βόλτα, αγωνιώδες περπάτημα, ρουτίνα και επιφανειακή τριβή

- Ανάλυση απόδοσης: ανάλυση επιδόσεων οδοστρώματος και εκτίμηση της υπολειπόμενης διάρκειας ζωής
- Ανάλυση Επενδύσεων: μια εκτίμηση των επενδυτικών στρατηγικών σε επίπεδο δικτύου και έργου. Αυτά περιλαμβάνουν ανάλυση ενιαίας και πολυετούς περιόδου και πρέπει να εξετάζουν την αξιολόγηση του κόστους κύκλου ζωής
- Μηχανική Ανάλυση: αξιολόγηση σχεδιαστικής κατασκευής, αποκατάστασης, υλικού, σχεδιασμού και συντήρησης.

Το GIS είναι μια λογική προσέγγιση για τη διαχείριση αυτού του προγράμματος, σύμφωνα με την οποία η ανάλυση των περιγραφών των τμημάτων του πεζοδρομίου και των ελαττωμάτων του πεζοδρομίου που συλλέγονται στις έρευνες για την κατάσταση των οδοστρωμάτων θα μπορούσε να διατηρηθεί από τη θέση. Επίσης, η κατανομή των κονδυλίων συντήρησης και ανακύκλωσης μπορεί να γίνει με βάση τα χιλιόμετρα λωρίδας σε μια γεωγραφική περιοχή και τις αντίστοιχες βαθμολογίες συνθηκών οδοστρώματος. Το PMS με βάση το GIS θα καταστήσει έτσι πιο δίκαια τη διανομή των κεφαλαίων και ένα πιο οπτικό μέσο για τη λήψη τέτοιων αποφάσεων πολιτικής.

2.3.9. Μηχανική κυκλοφορίας

Τα προγράμματα διαχείρισης συμφόρησης μπορούν να αναπτυχθούν καταλληλότερα σε ένα περιβάλλον GIS. Τα συστήματα διαχείρισης συμφόρησης που βασίζονται στο GIS μπορούν να ξεκινήσουν με τους χάρτες βάσης εθνικών οδών και τις βάσεις δεδομένων των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων σε αστικές περιοχές. Αυτοί οι περιφερειακοί χάρτες βάσης θα παράσχουν το πλαίσιο για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση της συμφόρησης από περιφερειακή σκοπιά. Μπορούν να αναπτυχθούν επιπλέον λεπτομερέστεροι χάρτες βάσης και βάσεις δεδομένων για τη διαχείριση της συμφόρησης σε πραγματικό χρόνο στους κρίσιμους διαδρόμους.

2.3.10 Διαχείριση Ασφάλειας

Η ανάλυση των δεδομένων ατυχημάτων σε συνδυασμό με χαρακτηριστικά όπως στοιχεία οδοστρώματος, όγκοι κυκλοφορίας, απογραφή γεφυρών και άλλα δεδομένα και γεωγραφική παρουσίαση αυτών των πληροφοριών σε περιβάλλοντα GIS θα είναι πολύ χρήσιμη για την ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης της ασφάλειας. Τα αρχεία αποθέματος, όπως τα σήματα κυκλοφορίας, οι στενές γέφυρες και οι σιδηροδρομικές διαβάσεις, θα μπορούσαν να αναλυθούν πιο αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας το GIS.

Συντήρηση γέφυρας

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση του GIS θα είναι η απόκτηση πληροφορίας γέφυρας μέσω της γενικής δυνατότητας αναζήτησης. Για παράδειγμα, οι μηχανικοί συντήρησης γέφυρας μπορούν να έχουν πρόσβαση σε σημαντικές πληροφορίες όπως η μέση ημερήσια κίνηση, καθώς και ταξινόμηση συστημάτων και λειτουργιών από τους χάρτες σχεδιασμού και έρευνας.

Νέες και Αναδυόμενες Εφαρμογές

Το GIS είναι ένα ιδανικό περιβάλλον για τη δρομολόγηση της ανάλυσης επικίνδυνων υλικών επειδή αυτό απαιτεί υπερβολικά πολλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα δικτύου εθνικών οδών καθώς και άλλες βάσεις δεδομένων (π.χ. δημογραφικά, τοπογραφικά, καιρικά κ.λπ.) σε επιμέρους οδικά τμήματα, προκειμένου να χαρακτηριστούν κατάλληλα τα ατυχήματα και οι συνέπειες του υπερπληθυσμού στο περιβάλλον. Άλλη σημαντική εφαρμογή του συστήματος που βασίζεται στο GIS είναι η διαχείριση της απροσδόκητης εκκένωσης έκτακτης ανάγκης, παρόλο που δεν σχεδιάστηκε αρχικά ως απομακρυσμένο σύστημα διαχείρισης. Το οδικό δίκτυο στην πλατφόρμα GIS θα παράσχει ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη συστήματος διαχείρισης καταστροφών οποιουδήποτε είδους.

Ο συντονισμός μεταξύ των διαφόρων συστημάτων διαχείρισης σε μια κατάσταση μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί και να αναπτυχθεί μέσω των εφαρμογών του συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών. Αυτά τα υποσυστήματα θα είναι αυτόματα πολύτιμοι πόροι για πολλά άλλα συστήματα κρατικού επιπέδου.

2.3.11 Συμπεράσματα

Το GIS παρέχει το ομοιόμορφο περιβάλλον στο οποίο μπορούν να ενσωματωθούν τα δεδομένα για πολλούς προγραμματιστικούς σκοπούς. Η τεχνολογία GIS παρέχει το βασικό πλαίσιο για ένα ολοκληρωμένο σύστημα πληροφοριών για τις οδικές αρτηρίες. Η αναπτυγμένη βάση δεδομένων μπορεί να συμπληρωθεί περαιτέρω με νέες πληροφορίες όταν και όταν είναι διαθέσιμη. Επομένως, η βάση δεδομένων συνεχίζει να εξελίσσεται, κάτι που δεν είναι δυνατό να καταρτιστεί ταυτόχρονα. Οι τοπολογικές πληροφορίες που είναι διαθέσιμες στη βάση δεδομένων GIS ανοίγουν τους νέους τρόπους για την ανάλυση των δεδομένων που σχετίζονται με τη μεταφορά για διαφορετικούς σκοπούς. Διάφορες λειτουργίες του GIS, χωρικά οι λειτουργίες χωρικής ανάλυσης και η ικανότητα αναζήτησης, είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία για την καθημερινή διαχείριση του οδικού δικτύου από τους ενδιαφερόμενους οργανισμούς.

Ο αντίκτυπος της τεχνολογίας GIS στην ανάπτυξη του συστήματος πληροφοριών για τις μεταφορές και της διαχείρισης των υποδομών οδικής υποδομής είναι βαθύτατη.

Εάν η τεχνολογία GIS αξιοποιηθεί στο μέγιστο βαθμό, θα αλλάξει πλήρως τη διαδικασία λήψης αποφάσεων στη μηχανική των μεταφορών. Το GIS αναγνωρίζεται παγκοσμίως ως το πιο αποτελεσματικό εργαλείο για την ενσωμάτωση όλων των τύπων δεδομένων που είναι απαραίτητα για τον τομέα των μεταφορών. Οι τεράστιες πληροφορίες σχετικά με την υποδομή μεταφορών στη χώρα θα μπορούσαν να συγκεντρωθούν για την αποτελεσματικότερη χρήση τους στον σχεδιασμό, το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη συντήρηση και τη διαχείριση του συστήματος μεταφορών. Υπάρχει επείγουσα ανάγκη να οργανωθεί η υπάρχουσα βάση δεδομένων συμβατή με το περιβάλλον GIS και να προταθούν διάφορα άλλα νέα στοιχεία δεδομένων, τα οποία θεωρούνται χρήσιμα για καλύτερο σχεδιασμό και διαχείριση.

2.4.GIS for Transportation: Principles, Data and Applications

Το συγκεκριμένο κείμενο είναι από άρθρο στην ιστοσελίδα του PENNSTATE College of Earth and mineral sciences και αποτελεί κομμάτι μαθημάτων για την κατασκευή των GIS-T για την Αμερικανική επικράτεια. Παρακάτω θα αναφερθούν τα πιο σημαντικά κομμάτια των μαθημάτων που μιλάνε γενικά για τις αρχές που διέπουν ένα GIS-T, και τι πρέπει να επισημαίνεται σε μια τέτοια εργασία, όταν αναφέρεται ειδικότερα σε πόλεις, όπως η παρούσα διπλωματική εργασία.

2.4.1.Εισαγωγή στο GIS-T

Μεταξύ των πολλών τομέων στους οποίους εφαρμόστηκε το GIS, η μεταφορά ήταν ιδιαίτερα εύφορη και η ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών GIS υπήρξε ένας χώρος που έχει δει πολλή δραστηριότητα. Αυτό το σημαντικό διεπιστημονικό πεδίο αναφέρεται γενικά ως GIS-T. Η σημασία αυτού του πεδίου αποδεικνύεται από το γεγονός ότι υπάρχουν δύο διασκέψεις αφιερωμένες σε αυτό, μία ετήσια και μία διετή. Κάθε χρόνο, η Αμερικανική Ένωση Κρατικών Υπαλλήλων Οδικής Κυκλοφορίας και Μεταφορών (AASHTO) χορηγεί το ετήσιο GIS για το Μεταφορικό Συμπόσιο. Το συμπόσιο αντλεί πάνω από 400 καταχωρίσεις από την ομοσπονδιακή, κρατική και τοπική κυβέρνηση και τον ιδιωτικό τομέα. Ο Σύνδεσμος Αστικών και Περιφερειακών Συστημάτων Πληροφοριών (URISA) χρηματοδοτεί ένα συνέδριο που ονομάζεται GIS στη Transit, το οποίο διοργανώνεται κάθε δύο χρόνια. Το 10ο συνέδριο TransitGIS πραγματοποιήθηκε πέρυσι.

Ένας βασικός λόγος που το GIS-T είναι τόσο σημαντικό είναι ότι η μεταφορά είναι μια τεράστια βιομηχανία από την οποία εξαρτώνται πολλές άλλες βιομηχανίες. Το 2015, η ομοσπονδιακή κυβέρνηση δαπάνησε 85 δισεκατομμύρια δολάρια για πρωτοβουλίες σχετικές με τη μεταφορά. Αυτό αντιπροσωπεύει το 2,22% του συνολικού μας ομοσπονδιακού προϋπολογισμού για το 2015. Ο δικτυακός τόπος του Εθνικού Προγράμματος Προτεραιότητας (NPP) παρουσιάζει μερικά ενδιαφέροντα διαγράμματα που θέτουν τις προοπτικές των ομοσπονδιακών μεταφορών.

Τεχνικές και εργαλεία GIS-T

Το GIS-T χρησιμοποιεί πολλά βασικά εργαλεία και μεθόδους γεωπολιτικών εφαρμογών, αλλά χρησιμοποιεί επίσης ορισμένες τεχνικές που εξηγούνται από τις εξειδικευμένες ανάγκες της βιομηχανίας μεταφορών. Αυτά περιλαμβάνουν

Συγκέντρωση

Η σύγκλιση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για να συγκεντρώσει γειτονικά ή επικαλυπτόμενα σύνολα δεδομένων που συλλέχθηκαν σε διαφορετικούς χρόνους και έχουν διαφορετικά επίπεδα ακρίβειας και ακρίβειας. Ενώ η διαδικασία συγχώνευσης στο GIS εφαρμόζεται συχνά στα δίκτυα μεταφοράς, η συγχώνευση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να συνδυάσει άλλους τύπους χαρακτηριστικών

Ανάλυση Δικτύου

Ένα δίκτυο οδοστρώματος αποτελείται από δρόμους και διασταυρώσεις. Στην ορολογία δικτύου, οι διασταυρώσεις αναφέρονται ως κόμβοι και οι δρόμοι που συνδέουν τους κόμβους ονομάζονται άκρα. Το GIS-T χρησιμοποιεί συνήθως τεχνικές ανάλυσης δικτύου σε δίκτυα οδοστρώματος για την επίλυση κοινών προβλημάτων μεταφοράς, όπως η εύρεση της καλύτερης διαδρομής μεταξύ δύο σημείων ή ο προσδιορισμός της περιοχής εξυπηρέτησης γύρω από μια συγκεκριμένη τοποθεσία (δηλαδή η περιοχή εντός της οποίας κάποιος θα μπορούσε να φθάσει στη θέση ενδιαφέροντος σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο).

Συστήματα γραμμικής αναφοράς [22]

Τα συστήματα γραμμικής αναφοράς (LRS-LinearReferenceSystems) χρησιμοποιούνται για τη χωρική αναφορά της θέσης των σταθερών στοιχείων -"assets"- (π.χ. γέφυρες), περιστατικά (π.χ. συντριβές) και χαρακτηριστικά οδοστρώματος και διοικητικά δεδομένα (π.χ. δίκτυο οδοστρώματος. Συλλογικά, αυτά τα χαρακτηριστικά ενός δρόμου αναφέρονται ως γεγονότα. Σε αυτό το μάθημα θα εξετάσουμε μόνο την εφαρμογή ενός LRS σε δίκτυα οδοστρώματος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιοδήποτε γραμμικό δίκτυο συμπεριλαμβανομένων αγωγών και υδρολογικών δικτύων.

Δυναμική τμηματοποίηση [21]

Η δυναμική τμηματοποίηση συνδέεται στενά με το LRS. Στη δυναμική κατάτμηση λαμβάνουμε τα γεγονότα του δρόμου τα οποία αναφέρονται γραμμικά κατά μήκος των οδοστρωμάτων και μετατρέποντάς τα σε χωρικά χαρακτηριστικά. Από κοινού, η LRS και ο δυναμικός κατακερματισμός μας επιτρέπουν να διαχειριζόμαστε και να αξιοποιούμε αποτελεσματικά τις άπειρες πληροφορίες χαρακτηριστικών που σχετίζονται με δίκτυα οδοστρώματος.

2.5. Urban planning and GIS

Αν και ο πληθυσμός του πλανήτη αναπτύσσεται εκθετικά, η διαθέσιμη γη για να φιλοξενήσει τα ίδια άτομα παραμένει περιορισμένη. Στην πραγματικότητα, συρρικνώνεται σε μέγεθος σε κάθε μέρα που περνάει. Η αστικοποίηση είναι η νέα απειλή με την οποία αγωνίζεται το περιβάλλον. Οι άνθρωποι ασχολούνται ενεργά με την μείωση των εδαφών της άγριας ζωής, αλλά εξακολουθεί να υπάρχει το πρόβλημα των κατάλληλων συνθηκών διαβίωσης για όλους.

Η ανάγκη της ώρας δεν είναι μόνο η αστικοποίηση αλλά η έξυπνη αστικοποίηση. να προγραμματίσουν έξυπνα την αστική ανάπτυξη, ώστε να φιλοξενήσουν περισσότερο πληθυσμό.

Το GIS έχει γίνει πανταχού παρόν. Έχει περάσει σχεδόν σε κάθε σφαίρα της ανθρώπινης ζωής σήμερα. Σε ένα τέτοιο σενάριο, πώς μπορεί η πτυχή της ζωής να μην αγγιχτεί από τη μαγεία του GIS; Χρησιμοποιώντας το GIS στον πολεοδομικό σχεδιασμό, οι πολεοδόμοι μπορούν να αναλάβουν την αστικοποίηση σε νέες κλίμακες.

Ο πολεοδομικός σχεδιασμός περιλαμβάνει πολλές λειτουργίες, κλίμακες, τομείς και στάδια. Οι λειτουργίες του πολεοδομικού σχεδιασμού μπορούν γενικά να ταξινομηθούν στη γενική διοίκηση, στον αναπτυξιακό έλεγχο, στη χάραξη του σχεδίου και στον στρατηγικό σχεδιασμό. Ενώ ο Γενικός έλεγχος διαχείρισης και ανάπτυξης είναι σχετικά συνήθεις δραστηριότητες σχεδιασμού, η εκπόνηση σχεδίων και ο μη συστηματικός στρατηγικός προγραμματισμός πραγματοποιούνται πολύ λιγότερο συχνά.

Το GIS δίνει σε σχεδιαστές, επιθεωρητές και μηχανικούς με τα εργαλεία που χρειάζονται για να σχεδιάσουν και να χαρτογραφήσουν τις γειτονιές και τις πόλεις τους. Η απεικόνιση, η χωρική ανάλυση και η χωρική μοντελοποίηση είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες λειτουργίες GIS στο σχεδιασμό του σχεδίου πόλεως. Το GIS μπορεί να βοηθήσει στην αποθήκευση, τον χειρισμό και την ανάλυση φυσικών, κοινωνικών και οικονομικών δεδομένων μιας πόλης. Οι υπεύθυνοι σχεδιασμού μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουν τις χωρικές επερωτήσεις και τις λειτουργίες χαρτογράφησης του GIS για να αναλύσουν την υπάρχουσα κατάσταση στην πόλη. Μέσω της ανάλυσης επικάλυψης χάρτη, το GIS μπορεί να συμβάλει στον εντοπισμό των περιοχών σύγκρουσης της ανάπτυξης γης με το περιβάλλον, επικαλύπτοντας την υπάρχουσα ανάπτυξη της γης σε χάρτες καταλληλότητας γης.

Χρησιμοποιώντας το πολυεπίπεδο χαρακτηριστικό χαρτογράφησης του GIS, μια επιτροπή πολεοδομικού σχεδιασμού μπορεί να απεικονίσει μια ποικιλία πραγμάτων, για παράδειγμα, πρώιμη γεωργική γη, επιφανειακά ύδατα, υψηλή συχνότητα πλημμύρας και εξαιρετικά διαβρώσιμη γη. Οι πληροφορίες αυτές οδηγούν σε τεκμηριωμένες αποφάσεις, όπως η αποφυγή ανάπτυξης περιοχών με υψηλή συχνότητα πλημμύρας, καθώς οι περιοχές αυτές δεν είναι πιθανό να προσελκύσουν κατοίκους.

Το GIS μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην παρακολούθηση μιας περιοχής ή στη διεξαγωγή μελέτης σκοπιμότητας μιας τοποθεσίας για συγκεκριμένο σκοπό, για παράδειγμα την εξακρίβωση της καταλληλότητας ενός τόπου για την κατασκευή μιας γέφυρας ή ενός φράγματος.

Οι μελέτες σκοπιμότητας μικρότερων δομών όπως τα σχολεία και τα νοσοκομεία μπορούν επίσης να πραγματοποιηθούν αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας το GIS. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να διαπιστωθεί η σκοπιμότητα μιας περιοχής για τη διάθεση και την επεξεργασία των αποβλήτων.

Το GIS βοηθά επίσης στον εντοπισμό αλλαγών στα γεωγραφικά χαρακτηριστικά ή τη συμπεριφορά μιας γης σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Οι πληροφορίες αυτές επιτρέπουν στους επαγγελματίες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την αναπτυξιακή κατάσταση μιας περιοχής και να σχεδιάζουν ανάλογα.

Οι υπεύθυνοι σχεδιασμού χρησιμοποιούν το GIS για να εξομαλύνουν την πρόοδο της συμμετοχής των πολιτών και των κοινοτικών εισροών καθώς αναπτύσσουν ένα όραμα για την κοινότητα που βελτιώνει την ποιότητα ζωής για όλους τους πολίτες. Οι πολίτες είναι η ζωή και το αίμα οποιασδήποτε πόλης και οι εισροές από πρώτο χέρι από αυτούς ως προς το τι μπορεί να γίνει για να καταστήσουν την πόλη πιο έξυπνη μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία εκπληκτικά παραγωγικών μεθόδων / μέσων για τον πολεοδομικό σχεδιασμό. Η πλατφόρμα PPGIS (δημόσιο συμμετοχικό GIS) επιτρέπει αυτή την αποτελεσματική διαδικασία εμπλοκής.

Το GIS χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο στον πολεοδομικό σχεδιασμό στις ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Τα εργαλεία GIS βοηθούν τους υπεύθυνους σχεδιασμού να αναλύουν τα προβλήματα πιο γρήγορα και λεπτομερέστερα, να διαμορφώνουν λύσεις και να παρακολουθούν την πρόοδο προς τους μακροπρόθεσμους στόχους για την κοινότητα. Πολλά τμήματα σχεδιασμού που είχαν αποκτήσει συστήματα χαρτογράφησης στο παρελθόν έχουν μετατοπιστεί στο GIS. Με την αύξηση της φιλικότητας προς τον χρήστη και του αριθμού των λειτουργιών του λογισμικού GIS και τη σημαντική μείωση των τιμών του λογισμικού των GIS, το GIS είναι πλέον ένα επιχειρησιακό και προσιτό σύστημα πληροφόρησης για τον προγραμματισμό. Γίνεται όλο και περισσότερο ένα σημαντικό στοιχείο στο σύστημα υποστήριξης του σχεδιασμού

2.6. Transport Accessibility Analysis Using GIS: Assessing Sustainable Transport in London

Η παρακάτω επιστημονική εργασία («paper») είναι δημοσιευμένη στο “International Journal of Geo-information” από τους A.C.Ford, S.L. Barr, Richard Johnson και τον Philip James που αποτελούν μέλη του Centre of earth systems Engineering, School of Civil Engineering and Geosciences, στο πανεπιστήμιο του Newcastle.[23] Αναφέρεται στη χρησιμότητα των T-GIS στη σωστή ανάπτυξη των πόλεων και περιλαμβάνει ένα εργαλείο που είναι εύκολα χρησιμοποιούμενο και επιτρέπει την ταχεία πρόσβαση των

διαθέσιμων δεδομένων και παίρνοντας ως εισαγωγή το γενικευμένο κόστος μαζί με την απόσταση μετρά το τελικό κόστος των μετακινήσεων για τους διάφορους προορισμούς. Στην εργασία αυτή η χρήση του εργαλείου έγινε στο Λονδίνο και έδειξε τις διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται στο accessibilityanalysis για τους διάφορους προορισμούς που εξετάζονται είτε μεμονωμένα είτε καθολικά.

Η προσβασιμότητα [23] είναι ένας σημαντικός όρος στη σωστή αστική ανάπτυξη και κλειδί στην διαρκή εξέλιξη των πόλεων. Αυτό το paper παρουσιάζει ένα απλό GIS εργαλείο αναπτυγμένο για να επιτρέπει την γρήγορη ανάλυση της προσβασιμότητας με τα διαφορετικά μέσα μεταφοράς. Σχεδιασμένο για να είναι αρκετά ευλύγιστο και να χρησιμοποιεί πολλά από τα διαθέσιμα δεδομένα αυτό το εργαλείο χρησιμοποιεί ένα γενικευμένο κόστος για να μετρήσει το μεταφορικό κόστος κατά μήκος όλου του δικτύου χρησιμοποιώντας την απόσταση και το χρηματικό κόστος. Η χρησιμοποίηση του εργαλείου έγινε στο Λονδίνο δείχνοντας τις διαφορετικά σχέδια που χρησιμοποιούνται στο accessibilityanalysis για τους διάφορους προορισμούς. Δείχνει πως αυτά τα σχέδια χρησιμοποιούνται είτε μόνα τους είτε συνδυαστικά μεταξύ τους. Φαίνεται ότι τα I.X. είναι το λιγότερο ακριβό μέσο ακόμα για την πόλη του Λονδίνου.

2.6.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσβασιμότητα [23] σε εργασία, υπηρεσίες και άλλους προορισμούς ενδιαφέροντος έχει αναγνωριστεί ως το κλειδί της ανάπτυξης της μακροχρόνιας και ανθεκτικής μετακίνησης, χρήσεις γης και τη δειγματική σχεδίαση. Τα συστήματα μεταφορών αποτελούν τα κλειδιά στην αντοχή στο χρόνο, ανθεκτικότητα και διατήρηση των αστικών πόλεων καθώς επηρεάζουν τον τρόπο που οι άνθρωποι και τα αγαθά μετακινούνται και επιβιώνουν στις πόλεις. Διάφορα μοντέλα της μεταφορικής προσβασιμότητας και τις σχέσεις μεταξύ τους είχαν αναπτυχθεί κατά τα χρόνια στις πόλεις και στην ικανότητα των πόλεων να προσελκύουν νέες επενδύσεις και ανάπτυξη. Αναπτύχθηκαν λοιπόν βασισμένα σε αυτά τα μοντέλα τεχνικές, όπου ο διαχωρισμός πληθυσμού και απασχόλησης είναι το βασικό στην κάλυψη των χρήσεων γης. Κάποια λοιπόν από τα μοντέλα αυτά της προσβασιμότητας στέκονται απο μόνα τους και κάποια άλλα είναι αναπτυγμένα και παρουσιασμένα σε περιβάλλον GIS.

Οι πλατφόρμες GIS έχουν υποστηρίξει το σχεδιασμό μεταφορών με την ανάλυση δεδομένων και ειδικών σχεδίων, όπως η μικρότερη απόσταση μεταξύ σημείων σε ένα δίκτυο και οι αλγόριθμοι A* και Dijkstra. Εργαλεία που περιέχονται σε διαφημιστικά GIS λογισμικά παρέχουν ταχείς και διαδραστικούς υπολογισμούς σε απλά δίκτυα αλλά είναι ανεπαρκή για βαθειά κατανόηση της προσβασιμότητας. Διάφορες εφαρμογές έχουν γίνει ανά τα χρόνια για να μετρούν προσβασιμότητα είτε με τα πόδια είτε με τη χρήση κάποιου μέσου ή ποδηλάτου σε πολλαπλούς προορισμούς. Αφού το GIS επιτρέπει το συνδυασμό διαφόρων ερευνών και εργαλείων και την οπτικοποίησή τους πάνω σε χάρτη εξάγει αρκετές φορές ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Χτίζοντας λοιπόν σε αυτά τα πλεονεκτήματα δημιουργούνται οι βάσεις για την γνωριμία με ένα

μοντέλο σχεδιασμένο για να υποστηρίξει οποιαδήποτε αστική ανάπτυξη και συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία την δημιουργία ενός μοντέλου που να επιτρέπει την γρήγορη ανάπτυξη των αστικών μεταφορών χρησιμοποιώντας γενικευμένα κόστη για την παρούσα ανάλυση. Επίσης διαφορετικές εφαρμογές επιτρέπουν την κάλυψη και βελτίωση των συγκοινωνιών αναλογικά με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

2.6.2.ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑ

Από τους διάφορους ορισμούς της προσβασιμότητας αυτός ο ποίος θεωρείται πιο ταιριαστός στο εν λόγω paper και που είναι απλούστερος από τους υπόλοιπους είναι ότι : είναι η ευκολία (ή δυσκολία) που οι ευκαιρίες (δουλειές) ή οι υπηρεσίες είναι προσβάσιμες από κάποια τοποθεσία(...WACHSandKUMARI) . Η προσβασιμότητα αναφέρεται στην "προσπάθεια" που απαιτείται για να πετύχεις το διαχωρισμό των δύο τοποθεσιών και ανακλά τη χρησιμότητα του να ταξιδεύεις μεταξύ των προορισμών.

A: προσβασιμότητα i: τοποθεσίας βρίσκεται με τον τύπο:

$$A_i = \sum_j O_j f(C_{ij})$$

όπου O_j οι ευκαιρίες που κερδίζονται με το ταξίδι στην τοποθεσία j

C_{ij} η απόσταση ή το κόστος ταξιδιού από την i στην j

$f(C_{ij})$ συνάρτηση που σιγουρεύει ότι θα αυξηθεί η προσβασιμότητα όσο μειώνεται το κόστος

Η πιο απλή συνάρτηση του κόστους μεταξύ προέλευσης προορισμού είναι η Ευκλείδεια Απόσταση όμως η πληθώρα δεδομένων των μεταφορικών δικτύων έχει οδηγήσει στον παρακάτω τύπο που μας δίνει το κόστος μεταξύ προέλευσης προορισμού:

$$G = g(C_1 + C_2 + \dots + C_n)$$

όπου το γενικευμένο κόστος του ταξιδιού από C_1 σε C_n που εκφράζεται είτε με λεφτά είτε με χρόνο.

Δηλαδή μπορεί να είναι το κόστος κάποιου εισιτηρίου είτε ο χρόνος που πιθανών απαιτείται για να περπατήσει ή να οδηγήσει κανείς από τη μία μεριά στην άλλη του Λονδίνου. Το γενικευμένο κόστος ορίζεται ως το σύνολο του χρόνου και των χρημάτων για ένα ταξίδι (...UKDepartmentforTransport'sTransportAnalysisGuidance).

$$C = aD + bT$$

όπου D απόσταση μεταξύ προέλευση προορισμού (km), T χρόνος μεταξύ των δύο κόμβων, b η αξία του χρόνου που διήρκεσε και a το κόστος αναλόγως με το τι μέσο χρησιμοποιήθηκε στην εκάστοτε περίπτωση.

Τα κόστη περιγράφονται διαφορετικά αναλόγως με το αν είναι ΙΧ, Δημόσια ή ποδηλατική συγκοινωνία εκφραζόμενες σε μονάδες χρόνου έχουμε αντίστοιχα:

$$C_{pvt} = (V_{wk} * A) + T + D * (VOC / (occ * VOT)) + (PC / (occ * VOT))$$

$$C_{PUB} = (V_{WK} * A) + (V_{WT} * W) + T + F/VOT + I$$

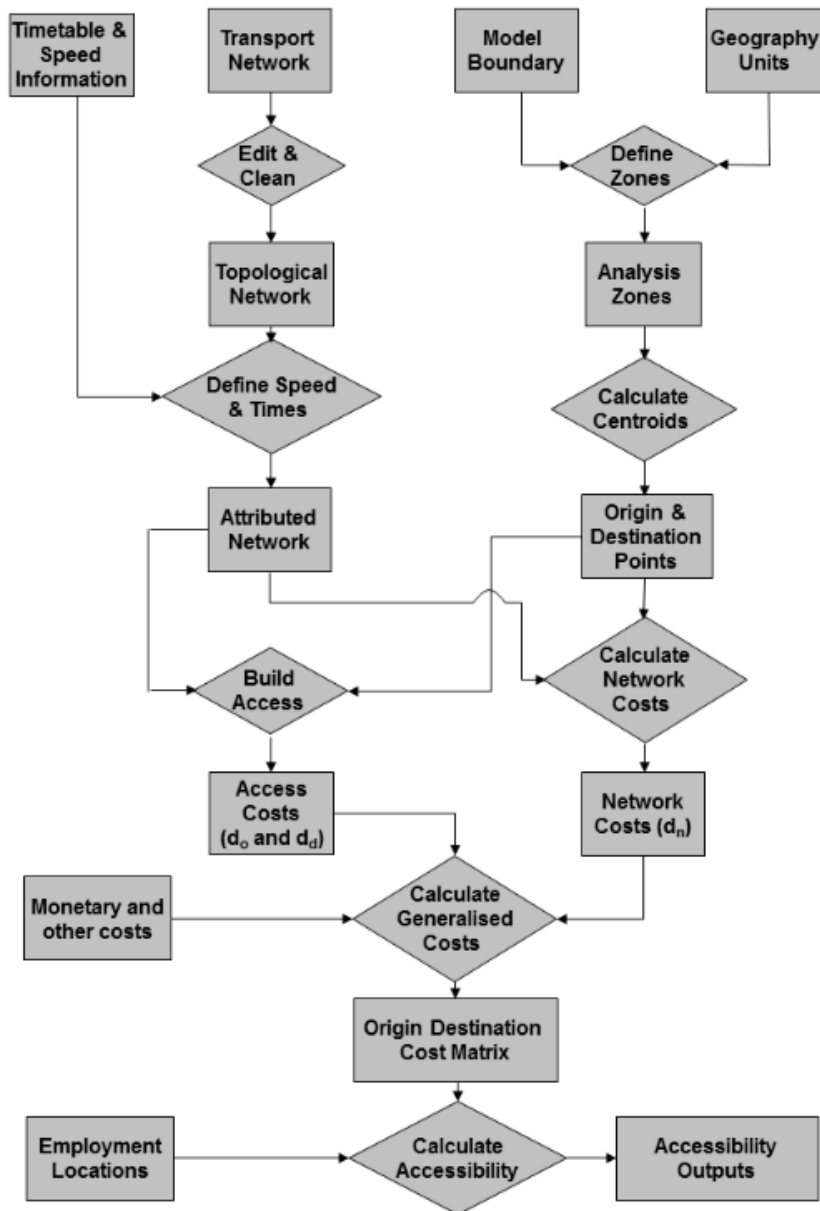
$$C_{CYC} = T + T (V_{Topo} + V_{SAFE})$$

Όπου A είναι ο χρόνος πρόσβασης στο δίκτυο το V_{WK} είναι το βάρος του περπατήματος, το W η συνολική ώρα της αναμονής του ταξιδιού, I το αντίτιμο της μετάβασης, F το εισιτήριο του ταξιδιού, VOT η αξία του χρόνου που περνάει V_{Topo} το βάρος του να κάνει κανείς πεντάλ με το ποδήλατο και η τελευταία μεταβλητή αφορά το βάρος της μειωμένης ασφάλειας για όταν βρίσκεται κανείς πάνω στο ποδήλατο στους πολυσύχναστους δρόμους του Λονδίνου

Η αξία του χρόνου ποικίλει για τις διάφορες κοινωνικό οικονομικές ομάδες και άλλους παράγοντες όπως είναι το πόσο επείγουσες είναι οι καταστάσεις στις οποίες χρησιμοποιούνται τα μέσα αυτά, βασιζόμενοι στο αν είναι εργάσιμες ή μη εργάσιμες οι ώρες στις οποίες χρησιμοποιούνται.

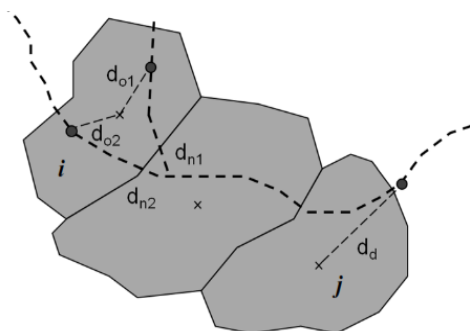
2.6.3. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ GIS

Για την ανάπτυξη ενός εργαλείου που θα είναι γενικό και μεταφερόμενο, ικανό να είναι αποδεκτό σαν εισαγωγή ενός στάνταρ Gis εργαλείου σε οποιαδήποτε κλίμακα και να εκτελεί την οποιαδήποτε απλή και σύνθετη εφαρμογή που αφορά τις μεταφορές, δημιουργήθηκε ένα πρόσθετο σε vba για το ArcGIS. Η χρησιμότητα αυτού του πρόσθετου δοκιμάστηκε στη GLA του Ηνωμένου Βασιλείου και στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το διάγραμμα ροής του:



Εικόνα 1: Υπολογιστικό πλαίσιο για πίνακες γενικευμένου κόστους και, επομένως, προσβασιμότητα μέτρα. Οι θέσεις απασχόλησης θα μπορούσαν να αντικατασταθούν από άλλες πληροφορίες για τον υπολογισμό πρόσβασης σε άλλες εγκαταστάσεις.[23]

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά ο αλγόριθμος και το GIS που χρησιμοποιήθηκε (ESRI'sArcGIS)



Εικόνα 2: Σχηματική αποτύπωση του ταξιδιού προέλευσης-προορισμού[23]



Εικόνα 3 : Βασικό δίκτυο δρόμων και στάσεων στην Ευρύτερη Περιοχή του Λονδίνου (GLA) [23]

Παραπάνω φαίνεται η γεωγραφική κάλυψη των βασικών οδικών δικτύων του GLA ενώ στην επόμενη εικόνα το ποδηλατικό δίκτυο της Ευρύτερης περιοχής του Λονδίνου αναλόγως με το βάρος της κάθε οδού, καθώς και την ασφάλεια του κάθε δρόμου για τον ποδηλάτη:



Εικόνα 4: Ποδηλατικό δίκτυο GLA (openstreetmaps) [23]

Κάποιοι προορισμοί στον εν λόγω χάρτη περιλαμβάνουν παραπάνω από 1 σημείο ενδιαφέροντος (πχ δυο σιδηροδρομικοί σταθμοί κ.λ.π.) πράγμα που δημιουργεί σύγχυση στις αποστάσεις. Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκε ο παρακάτω τύπος που υπολογίζει την απόσταση.

$$D_{ij} = \sum_{k=1}^{s_{ij}} \frac{d_o^k + d_n^k + d_d^k}{s_{ij}}$$

Ακόμα, τα οχήματα που περνούν από τους δρόμους του Λονδίνου είναι επίσης πολλά και ποικίλουν πράγμα που επιφέρει και αλλαγές στα εκάστοτε γενικευμένα κόστη που υπολογίζονται από τον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε παραπάνω.

| T2025 Scenario | Road | Bus | Rail | Light Rail |
|----------------|---|--|--|---|
| Baseline | | | Crossrail High Speed 1 Heathrow Express to Terminal 5 | Heathrow Terminal 5 extension |
| Low | Thames Gateway Bridge | 20% increase in bus supply (and thus frequency) | Reduce journey time by 4.5% | DLR extensions, Greenwich and East London transit systems |
| High | Silvertown Link Bridge National Road User-charging scheme | 40% increase in bus supply. | Crossrail 2, East London line extension (Overground). | Tramlink extensions, DLR extension to Dagenham Dock |

Σχήμα 1: Βελτιώσεις υποδομών για βασικές, χαμηλές, υψηλές (baseline, low , high) επενδύσεις σενάρια [23]

Κάποιοι από τους δρόμους που συμπεριλαμβάνονται στο χάρτη του GIS είναι δύο κατευθύνσεων για ποδήλατα και για οχήματα, ενώ κάποιοι από αυτούς περιλαμβάνουν στο attribute και την οδηγίες οδήγησης από τις οποίες συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για μονόδρομους. Όμως για μεγάλη ανάλυση όπως αυτή που γίνεται στη συγκεκριμένη εργασία για τον υπολογισμό του γενικευμένου κόστους δεν είναι σημαντική πληροφορία σαν και αυτή άρα βγαίνουν σωστά αποτελέσματα για την προσβασιμότητα.

Η επεξήγηση των παραμέτρων στις οποίες αναφερθήκαμε στις παραπάνω εξισώσεις γίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

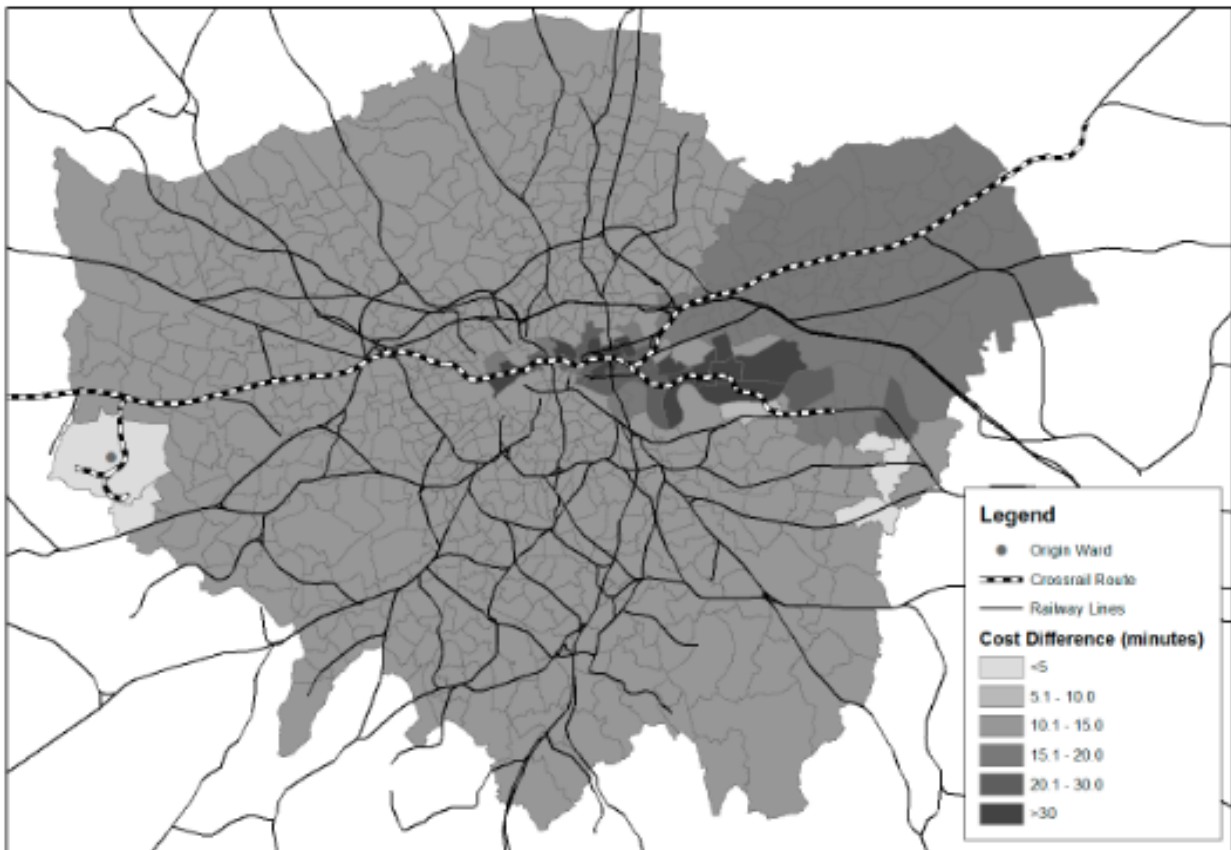
| Parameter | Description | Value Used In Analysis |
|-----------|---|---|
| A | Time take to access a given transport network mode from a place of residence. This uses d_o and d_d which are the distance from the transport mode to the zone centroid (Figure 2). | Private transport modes: 3 min - the maximum access distance in Greater London is 800 m (in the Hillingdon ward in western Outer London), with the mean distance being 130 m. Public transport modes: Distance from zone centroid to station, with a walking speed of 6 km/h |
| V_{nk} | Weight applied to the walking component of a journey to reflect the increased perceived cost of walking compared to other transport modes (applied to d_o and d_d). | 1.6 from WEBTAG [41] |
| T | The in-vehicle travel time is computed by multiplying the network distance by an average speed. This is the time taken to travel distance d_n . | Computed from network analysis described in Section 2. <i>Car</i> : defined by 2006 London Travel Report Table 3.2.1, which gives the average journey speed for three traffic zones; central, inner and outer London [52]. <i>Heavy rail</i> : 40 km/h <i>Light rail</i> : 30 km/h <i>Bus</i> : times supplied in network data |
| W | Waiting time is calculated as half the average morning peak service frequency for public transport modes. | <i>Rail</i> : 7.5 min <i>Light rail</i> : 3 min <i>Bus</i> : 3 min |
| V_{wt} | Weight applied to any waiting time, reflecting the perceived cost of waiting compared to travelling, and a dislike of waiting for infrequent services. | 2.6 from WEBTAG [41] |
| D | Distance travelled (km) traversing the least cost path from origin to destination, and is equivalent to d_n (Figure 2). | Computed from network analysis. |
| VOC | Vehicle Operating Cost is the sum of both fuel, VOC_f , and non-fuel, VOC_{nf} , costs (which capture maintenance and depreciation costs). | Fuel costs, $VOC_f = \mathbf{F}_m \mathbf{F}_p$ (6) where \mathbf{F}_m is a vector of the vehicle mix and their fuel efficiency and \mathbf{F}_p is a vector of fuel prices. Non-fuel operating costs can be computed by the following: $VOC_{nf} = a1 + \frac{b1}{V}$ (7) where V = average velocity in km/h; $a1 = 4.069$; $b1 = 111.391$. |

| Parameter | Description | Value Used In Analysis |
|-------------------------|--|--|
| <i>VOT</i> | Value of Time. | 1 hour = £5.04 from WEBTAG [41] |
| <i>occ</i> | Average number of occupants in a private vehicle. | 1.16 people per vehicle [41] |
| <i>PC</i> | Other private transport costs. Information on parking costs and policies was incomplete for London so have not been included in this analysis. However, the London Congestion Charge, levied on vehicles entering the center of the city, has been included. | Congestion Charge of £8 (2008 charge) levied on each journey into the charging zone. 90% discount for residents of the zone travelling out for work [53]. |
| <i>F</i> | The fare paid for a given origin-destination route varies according to the time of day and whether the individual has a season ticket, travel card, or uses an "Oyster Card". An average rail and light rail cost is reported in the London Travel Report (TfL, 2006). Flat bus fares £2, or £1 with an "Oyster Card". However, 85% of journeys (TfL, 2007) use an Oyster Card so this was used for all journeys in this analysis. | <i>Heavy and light rail:</i> £0.18/km <i>Bus:</i> £1 flat fare |
| <i>V_{Topo}</i> | It is assumed that cycling journeys incur a lower cost on flatter terrain than on more undulating terrain. In this paper, a modified version of Naismith's Rule is used, where each unit of vertical change adds 1/8 th of a unit of horizontal distance to the journey. | $1/8 * (Z_{max} - Z_{min})$ for a given road link, where Z_{max} and Z_{min} are the maximum and minimum elevations at either end of the link. |
| <i>V_{Safe}</i> | One of the largest disincentives to cycling in urban areas is the issue of safety on the road network (especially in London, where cycling infrastructure is patchy and a number of cyclists are killed every year). A weight is therefore applied based on the class of road being traversed. These are assumed weights but can be simply altered to reflect further research on perceptions of risk. | <i>A-Roads, B-Roads:</i> 1.5 times base travel time <i>Minor roads:</i> 1.2 <i>Residential streets and pedestrian paths:</i> 1.1 <i>Cycle lanes:</i> 1 Adapted from the methodology employed in the CycleStreet route planner [54] |

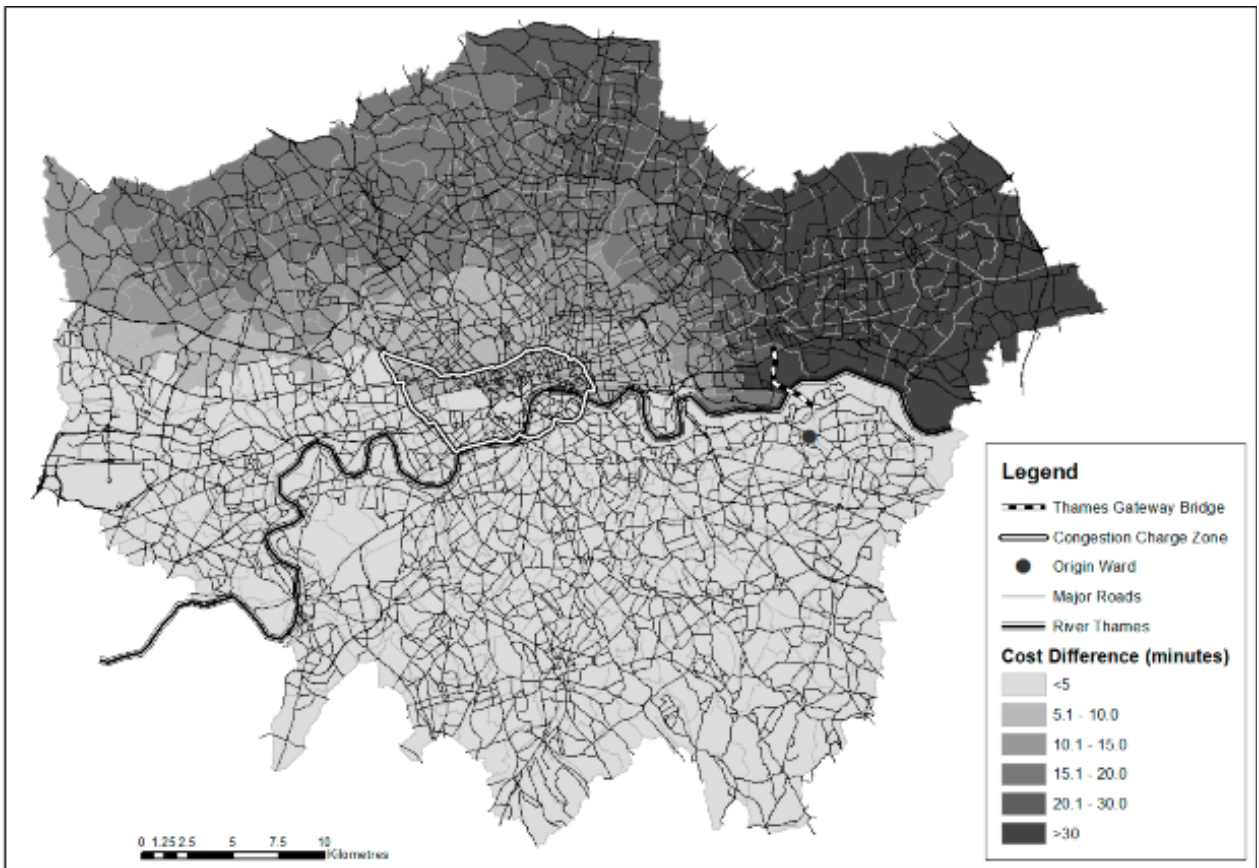
Σχήμα 2: Επεξήγηση παραμέτρων συνάρτησης [23]

2.6.4. Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Οι παραπάνω υπολογισμοί χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό κάποιων μοντέλων προέλευσης προορισμού στο Λονδίνο με σκοπό την εφαρμογή κάποιων σεναρίων βελτιώσεων υποδομών. Μέρος αυτής της στρατηγικής είναι η βελτίωση της χρήσης των χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέσα για τη βελτίωση του περιβάλλοντος. Αυτά τα σενάρια δημιουργήθηκαν και απεικονίστηκαν σε μορφή χωρικών δικτύων με τη μεθοδολογία που περιληπτικά αποδόθηκε παραπάνω. Τα δίκτυα μεταφορών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάστηκαν μειωμένα στο όριο μόνο της GLA και τα πιθανά δρομολόγια εκτός της περιοχής αυτής. Κάποια από τα αστικοποιημένα συμπεράσματα της μελέτης αυτής βρίσκονται παρακάτω:



Εικόνα 5: Μία σύγκριση μεταξύ των προ και μετά σιδηροδρόμων γενικευμένων κοστών από τα HeathrowVillages σε άλλους κόμβους του GLA [23]

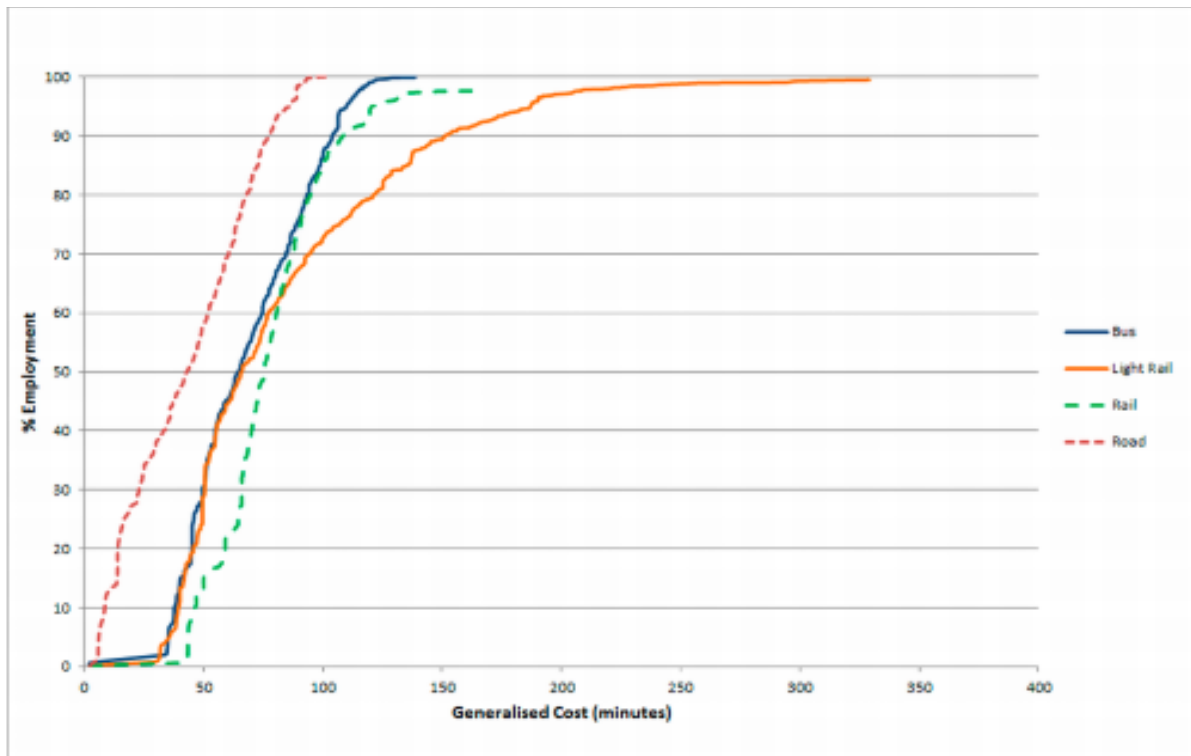


Εικόνα 6: Αλλαγές στα γενικευμένα κόστη λόγω κατασκευής της ThamesGatewayBridge [23]

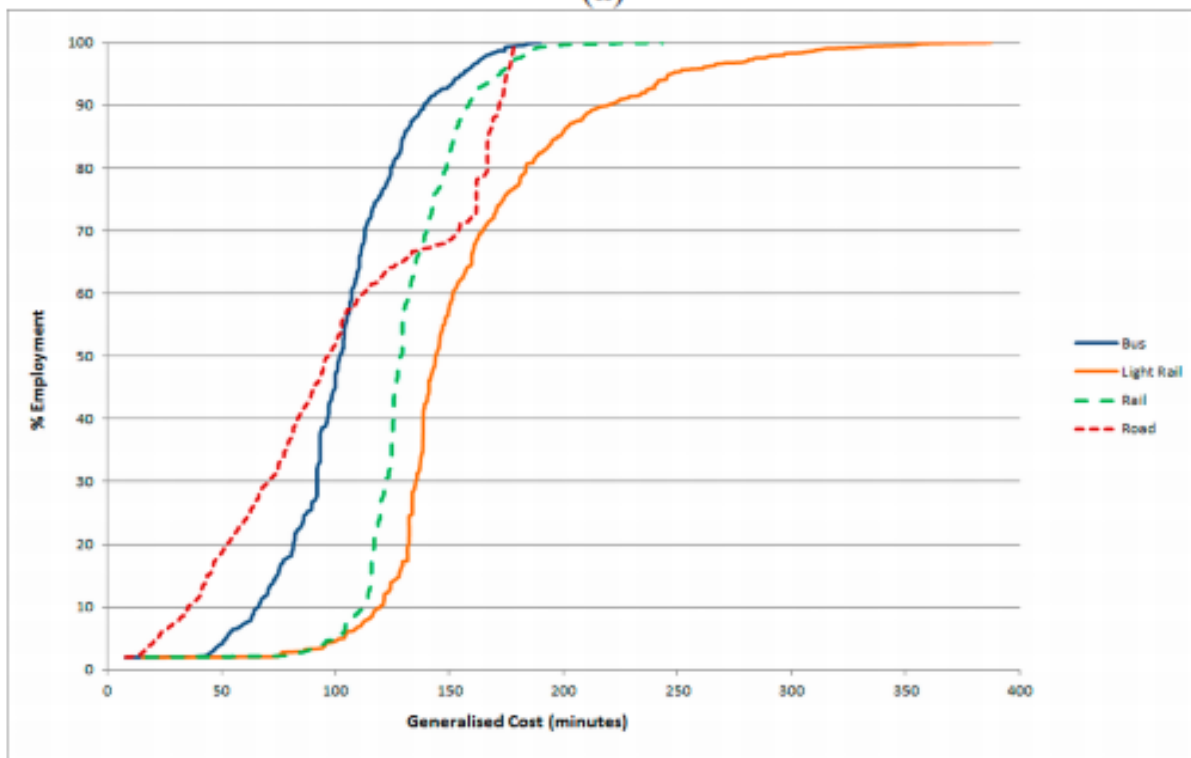


Εικόνα 7: Τοπικές βελτιώσεις από τη διευκόλυνση προσβασιμότητας λόγω κατασκευής του CSH(E-W) [23]

Επίσης όσον αφορά στην προσβασιμότητα στην απασχόληση με χρήση των γενικευμένων κοστών που υπολογίσθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια του paper έχουμε κάποια συμπεράσματα αναλογικά με το πως θα έχουμε πιο αξιόπιστες και φθηνές μεταφορές μεταξύ δουλειάς και σπιτιού με λιγότερες εκπομπές διοξειδίου.

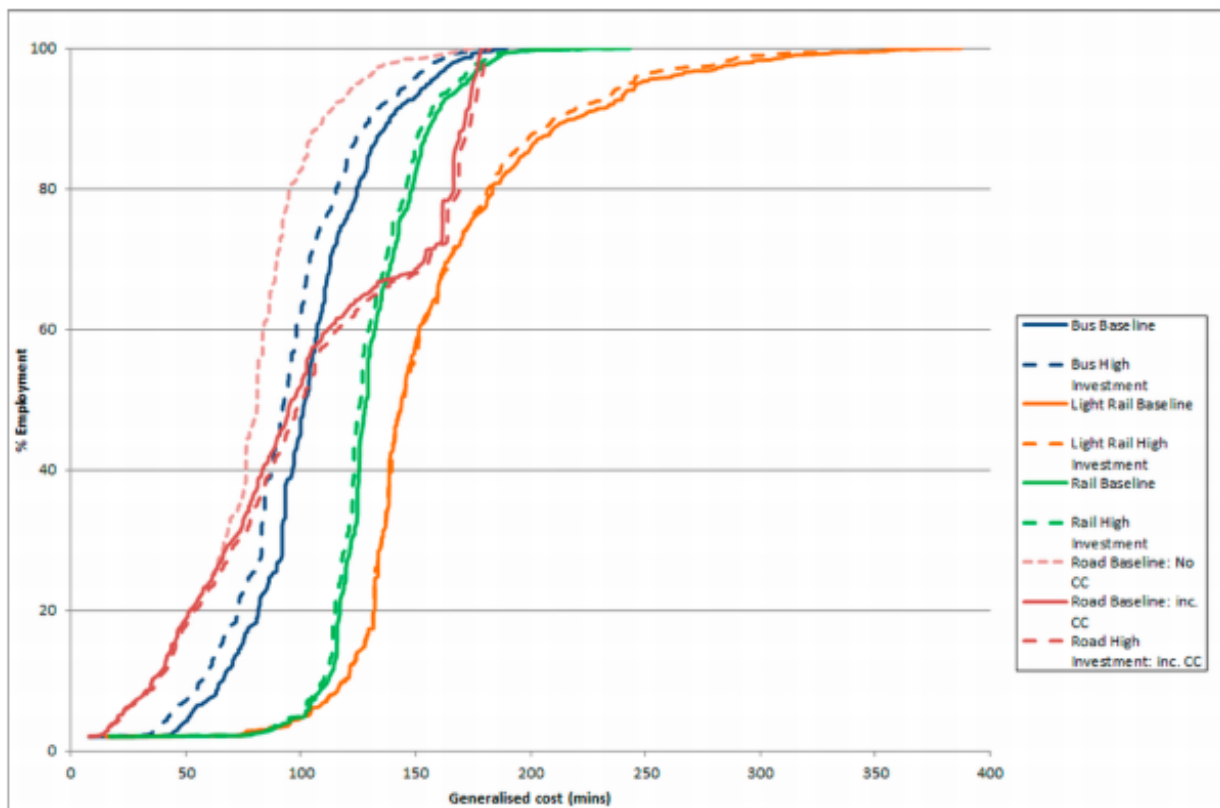


(a)



(b)

Σχήμα 8: Προσβασιμότητα απασχόλησης για περιοχές του Λονδίνου (ALDRSGATE – HEATHROWVILLAGES)[23]



Σχήμα 9: Προσβασιμότητα απασχόλησης για διαφορετικά Σενάρια Μεταφορών που δείχνουν ευαισθησία στη φόρτιση κυκλοφοριακής συχνότητας στην περιοχή HeathrowVillages [23]

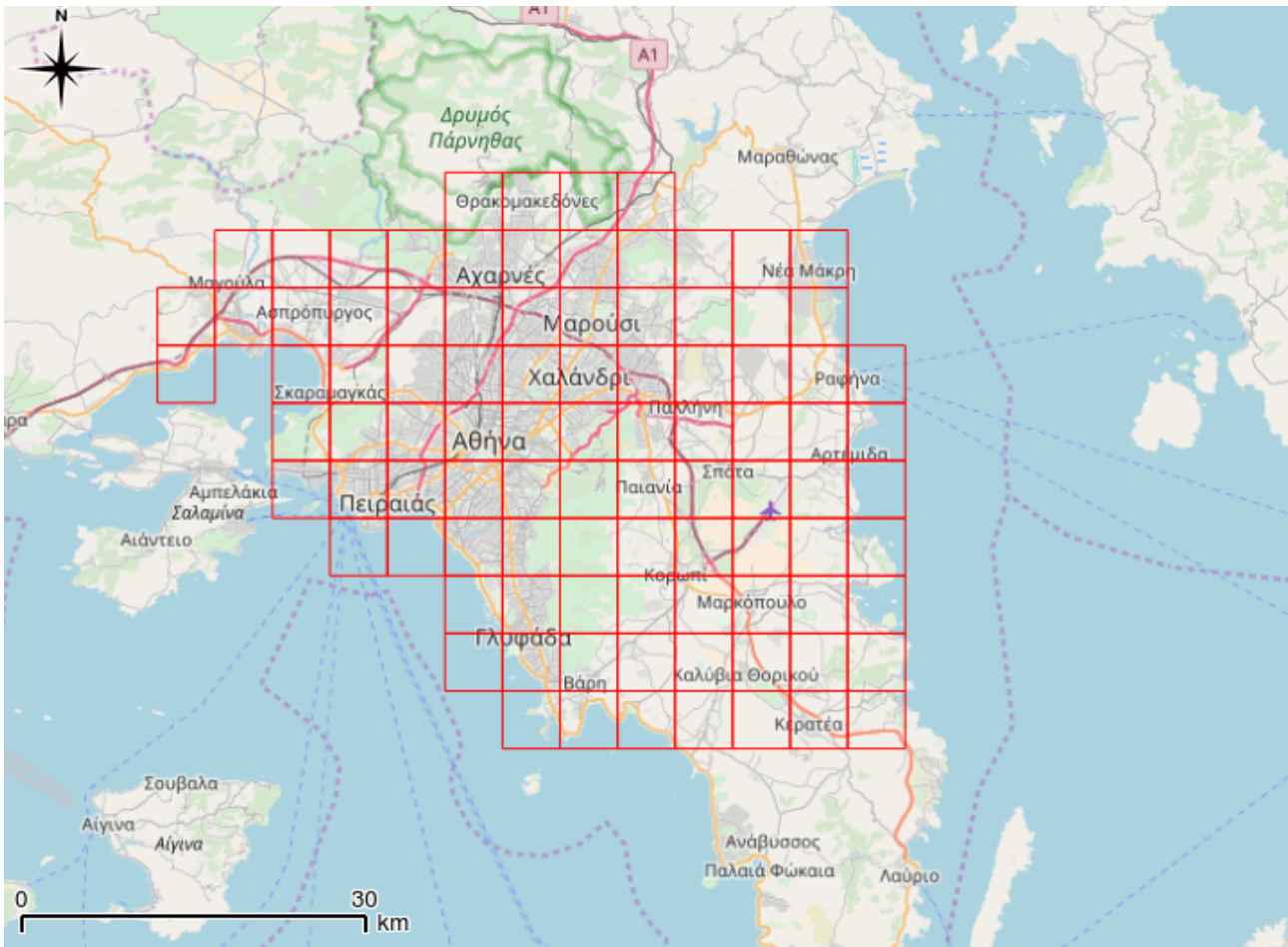
3.ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο παρακάτω κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε στην κατασκευή του transportGIS για την πόλη της Αθήνα το οποίο κατασκευάστηκε. Θα δούμε λοιπόν αναλυτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν προκειμένου να ολοκληρωθεί η εργασία. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα GIS ελεύθερου λογισμικού το QGIS. [24]

3.1ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.1.1Οριοθέτηση περιοχής για την κατασκευή του GIS

Αρχικά, πριν ξεκινήσει η κατασκευή του GIS με τις διάφορες εφαρμογές, έπρεπε να οριστεί η περιοχή της Αττικής με την οποία ασχολείται η εφαρμογή. Η επιλογή έγινε με τρόπο που να περιλαμβάνει αρκετά μεγάλο κομμάτι του Λεκανοπεδίου, οδούς σύνδεσης με άλλες περιοχές της Ελλάδας, αλλά και τα μεγάλα λιμάνια και αεροδρόμια της χώρας, από όπου γίνεται η μεταφορά ανθρώπων και εμπορευμάτων από και προς την Αθήνα. Όπως βλέπουμε λοιπόν και στον παρακάτω χάρτη, όπου χονδρικά χωρίστηκαν οι περιοχές αυτές που χρησιμοποιήθηκαν τελικά είναι: Από το Βορρά οι Μαγούλα, Αχαρνές Νέα Μάκρη έως το Νότιο Πειραιά Γλυφάδα Βάρη Κερατέα, προκειμένου να εσωκλείονται περιοχές όπως ο Πειραιάς, το αεροδρόμιο στα Σπάτα αλλά και μικρότερα λιμάνια και σταθμοί ενδιαφέροντος, όπως η Ραφήνα, οι Σταθμοί Υπεραστικών Λεωφορείων (ΚΤΕΛ) Κηφισού και Λιοσίων. Στην περιοχή αυτή κατοικεί και μεταφέρεται το μεγαλύτερο ποσοστό της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας και μπορούν να γίνουν μελέτες πάνω σε αυτό.



3.1.2 Δεδομένα Βάσης transportGIS

Τα αρχικά δεδομένα που εισήχθησαν προκειμένου να κατασκευαστεί η βάση του χάρτη με το GIS που κατασκευάστηκε, ήταν δεδομένα του openstreetmaps που κατέβηκαν και δημιουργήθηκαν οντότητες σε shapefiles από το GIS . Κατέβηκαν λοιπόν δεδομένα με την μέθοδο χωρισμό σε κάνναβο και κατέβασμα τμηματικά από το QGIS όπως φαίνεται παρακάτω:

Στο QGIS φορτώθηκε το openstreetmaps plugin βοηθητικά προκειμένου να έχουμε την προ επισκόπηση της περιοχής που θέλουμε να μελετήσουμε. Επειδή ο όγκος των δεδομένων ήταν τεράστιος και σε πολλές περιπτώσεις δεν χρειαζόταν να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες περιπτώσεις υπήρχαν δεδομένα τα οποία ήταν απλώς κενά, χωρίς κάποια χρήση ουσιαστική για την εργασία, πολλές οντότητες διαγράφηκαν, ενώ άλλες παρέμειναν στο GIS με δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικές εφαρμογές, που πιθανόν θα γίνουν στο ίδιο GIS, αλλά δεν είχαν ιδιαίτερη σημασία για την παρούσα εργασία. Τα δεδομένα λοιπόν που δεν χρησιμοποιούνται βρίσκονται στο GIS σε ανενεργά layers.

Όσον αφορά αυτά που κατέβηκαν από το openstreetmaps, τα shapefiles που χρησιμοποιήθηκαν είναι

1. Δεδομένα για τους κύριους δρόμους της Αθήνας (primary.shp)
2. Δεδομένα για τις συνδετήριες οδούς μεταξύ των πρωτευόντων δρόμων (primary_roads_link)
3. Δεδομένα για τους δευτερεύοντες δρόμους της Αθήνας (secondary.shp)
4. Δεδομένα για τις συνδετήριες οδούς μεταξύ των δευτερευόντων δρόμων (secondary_link.shp)
5. Δεδομένα για τις οδούς μεταξύ των δομημένων τετραγώνων της Αθήνας (residential.shp)
6. Γενικά ψηφιοποιημένα δεδομένα για τις μεταφορές της περιοχής (tertiary.shp)

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Οι κατηγορίες 1,2 αναφέρονται στις κύριες μεγάλες οδικές αρτηρίες της Αθήνας καθώς η κατηγορία 1 περιλαμβάνει δρόμους που συνδέουν το κέντρο της Αθήνας με τις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδας, και αποτελείται κυρίως από αυτοκινητόδρομους άνω των 3 λωρίδων που χρησιμοποιούνται καθημερινά εκτός από ΙΧ και ΜΜΜ, και για μεταφορά εμπορευμάτων σε κέντρα με έντονο εμπορικό ενδιαφέρον, όπως σύνδεση με Πειραιά, σύνδεση με Εθνική Οδό, Σκαραμαγκά, Ελληνικό, Κέντρο Αθήνας (παραδείγματα οδών που περιλαμβάνονται με κάποιες πληροφορίες τους στο παραπάνω shp είναι Λεωφόρος Αθηνών, Κηφισίας, Σταδίου, Ελευθερίου Βενιζέλου) . Η κατηγορία 2 λοιπόν που είναι η σύνδεση με τις οδούς αυτές περιλαμβάνει κάποια σημεία υψηλού ενδιαφέροντος που οδηγούν σε αυτές τις οδούς, όπως: ανισόπεδους κόμβους, φωτεινούς σηματοδότες, κυκλικούς κόμβους, ελιγμούς, ελάττωση αριθμού λωρίδων αυτοκινητόδρομου, υποδείξεις κατευθύνσεων δρόμων , καθώς και συνδέσεις με τις οδούς των υπολοίπων shp του GIS. Επίσης, πληροφορία που υπάρχει στο attributetable των παραπάνω layers αφορά στο εάν, ο εκάστοτε δρόμος είναι μονόδρομος (one-way) ή όχι και προς τα ποια κατεύθυνση πηγαίνει (south,north,left,right). Επίσης, σε κάποιες περιπτώσεις (όμως όχι σε όλες τις οντότητες) περιλαμβάνεται πληροφορία για το πλάτος του δρόμου καθώς και για τις λωρίδες τους.

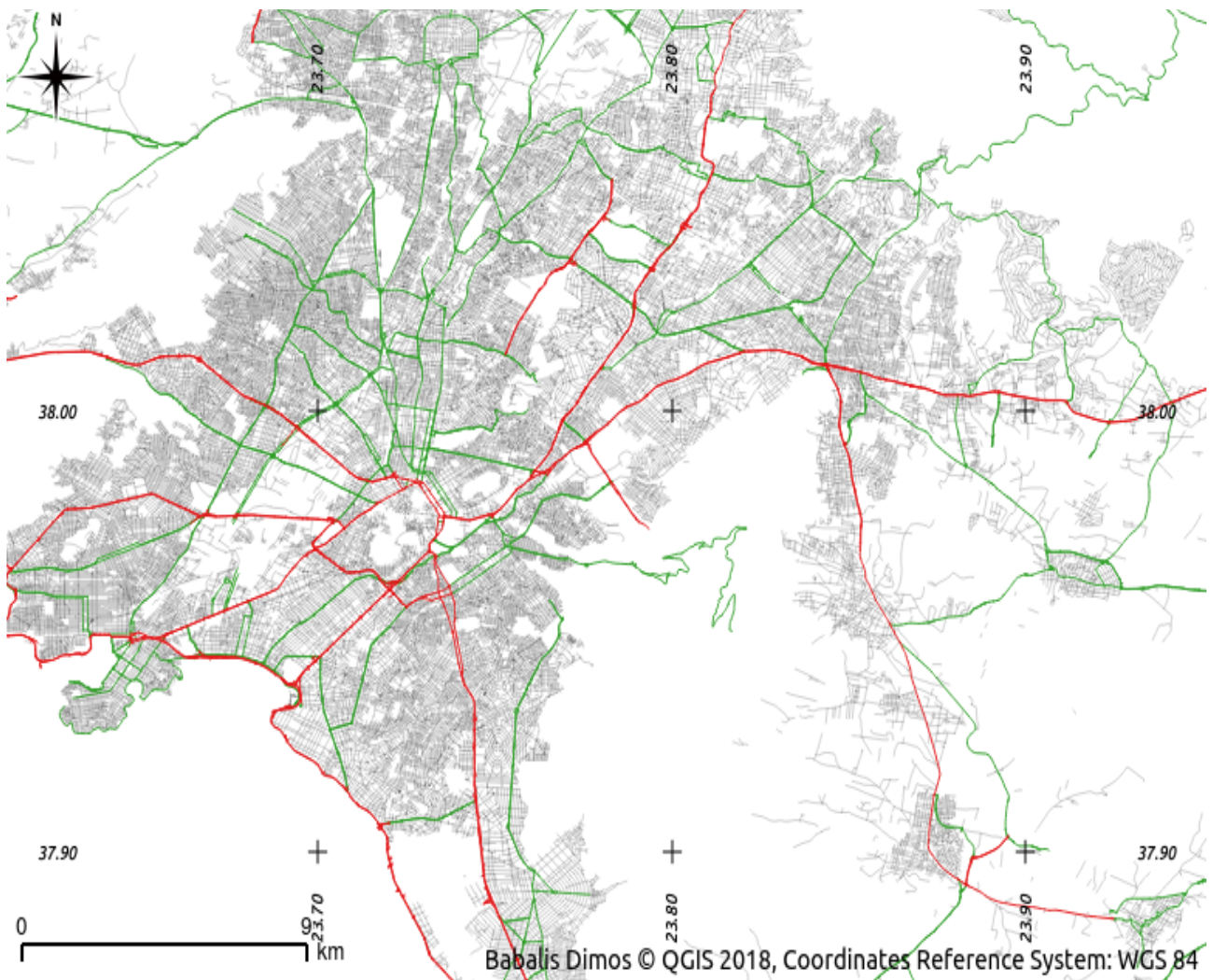
Αντίστοιχα, οι κατηγορίες 3,4 περιλαμβάνουν τις μικρότερες οδικές αρτηρίες του εν λόγω gis που όμως αποτελούν πολύ σημαντικές οδούς στην Αθήνα και είναι δρόμοι ευρέως χρησιμοποιούμενοι, βασικές οδικές αρτηρίες με πολλές λωρίδες ανά κατεύθυνση που χρησιμοποιούνται από ΙΧ, Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, πεζούς, ποδήλατα, αλλά και από βαρέα οχήματα εμπορικής χρήσεως καθημερινά, καθώς και τα βασικά σημεία σύνδεσης των οδών αυτών με τις υπόλοιπες κατηγορίες και μεταξύ των όπως και παραπάνω. Επίσης, πληροφορίες για μονοδρομήσεις, πλάτη,

κατευθύνσεις περιέχονται και σε αυτές τις κατηγορίες όπως ακριβώς και στις 1,2 (όχι για όλες καθολικά).

Στην επόμενη κατηγορία δεδομένων, που έχει χρησιμοποιηθεί το residential.shp, αφορά στους δρόμους που βρίσκονται στα οικοδομικά τετράγωνα της Αθήνας, στις κατοικημένες (ή και όχι) περιοχές. Αυτές οι οδοί χρησιμοποιούνται κυρίως από ΙΧ και λεωφορεία/ τρόλεϊ καθώς και από πεζούς, ποδήλατα. Το συγκεκριμένο .shp είναι αυτό που δίνει το σχήμα της Αθήνας και την αίσθηση του που βρίσκονται οι κατοικίες. Οι συνδέσεις των συγκεκριμένων δρόμων με τις παραπάνω κατηγορίες γίνονται με τα συνδετικά shp όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα.

Στην Κατηγορία 6, που χρησιμοποιήθηκε στη Βάση μας, βρίσκεται πληροφορία για τα διάφορα δευτερευούσης σημασίας πράγματα του GIS όπως τα διάφορα τελεφερίκ και ποδηλατικές διαδρομές που υπάρχουν σε διάφορα σημεία του Λεκανοπεδίου, καθώς και μπάρες αναπήρων μηχανήματα και εργοτάξια, τα οποία βρίσκονταν την περίοδο που κατέβηκαν τα δεδομένα στην Αθήνα. Λόγω όμως της πληθώρας των πληροφοριών που σε κάποιες περιπτώσεις δεν είναι καν εμφανή στο AttributeTable αλλά βγαίνει το συμπέρασμα περί τίνος πρόκειται από προσωπική εμπειρία ή από τα χαρακτηριστικά των διπλανών περιοχών, τα δεδομένα της συγκεκριμένης κατηγορίας χρησιμοποιήθηκαν λιγότερο ή σχεδόν καθόλου στη συγκεκριμένη βάση, αλλά παρέμειναν για πιθανή εξακρίβωση και χρησιμότητα εφαρμογών στο μέλλον.

Μια γενική (πρώτη) προεπισκόπηση των δεδομένων που περιγράφηκαν παραπάνω που αναφέρονται στη Βάση της Εργασίας όπως θα συνεχιστεί στη συνέχεια είναι αυτή στον παρακάτω χάρτη:



*Σημείωση ότι στον παρακάτω χάρτη δεν έχει φορτωθεί το openstreetmaps plugin μιας και είναι εμφανές το σχήμα της Αθήνας όπως διαγράφεται από τους δρόμους από τους οποίους αποτελείται. Με κόκκινο χρώμα αποτυπώνονται οι κύριοι δρόμοι (με τις συνδέσεις τους), με πράσινο οι δευτερεύοντες (με τις συνδέσεις τους) και με γκρι οι δρόμοι των περιοχών των κατοικιών. Το layertertiary που περιγράφηκε παραπάνω παρέμεινε ανενεργό διότι με την υπερβολική πληροφορία που περιλαμβάνει δημιουργεί σύγχυση στο μάτι και δεν διακρίνονται καλά οι άλλες κατηγορίες.

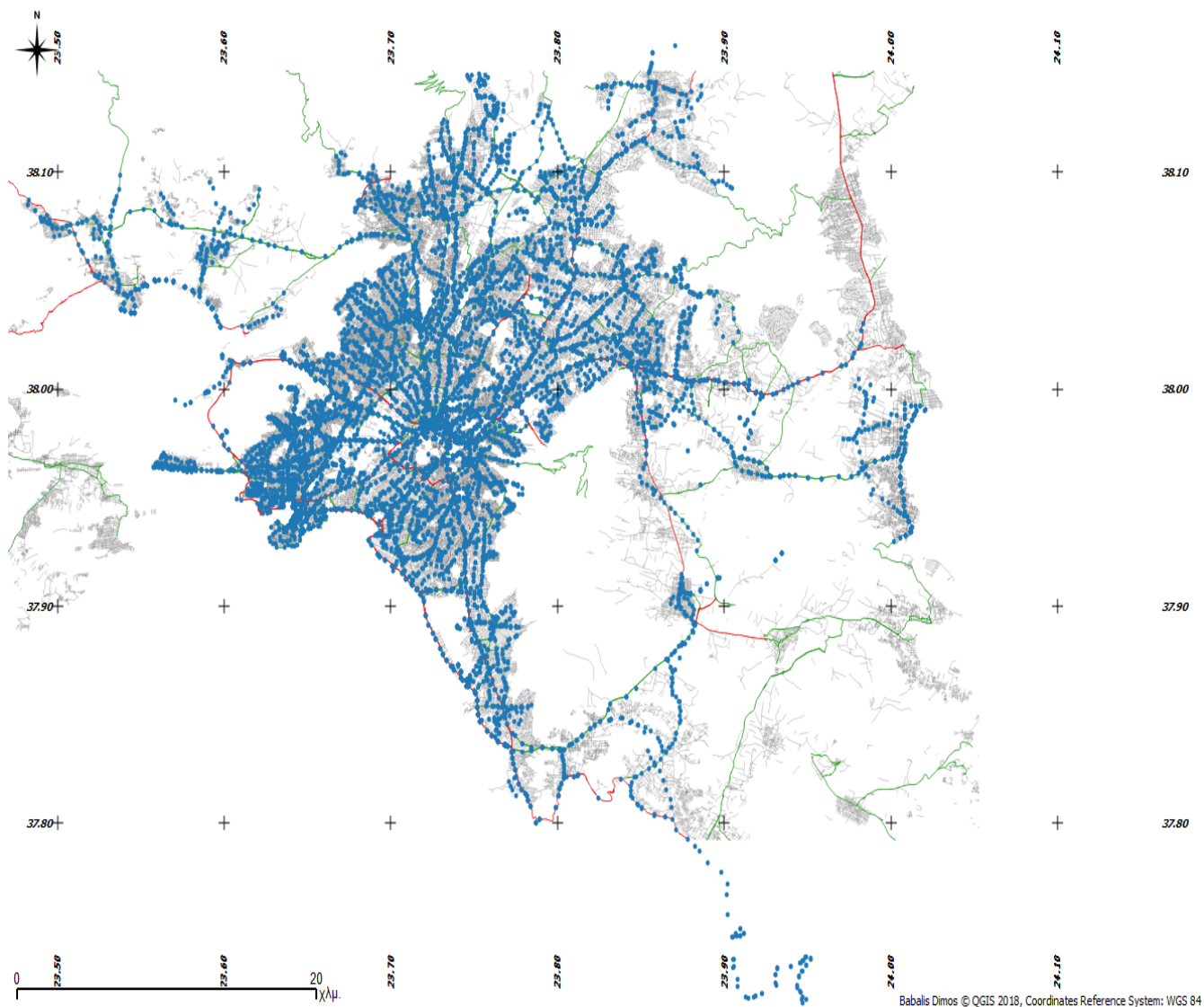
Στη συνέχεια, στη βάση δεδομένων προστέθηκαν τα δεδομένα του ΟΑΣΑ(oasatelematics.gr). Οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν προκειμένου να αποκτηθούν τα δεδομένα ήταν πολλές και περίπλοκες. Η εξαγωγή των δεδομένων

έγινε από το telematicsapi που διαθέτει ο οργανισμός και μέσω χρήσης python δημιουργήθηκαν επαναληπτικές ερωτήσεις στις οποίες ο server του ΟΑΣΑ έδινε απαντήσεις. Χάρτης, με τις φορτωμένες στάσεις του ΟΑΣΑ βρίσκεται στο παράρτημα πιο κάτω. Οι στάσεις που συμπεριλαμβάνονται πάνω στο χάρτη είναι διασκορπισμένες πάνω σε όλο σχεδόν το οδικό δίκτυο, άρα η πληρότητα των στάσεων, όσο μπορούσε να διαπιστωθεί, είναι αρκετά μεγάλη και με δοκιμές και φόρτωση άλλων vectorlayers, όπως: googlestreetmaps και openstreetmaps στο project φάνηκε να είναι η πλήρης λίστα των στάσεων και των αντίστοιχων λεωφορειακών γραμμών.

Συνεπώς, όπως βλέπουμε στον παρακάτω χάρτη τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε είναι για να βρούμε και να έχουμε σε shaperefile μορφή σχεδόν όλες τις στάσεις της Αθήνας διότι δεν είχαμε πρόσβαση σε όλες μαζεμένες από κάποια άλλη πηγή. Έχουμε λοιπόν δεδομένα από τον κώδικα στην python και τα μετατρέπουμε σε shaperefiles για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το gis. Οι στάσεις που συμπεριλήφθηκαν ολοκληρωτικά στη βάση του GIS πολλές φορές έμειναν διπλές και τριπλές πάνω στο gis. Αρχικά επιχειρήθηκε να σβηστούν αλλά στη συνέχεια κάνοντας κάποιες από τις εφαρμογές που υλοποιήθηκαν αναγκαστήκαμε να κρατήσουμε ορισμένες από αυτές, διότι δεν αναγνωριζόταν το λεωφορείο πάνω στο οποίο βασίστηκε η απάντηση.

Στην ουσία λοιπόν από το api του ΟΑΣΑ κατέβηκαν οι πληροφορίες των λεωφορειακών γραμμών που διατρέχουν συνολικά τον ΟΑΣΑ μέσω python και στη συνέχεια αποκόπτεται η πληροφορία που μας απασχολεί, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το codeid, όπως περιλαμβάνεται στο αρχείο που παρατίθεται στην python. Ύστερα, απομονώνεται η πληροφορία για τις συντεταγμένες των στάσεων από τις οποίες περνάει η λεωφορειακή γραμμή και στο αρχείο με χρήση των βιβλιοθηκών στον κώδικα, κρατάμε τελικά το longlatt των στάσεων, ένα υποτυπώδεςid που δημιουργήσαμε για την εκάστοτε στάση και το ελληνικό όνομα των στάσεων που διατρέχουν την περιοχή ενδιαφέροντος μας. Το αρχείο αυτό, που δεν ήταν αναγνώσιμο πέρα από το terminal του λογισμικού το οποίο χρησιμοποιήθηκε, οπότε σε επόμενο βήμα έγινε η εξαγωγή του αρχείου σε csv και στη συνέχεια η εισαγωγή του στη βάση δεδομένων μας.

Για να είναι σωστά αναγνώσιμα τα δεδομένα των στάσεων και με γεωγραφική αναφορά σωστή, έγινε η εισαγωγή τους στο GIS σε greekgrid ΕΓΣΑ 87 για τη σωστή γεωαναφορά του project που πιθανών θα δημιουργηθεί από την υπόλοιπη Ελλάδα ώστε να "κουμπώνει" σωστά με τις άλλες περιοχές σε μελλοντική χρήση. Μπορεί να γίνει αλλαγή του grid σε οποιαδήποτε φάση του project με την απλή εντολή: **Ιδιότητες Έργου /Γενικά/Measurments.**



Βρέθηκαν επίσης και οι στάσεις των τριών γραμμών του Metro και προστέθηκαν στο qgis, αλλά χωρίς να περιέχουν πληροφορίες για τους συρμούς μετρό και τις ώρες τις οποίες περνάνε, αλλά υπάρχουν σαν layer στο παραπάνω T-gis της Αθήνας.

3.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ web-GIS-T

Το επόμενο στάδιο της εργασίας ήταν να χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα των λεωφορείων που εισήχθησαν στο GIS-T για την κατασκευή του gis-t και την εξαγωγή τους σε webgis. Κατασκευάστηκε λοιπόν με χρήση του εργαλείου QGIS2web και κώδικα γραμμένου σε Python η εξαγωγή σε webgis. Περιέχει όλο το gis όπως κατασκευάστηκε ενώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί πάνω από τις διάφορες οντότητες και layers του GIS και εμφανίζονται δίπλα στον κέρσορα πληροφορίες για την καθεμία. Σε μία δοκιμή του webgis που κατασκευάστηκε εμφανιζόταν και το υπόμνημα στην κάτω δεξιά γωνία του αποτελέσματος, ενώ ο χρήστης μπορούσε να ζητήσει πληροφορίες και για την τοποθεσία αλλά και για τις στάσεις που υπήρχαν κοντά του. Η προσπάθεια όμως αυτή εγκαταλείφτηκε γιατί το webgis γινόταν ενοχλητικά βαρύ με αποτέλεσμα πολλές φορές να μην αποκρίνεται το agis και ο υπολογιστής που χρησιμοποιούσα να μην αντέχει το βάρος της μνήμης που καταναλωνόταν.

Τελικά στο webgis παρέμεινε μόνο η δυνατότητα να υπάρχει πληροφορία για τις στάσεις, το οδικό δίκτυο και την ακριβή τοποθεσία του. Με τις πληροφορίες αυτές μπορεί κάποιος να κατατοπιστεί αρκετά καλά στην πρωτεύουσα και να έχει τη δυνατότητα να γνωρίζει τι λεωφορεία, τρόλεϊ, μετρό περνούν κοντά στη περιοχή στην οποία βρίσκεται.

3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΤΟ T-GIS

1. Εφαρμογή Dijkstra

Εφαρμογή Αλγορίθμου dijkstra στο υπάρχον δίκτυο στάσεων του ΟΑΣΑ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, προσπαθήσαμε να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο dijkstra (minimum path) πάνω στις στάσεις του ΟΑΣΑ (λεωφορεία, τρόλεϊ).

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και γνωστά προβλήματα πάνω στα μεταφορικά δίκτυα, είναι αυτό της “εύρεσης του ελάχιστου μονοπατιού” επάνω σε ένα δίκτυο. Το πρόβλημα περιγράφεται ως εξής: Δοθέντος ενός μεταφορικού δικτύου αποτελούμενου από “σημεία ενδιαφέροντος” και τρόπους επικοινωνίας μεταξύ τους, και δοθέντων δύο σημείων A και B, πάνω στο εν λόγω δίκτυο, να βρεθεί η ελάχιστη απόσταση που πρέπει να διανυθεί έτσι ώστε να πάμε από το A στο B.

Το συγκεκριμένο πρόβλημα, μπορεί να μοντελοποιηθεί ως εξής:

- Θεωρούμε το δίκτυο ως ένα γράφο (Graph), με ακμές (Edges-E) και Κορυφές (Vertices-V).
- Οι κορυφές συμβολίζουν τα “σημεία ενδιαφέροντος”, τα οποία μπορεί να είναι, σε ένα μεταφορικό δίκτυο μεταφοράς προϊόντων μέσω σιδηροδρόμου, σταθμοί φόρτωσης/εκφόρτωσης, σε ένα δίκτυο μεταφοράς επιβατών μέσω σιδηροδρόμου, στάσεις επιβίβασης, σε ένα δίκτυο διανομής επίπλων, για μια μεταφορική εταιρεία, οι

διευθύνσεις σπιτιών που αφορούν πελάτες.

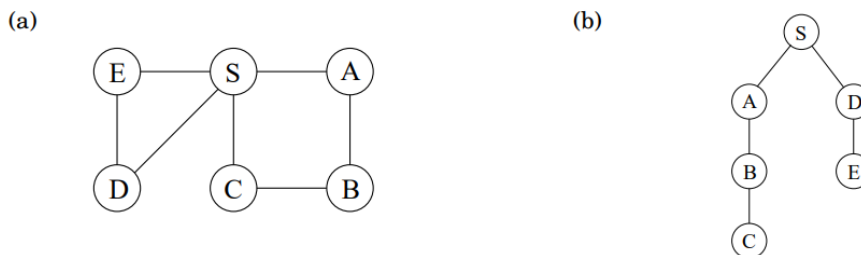
- Οι ακμές συμβολίζουν τις συνδέσεις από έναν κόμβο σε έναν άλλο.
- Το κόστος, το οποίο αφορά την κάθε ακμή, και συμβολίζει το κόστος μεταφοράς (μπορεί να είναι χιλιόμετρα, χρήματα, χρόνος, κλπ) από τον έναν κόμβο στον άλλο, εν μέσω της συγκεκριμένης ακμής.

Επομένως, αν αναπαραστήσουμε το μεταφορικό μας δίκτυο ως έναν γράφο, μπορούμε, χωρίς βλάβη της γενικότητας και χωρίς απώλεια πληροφορίας, να χρησιμοποιήσουμε αλγορίθμους εύρεσης ελάχιστου μονοπατιού πάνω σε γράφους. Επομένως μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τεχνικές και αλγορίθμους γνωστούς από την βιβλιογραφία, όπως (BFS, A*, Dijkstra, κοκ) [29].

Αναφορά γνωστών αλγορίθμων

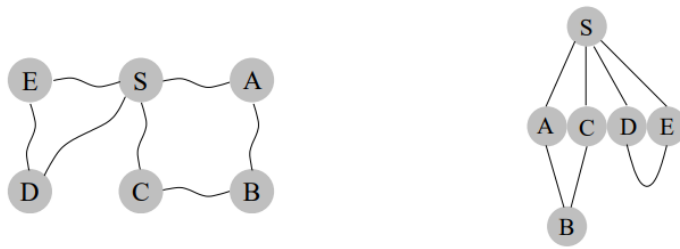
ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ DFS (depth first search)

Η διαδικασία με την οποία ο αλγόριθμος **DFS (depth first search)** [29] εντοπίζει εύκολα όλες τις κορυφές ενός γράφου που μπορεί να επιτευχθεί από ένα a καθορισμένο σημείο εκκίνησης. Βρίσκει επίσης σαφή μονοπάτια σε αυτές τις κορυφές, που συνοψίζονται στο δικό του δέντρο αναζήτησης . Ωστόσο, αυτά τα μονοπάτια μπορεί να μην είναι τα πιο οικονομικά . Στο σχήμα, η κορυφή C είναι προσβάσιμη από το S μετακινώντας μόνο μία άκρη, ενώ το δέντρο DFS δείχνει μια διαδρομή μήκους 3.



Εικόνα 13: Παράδειγμα για επίλυση συντομότερης διαδρομής με DFS [29]

Τα μήκη διαδρομής αφορούν το βαθμό στον οποίο διάφορες κορυφές του ενός γραφήματος διαχωρίζονται το ένα από το άλλο: Η απόσταση μεταξύ δύο κόμβων είναι το μήκος της μικρότερης διαδρομής μεταξύ τους. Για να γίνει κατανοητή αυτή η έννοια ,έστω μια φυσική πραγματοποίηση ενός γραφήματος που έχει μια μπάλα για κάθε κορυφή και ένα κομμάτι συμβολοσειράς για κάθε άκρη. Εάν σηκώσετε την μπάλα αρκετά ψηλά για την κορυφή S, οι άλλες μπάλες που τραβιούνται μαζί τους είναι ακριβώς οι κορυφές που μπορούν να φτάσουν από το s. Και για να βρούμε τις αποστάσεις τους από το s, πρέπει μόνο να μετρηθεί πόσο κάτω βρίσκονται κρεμασμένοι.



Εικόνα 14: Παράδειγμα για επίλυση συντομότερης διαδρομής με DFS[29]

Στο παραπάνω σχήμα για παράδειγμα, η κορυφή B βρίσκεται στην απόσταση 2 από το S και υπάρχουν δύο συντομότερες διαδρομές σε αυτό. Όταν το S κρατιέται, οι χορδές κατά μήκος καθενός από αυτά τα μονοπάτια γίνονται τεντωμένες. Από την άλλη, η άκρη (D, E) δεν παίζει κανένα ρόλο στη μικρότερη διαδρομή και συνεπώς παραμένει χαλαρή.

Αλγόριθμος BFS (Breadth First Search)

Στο Σχήμα της εικόνας 14, η ανύψωση του S χωρίζει το γράφημα σε στρώματα: S, οι κόμβοι σε απόσταση 1 από αυτό, οι κόμβοι σε απόσταση 2 από αυτό, και ούτω καθεξής. Ένας βολικός τρόπος για τον υπολογισμό των αποστάσεων από το S προς τις άλλες κορυφές είναι να προχωρήσουμε σε επίπεδο στρώμα. Μόλις διαλέξουμε τους κόμβους σε απόσταση 0, 1, 2, . . . , d, οι τιμές στο “d + 1” προσδιορίζονται εύκολα: είναι ακριβώς όπως και τώρα κόμβοι που είναι δίπλα στο στρώμα σε απόσταση d. Αυτό υποδηλώνει έναν επαναληπτικό αλγόριθμο στον οποίο δύο στρώματα είναι ενεργά σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή: κάποιο στρώμα “d”, το οποίο έχει πλήρως αναγνωριστεί, και κάποιο “d + 1”, το οποίο ανακαλύπτεται με σάρωση των γειτόνων

```

procedure bfs(G,s)
Input:   Graph  $G=(V,E)$ , directed or undirected; vertex  $s \in V$ 
Output:  For all vertices  $u$  reachable from  $s$ ,  $dist(u)$  is set
         to the distance from  $s$  to  $u$ .

for all  $u \in V$ :
     $dist(u) = \infty$ 

 $dist(s) = 0$ 
 $Q = [s]$  (queue containing just  $s$ )
while  $Q$  is not empty:
     $u = eject(Q)$ 
    for all edges  $(u,v) \in E$ :
        if  $dist(v) = \infty$ :
            inject( $Q,v$ )
             $dist(v) = dist(u) + 1$ 

```

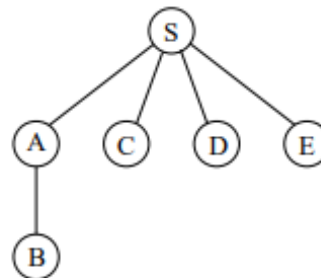
της στρώσης “d”

Εικόνα 15: Επίλυση αλγορίθμου BFS[29]

Η πρώτη έρευνα αναζήτησης (BFS) εφαρμόζει άμεσα την εξής συλλογιστική που φαίνεται στην εικόνα 15 : Αρχικά η ουρά (Q) αποτελείται μόνο από s, ο ένας κόμβος στην απόσταση 0. Και για κάθε επόμενη απόσταση $d = 1, 2, 3, \dots$, υπάρχει ένα χρονικό σημείο στο οποίο το Q περιέχει όλους τους κόμβους σε απόσταση d και τίποτα άλλο. Καθώς οι κόμβοι αυτοί επεξεργάζονται (εκτοξεύονται από το μπροστινό μέρος της ουράς), οι γείτονές τους που δεν έχουν ακόμη εντοπιστεί εισάγονται στο

τέλος της ουράς.

| Order of visitation | Queue contents after processing node |
|---------------------|--------------------------------------|
| | [S] |
| S | [A C D E] |
| A | [C D E B] |
| C | [D E B] |
| D | [E B] |
| E | [B] |
| B | [] |



Εικόνα 16: Σχήμα για τον αλγόριθμο BFS [29]

Έχουμε αναπτύξει τη βασική λογική πίσω από τον αλγόριθμο. Για να ελέγξουμε ότι ο αλγόριθμος λειτουργεί σωστά, πρέπει να βεβαιωθούμε ότι εκτελεί πιστά αυτή τη λογική. Αυτό που περιμένουμε, ακριβώς, είναι ότι για κάθε $d = 0, 1, 2, \dots$, υπάρχει μια στιγμή στην οποία (1) όλοι οι κόμβοι στην απόσταση $\leq d$ από το S έχουν σωστά ρυθμίσει τις αποστάσεις τους. (2) όλοι οι άλλοι κόμβοι έχουν τις αποστάσεις τους ρυθμισμένες στο ∞ , και (3) η ουρά περιέχει ακριβώς τους κόμβους σε απόσταση d. Αυτό έχει διατυπωθεί με ένα επαγωγικό επιχειρήμα.

Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας αυτού του αλγορίθμου είναι γραμμικός, $O(|V| + |E|)$, για τους ίδιους ακριβώς λόγους όπως η αναζήτηση βάθους πρώτου. Κάθε κορυφή τοποθετείται στην ουρά ακριβώς μία φορά, όταν συναντάται για πρώτη φορά, έτσι υπάρχουν $2|V|$ λειτουργίες ουράς. Το υπόλοιπο έργο γίνεται στον εσώτατο βρόχο του αλγορίθμου. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, αυτός ο βρόχος εξετάζει κάθε άκρη μία φορά (σε κατευθυνόμενα γράμματα) ή δύο φορές (σε μη κατευθυνόμενα γράμματα), και επομένως παίρνει $O(|E|)$ χρόνο. Τώρα που έχουμε και τα δύο BFS και DFS μπροστά μας: πώς συγκρίνουν τα στυλ εξερεύνησης τους;

Ο αλγόριθμος **DFS** κάνει βαθιές επιδρομές σε ένα γράφημα, υποχωρώντας μόνο όταν εξαντλούνται νέοι κόμβοι για επίσκεψη. Αυτή η στρατηγική δίνει τις θαυμάσιες, λεπτές και εξαιρετικά χρήσιμες ιδιότητες, αλλά σημαίνει επίσης ότι το DFS μπορεί να καταλήξει να παίρνει μια μακρά και περίπλοκη διαδρομή σε μια κορυφή που είναι πραγματικά πολύ κοντά, όπως στην εικόνα 15. Αντίστοιχα ο BFS φροντίζει να επισκεφθεί τις κορυφές αυξάνοντας τη σειρά της απόστασης από το σημείο εκκίνησης. Αυτή είναι μια ευρύτερη, ρηχή αναζήτηση, για παράδειγμα όπως η διάδοση ενός κύματος πάνω στο νερό. Και επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας σχεδόν ακριβώς τον ίδιο κώδικα με το DFS αλλά χρησιμοποιώντας μια ουρά στη θέση μιας στοίβας [29].

Αλγόριθμοι

Με την αναπαράσταση του μεταφορικού δικτύου ως γράφο, ο χρήστης μπορεί να επιτελέσει πλήθος διεργασιών όπως:

- η εύρεση του ελάχιστου μονοπατιού από ένα σημείο A σε ένα άλλο, B.

- η εύρεση k-best μονοπατιών (πολλαπλών εισόδων-εξόδων, αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας [35])
- η συνεκτικότητα (συνοχή) του γράφου (και άρα, του δικτύου). Αυτό, πρακτικά σημαίνει ότι ο χρήστης δύναται εύκολα να αντιληφθεί αν ο γράφος είναι πλήρως συνδεδεμένος (fullyconnected) και άρα συνεκτικός, και επομένως, έμμεσα μπορεί να συμπεράνει αν από οποιοδήποτε σημείο A του δικτύου μπορεί να μεταφερθεί σε κάποιο άλλο B, ή, αν το δίκτυό του έχει τέτοια κενά.

Διατύπωση Προβλήματος:

Στην συγκεκριμένη εργασία, το πρόβλημα διατυπώνεται ως εξής: Δοθέντων όλων των στάσεων του ΟΑΣΑ, βρες την ελάχιστη απόσταση μεταφοράς από μία δοθείσα στάση, σε μία άλλη.

Για να προσεγγίσουμε αυτό το πρόβλημα, εργαστήκαμε ως εξής:

Πρώτα, έγινε προσπάθεια ανάκτησης των δεδομένων του ΟΑΣΑ. Έπειτα, διαπιστώθηκε ότι δεν ήταν σε μορφή κατάλληλη για να δημιουργήσουμε ένα ελάχιστο μονοπάτι μεταξύ των στάσεων, κι έτσι, περαιτέρω επεξεργασία απαιτήθηκε. Κατόπιν, όταν τα δεδομένα πήραν την απαιτούμενη μορφή, ο αλγόριθμος dijkstra εφαρμόστηκε σε αυτά.

Ανάκτηση δεδομένων

Για την ανάκτηση των δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε το Python API [30], ελεύθερα διαθέσιμο από την κοινότητα. Συγκεκριμένα, στο αναφερόμενο gitlab repository [30] αναπτύχθηκε μια πλούσια διεπαφή προγράμματος-χρήστη (API, [31]), με χρήση της οποίας, ο χρήστης είναι σε θέση να κατεβάσει μαζικά όλες τις διαδρομές, τις στάσεις, τις τελικές στάσεις, τις γραμμές, κ.ο.κ. Στα πλαίσια του προβλήματος, το ζητούμενο ήταν οι στάσεις, τις οποίες όμως δεν μπορούσαμε να ανακτήσουμε απευθείας, καθώς απαιτούνταν ο μοναδικός κωδικός (code/id) της κάθε διαδρομής, με βάση την οποία μπορούσαμε μετά να αναζητήσουμε τις επί μέρους στάσεις. Επομένως,

1. κατεβάσαμε αρχικά όλες τις διαδρομές
2. για κάθε διαδρομή, κατεβάσαμε τις στάσεις από τις οποίες αποτελούνταν η διαδρομή
3. για κάθε τέτοιο “σετ στάσεων”, το αναπτύξαμε, και πήραμε τις στάσεις μία-μία, και, τέλος,
4. μελετήσαμε τα στοιχεία της κάθε στάσης, κάποια από τα οποία ήταν:
 - * συντεταγμένες της στάσης
 - * όνομα της στάσης
 - * αγγλικό όνομα της στάσης,
 - * περιγραφή,
 - * δρόμος από τον οποίο περνάει,
 - * διαθεσιμότητα θέσης ΑΜΕΑ κλπ

Route(route_code=1975, line_code=974, descr='ΟΡΦΕΟΣ - ΙΠΠΟΚΡΑΤΟΥΣ', descr_eng='ORFEOS - IPPOKRATOUS', rtype=2, distance=7537.64)
Route(route_code=1795, line_code=816, descr='ΤΑΥΡΟΣ - ΠΕΤΡΑΛΟΝΑ - ΑΝΘ ΚΥΨΕΛΗ', descr_eng='PETRALONA - ANO KIPSELI', rtype=2, distance=9753.66)
Route(route_code=2298, line_code=804, descr='ΣΤ. ΚΑΤΕΧΑΚΗ-ΣΤ. ΠΑΝΟΡΜΟΥ-ΓΑΛΑΤΣΙ-ΚΥΨΕΛΗ', descr_eng='ST. KATECHAKI - PANORMOU - GALATSI - KIPSELI', rtype=1, distance=16852.98)
Route(route_code=2750, line_code=1219, descr='ΣΤ. ΚΑΤΕΧΑΚΗ -ΣΤ. ΠΑΝΟΡΜΟΥ-ΓΑΛΑΤΣΙ-ΚΥΨΕΛΗ', descr_eng='ST. KATECHAKI - PANORMOU - GALATSI - KIPSELI [TO PL. KIPSELI]', rtype=1, distance=9048.77)
Route(route_code=2751, line_code=1220, descr='ΣΤ. ΚΑΤΕΧΑΚΗ -ΣΤ. ΠΑΝΟΡΜΟΥ-ΓΑΛΑΤΣΙ-ΚΥΨΕΛΗ', descr_eng='KIPSELI - GALATSI - ST. PANORMOU - ST.KATECHAKI [FROM PL. KIPSELI] ', rtype=1, distance=7818.53)
Route(route_code=2005, line_code=938, descr='ΠΕΙΡΑΙΑΣ - ΣΥΝΤΑΓΜΑ', descr_eng='PEIRAIAS - SYNTAGMA', rtype=1, distance=12954.66)
Route(route_code=1820, line_code=831, descr='ΜΟΥΣΕΙΟ - ΕΛΛΗΝΟΡΟΣΩΝ', descr_eng='MOUSEIO - ELLINOROSON', rtype=1, distance=6140.57)
Route(route_code=1802, line_code=819, descr='ΟΜΟΝΟΙΑ - ΠΕΙΡΑΙΑΣ', descr_eng='OMONOIA - PEIRAIAS', rtype=2, distance=11343.32)
Route(route_code=2567, line_code=1180, descr='ΟΜΟΝΟΙΑ-ΣΤ. ΥΠΕΡ. ΛΕΩΦ. ΚΗΦΙΣΟΥ', descr_eng='OMONOIA-ST. YPER. LEOF. KHFISOU', rtype=1, distance=7598.4)
Route(route_code=1876, line_code=868, descr='ΠΕΡΙΣΣΟΣ - ΑΚΑΔΗΜΙΑ - ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΗ', descr_eng='PERISSOS - AKADIMIA - METAMORFOSI', rtype=1, distance=12856.7)
Route(route_code=1810, line_code=824, descr='ΟΜΟΝΟΙΑ - ΛΟΦΟΣ ΣΚΟΥΖΕ', descr_eng='OMONOIA - LOFOS SKOUZE', rtype=1, distance=7756.9)
Route(route_code=1812, line_code=825, descr='ΜΟΥΣΕΙΟ - ΛΥΚΑΒΗΤΤΟΣ', descr_eng='MOUSEIO - LYKAVITTOS', rtype=1, distance=11600.11)
Route(route_code=1813, line_code=1069, descr='ΠΛ. ΑΤΤΙΚΗΣ -ΚΑΛΛΙΘΕΑ - ΜΟΣΧΑΤΟ', descr_eng='PLATEIA ATTIKIS - KALLITHEA - MOSCHATO ', rtype=1, distance=11713.43)
Route(route_code=2784, line_code=1077, descr='ΤΖΙΤΖΙΦΙΕΣ - ΧΑΛΑΝΔΡΙ ', descr_eng='TZITZIFIES - CHALANDRI [Alternative route due to roadworks]', rtype=1, distance=15104.37)
Route(route_code=1813, line_code=826, descr='ΠΛ. ΚΟΥΜΟΥΝΔΟΥΡΟΥ - ΚΟΛΟΝΑΚΙ - ΑΓΟΡΑ', descr_eng='PL. KOYMOYNDΟΥROY - KOLONAKI - AGORA', rtype=1, distance=8101.24)
Route(route_code=1953, line_code=939, descr='ΑΛΙΜΟΣ - ΕΛΛΗΝΙΚΟ', descr_eng='ALIMOS - ELLINIKO', rtype=1, distance=13975.57)
Route(route_code=2017, line_code=1026, descr='ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ - ΣΤ. ΣΥΓΓΡΟΥ ΦΙΞ', descr_eng='AG. BARBARA - ST. SYNGROU FIX ', rtype=1, distance=17759.21)
Route(route_code=2759, line_code=1221, descr='ΑΓ. ΒΑΡΒΑΡΑ - ΣΤ. ΣΥΓΓΡΟΥ ΦΙΞ', descr_eng='AG. BARBARA - ST. SYNGROU FIX [TO AKADIMIA]', rtype=1, distance=10479.09)
Route(route_code=2031, line_code=1003, descr='ΣΤ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ - ΑΝΘ ΚΑΛΑΜΑΚΙ', descr_eng='AG. DIMITRIOS - ANO KALAMAKI', rtype=1, distance=7512.44)
Route(route_code=1995, line_code=1079, descr='Α. ΠΑΤΗΣΙΑ - Ν. ΠΑΓΚΡΑΤΙ - Ν. ΕΛΒΕΤΙΑ', descr_eng='ANO PATISIA - N.PAGKRATI - N. ELVETIA', rtype=1, distance=9982.49)
Route(route_code=2760, line_code=1028, descr='ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ - ΣΤ. ΔΑΦΝΗ [ΚΥΚΛΙΚΗ]', descr_eng='AG. DIMITRIOS - STATH. DAFNIS [temporary detour due to roadworks]', rtype=1, distance=10900.67)
Route(route_code=2186, line_code=1008, descr='ΓΛΥΦΑΔΑ - ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗ - ΚΙΤΣΙ', descr_eng='GLYFADA - VOULIAGMENI - KITSI', rtype=1, distance=18227.36)
Route(route_code=1929, line_code=929, descr='ΓΛΥΦΑΔΑ - ΒΑΡΗ -ΚΙΤΣΙ', descr_eng='GLYFADA - VARI - KITSI', rtype=1, distance=12010.91)
Route(route_code=1934, line_code=932, descr='ΒΑΡΗ - ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗ - ΓΛΥΦΑΔΑ', descr_eng='VARI - VOULIAGMENI - GLIFADA', rtype=2, distance=18204.76)
Route(route_code=2009, line_code=1080, descr='ΖΑΠΠΕΙΟ - ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ - ΑΓ. ΙΕΡΟΘΕΟΣ', descr_eng='ZAPPEIO - AG. IEROTHEOS', rtype=1, distance=8736.84)
Route(route_code=2063, line_code=940, descr='ΓΛΥΦΑΔΑ - ΒΑΡΗ - ΠΡΟΑΣΤΙΑΚΟΣ ΣΤ. ΚΟΡΟΠΙΟΥ', descr_eng='GLYFADA - VARI - PROASTIAKOS KOROPIOU', rtype=1, distance=26779.11)
Route(route_code=2007, line_code=941, descr='ΓΛΥΦΑΔΑ - ΣΤ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ', descr_eng='SARONIDA - STATHMOS ELLINIKO', rtype=2, distance=32898.57)
Route(route_code=2330, line_code=1119, descr='ΣΤ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ-ΒΑΡΚΙΖΑ', descr_eng='STATHOS ELLINIKO - VARKIZA', rtype=1, distance=18164.25)
Route(route_code=2493, line_code=1124, descr='ΣΑΡΟΝΙΔΑ-ΑΝΑΒΥΣΣΟΣ-ΠΑΛΙΑ ΦΟΚΑΙΑ', descr_eng='SARONIDA - ANAVISSOS - P. FOKAIA', rtype=1, distance=24317.64)
Route(route_code=1918, line_code=921, descr='ΓΛΥΦΑΔΑ - ΑΓΙΑ ΤΡΙΑΔΑ - ΣΤ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ', descr_eng='GLYFADA - AGIA TRIADA - ST. ELLINIKO', rtype=1, distance=11344.11)
Route(route_code=2039, line_code=1027, descr='ΠΑΛ. ΦΑΛΗΡΟ - ΣΤ. ΣΥΓΓΡΟΥ ΦΙΞ', descr_eng='PAL. FALIRO - ST. SYNGROU FIX ', rtype=1, distance=18749.08)
Route(route_code=1928, line_code=927, descr='ΓΛΥΦΑΔΑ - ΤΕΡΨΙΘΕΑ [ΚΥΚΛΙΚΗ]', descr_eng='GLYFADA - TERPSITHEA ', rtype=1, distance=26021.95)
Route(route_code=2812, line_code=851, descr='ΠΕΙΡΑΙΑΣ - Ν. ΣΜΥΡΝΗ', descr_eng='PEIRAIAS - NEA SMYRNI', rtype=1, distance=22204.98)
Route(route_code=2560, line_code=1175, descr='ΑΜΑΞ. ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ - ΣΤ. ΔΑΦΝΗΣ [ΚΥΚΛΙΚΗ]', descr_eng='AMAX. AG. DIMITRIOU - ST. DAFNIS', rtype=1, distance=8468.41)

Αποτελέσματα κώδικα διαδρομών [30] (στιγμιότυπο των την ανάκτηση που κάναμε με χρήση του API [1]).

```

import telematics

# first of all, we need to get the lines.
lines = telematics.webGetLines()

# then, we get the routes of the lines.
routes = []
for l in lines:
    # l[0] is the key based on which we find the routes
    routes.append(telematics.webGetRoutes(l[0]))
    print("another line has been printed", l[0])

with open('routes.txt', 'w') as f:
    for r in routes:
        f.write(str(r[0]))
        f.write('\n')

# then, we can safely extract the stops each route has.
stops = []
for r in routes:
    if r:
        stops.append(telematics.webGetStops(r[1][0]))
        print("r now is ", r[1][0])
        with open('all_stops.csv', 'a') as f:
            for s in stops:
                print("another stop has been printed", s[0])
                f.write("%s\n" % s)

```

Κώδικας 1: κώδικας για να πάρουμε τις διαδρομές (routes) [30]

```

Stop(code=18187, id=38, descr='ΗΜΑΘΕΙΕΙΟΣ', descr_eng='HMATHIESIOS', street='None', street_eng='None', heading=222, lat=37.9849665, long=23.7549375, order=1, stype=0, amea=0), Stop(code=60183, id=60183, descr='ΔΟΡΥΛΑΙΩΝ', descr_eng='DORILAIΩN', street='ΓΕΛΑΝΟΣ', street_eng='None', heading=228, lat=37.983018, long=23.753262, order=2, stype=0, amea=0), Stop(code=60184, id=60184, descr='ΝΑΥΤΙΚΟ', descr_eng='NAFTIKO', street='ΔΕΙΝΟΚΡΑΤΟΥΣ', street_eng='None', heading=245, lat=37.9819598, long=23.7514876, order=3, stype=0, amea=0), Stop(code=60185, id=60185, descr='ΠΑΛΙΟ ΤΕΡΜΑ', descr_eng='PALIO TERMA', street='ΔΕΙΝΟΚΡΑΤΟΥΣ', street_eng='None', heading=248, lat=37.980846, long=23.749089, order=4, stype=0, amea=0), Stop(code=60186, id=60186, descr='ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ', descr_eng='EVAGGELISMOS', street='ΣΟΥΦΛΙΑΣ', street_eng='None', heading=214, lat=37.9799348, long=23.7486022, order=5, stype=0, amea=0), Stop(code=60187, id=60187, descr='ΗΜΑΡΑΞΕΙΟΣ', descr_eng='HMARASIOS', street='ΣΟΥΦΛΙΑΣ', street_eng='None', heading=256, lat=37.9794439, long=23.7464404, order=6, stype=0, amea=0), Stop(code=60188, id=60188, descr='ΠΛΟΥΤΑΡΧΟΥ', descr_eng='PLOUTARCHOU', street='ΠΑΤΡ. ΔΙΔΑΚΕΙΗ', street_eng='None', heading=256, lat=37.9785676, long=23.7456691, order=7, stype=0, amea=0), Stop(code=60189, id=60189, descr='ΛΟΥΚΙΑΝΟΥ', descr_eng='LOUKIANOU', street='ΠΑΤΡ. ΔΙΔΑΚΕΙΗ', street_eng='None', heading=256, lat=37.977949, long=23.7430524, order=8, stype=0, amea=0), Stop(code=60110, id=60110, descr='ΠΑ. ΚΟΛΟΝΑΚΙΟΥ', descr_eng='PATIA KOLONAKIOU', street='ΠΑ. ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ', street_eng='None', heading=258, lat=37.9773944, long=23.7408454, order=9, stype=0, amea=0), Stop(code=61048, id=61048, descr='ΣΥΝΤΑΓΜΑ', descr_eng='SYNTAGMA', street='ΑΕΘ. ΒΑΣ. ΣΟΦΙΑΣ', street_eng='None', heading=276, lat=37.975966, long=23.7387232, order=10, stype=0, amea=0), Stop(code=61000, id=61000, descr='ΑΚΑΔΗΜΙΑ', descr_eng='AKADHMIA', street='ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ', street_eng='None', heading=324, lat=37.9798734, long=23.7350991, order=11, stype=0, amea=0), Stop(code=60116, id=60116, descr='ΡΕΞ', descr_eng='REX', street='ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ', street_eng='None', heading=327, lat=37.980726, long=23.7310565, order=12, stype=0, amea=0), Stop(code=60118, id=60118, descr='ΠΑ. ΑΝΩΠΙΟΥ', descr_eng='PATIA ANOPIOU', street='ΣΤΡ. ΣΕΙΤΕΡΗΒΕΡΓΟΥ', street_eng='None', heading=8, lat=37.9858267, long=23.7285925, order=13, stype=0, amea=0), Stop(code=60065, id=60065, descr='ΠΑΤΗΣΙΩΝ', descr_eng='PATISION', street='ΗΡΕΙΠΟΥ', street_eng='None', heading=101, lat=37.9900899, long=23.73832, order=14, stype=0, amea=0), Stop(code=60066, id=60066, descr='ΑΙΓΥΠΤΟΥ', descr_eng='EGIPTOU', street='ΜΑΥΡΟΠΑΤΙΩΝ', street_eng='None', heading=12, lat=37.9918421, long=23.7322183, order=15, stype=0, amea=0), Stop(code=60550, id=60550, descr='ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΣ', descr_eng='PANELLINIOS', street='ΜΑΥΡΟΠΑΤΙΩΝ', street_eng='None', heading=14, lat=37.9941861, long=23.733133, order=16, stype=0, amea=0), Stop(code=60551, id=60551, descr='ΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ', descr_eng='EPTASTIMIOU', street='ΚΥΨΕΛΗΣ', street_eng='None', heading=54, lat=37.9961709, long=23.732559, order=17, stype=0, amea=0), Stop(code=60552, id=60552, descr='ΣΩΦΗΣ', descr_eng='SOFHS', street='ΚΥΨΕΛΗΣ', street_eng='None', heading=54, lat=37.9976955, long=23.7373941, order=18, stype=0, amea=0), Stop(code=60553, id=60553, descr='ΖΑΚΥΝΘΟΥ', descr_eng='ZAKYNTHOU', street='ΚΥΨΕΛΗΣ', street_eng='None', heading=47, lat=37.9994663, long=23.7389139, order=19, stype=0, amea=0), Stop(code=60554, id=60554, descr='ΣΚΥΡΟΥ', descr_eng='SKYROU', street='ΚΥΨΕΛΗΣ', street_eng='None', heading=47, lat=38.0010166, long=23.7406598, order=20, stype=0, amea=0), Stop(code=60555, id=60555, descr='ΤΕΡΜΑ 036', descr_eng='TERMA 036', street='ΠΑ. ΚΥΨΕΛΗΣ', street_eng='None', heading=47, lat=38.0023813, long=23.7420444, order=21, stype=0, amea=0), Stop(code=60556, id=60556, descr='ΠΙΛΟΤΙΝΟΥ', descr_eng='PILOTINOY', street='None', heading=112, lat=38.0020239, long=23.7437771, order=22, stype=0, amea=0), Stop(code=10186, id=10186, descr='ΠΑ. ΚΥΨΕΛΗΣ', descr_eng='PATIA KYPSELIS', street='None', heading=96, lat=38.0014215, long=23.7460445, order=23, stype=0, amea=0)
Stop(code=10215, id=49, descr='ΑΓΙΟΙ ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ', descr_eng='AGIOI ANARGYROI', street='None', street_eng='None', heading=183, lat=38.047621, long=23.734355, order=1, stype=0, amea=0), Stop(code=50077, id=50077, descr='ΠΑΙΔΙΚΗ ΧΑΡΑ', descr_eng='PAIDIKH CHARA', street='ΜΝΗΜΟΥΝΑΙΝΑΣ', street_eng='None', heading=202, lat=38.0456803, long=23.7336303, order=2, stype=0, amea=0), Stop(code=50078, id=50078, descr='ΑΓΙΩΝ ΗΥΡΟΦΟΡΩΝ', descr_eng='AGION HYROFORON', street='ΚΟΚΚΟΤΡΑΧΩ', street_eng='None', heading=24, lat=38.0441975, long=23.7341755, order=3, stype=0, amea=0), Stop(code=50079, id=50079, descr='ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ', descr_eng='PAPANDREOU', street='ΑΝΗΡΩΠΟΥ ΚΑΤΙΩΝΗ', street_eng='None', heading=187, lat=38.0403508, long=23.7332685, order=4, stype=0, amea=0), Stop(code=50080, id=50080, descr='ΒΡΥΟΥΛΩΝ', descr_eng='VRIOULON', street='ΑΝΗΡΩΠΟΥ ΚΑΤΙΩΝΗ', street_eng='None', heading=220, lat=38.0368673, long=23.7316221, order=5, stype=0, amea=0), Stop(code=50081, id=50081, descr='ΠΙΝΔΑΡΟΥ', descr_eng='PINDAROU', street='ΑΝΗΡΩΠΟΥ ΚΑΤΙΩΝΗ', street_eng='None', heading=230, lat=38.0358376, long=23.7306231, order=6, stype=0, amea=0), Stop(code=50092, id=50092, descr='ΑΓ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ', descr_eng='AGIOS NIKOLAOS', street='ΑΝΗΡΩΠΟΥ ΚΑΤΙΩΝΗ', street_eng='None', heading=198, lat=38.033645, long=23.7295486, order=7, stype=0, amea=0), Stop(code=50082, id=50082, descr='ΠΡΑΚΤΟΡΕΙΑ ΤΥΠΟΥ', descr_eng='PRAKTORIA TYPOU', street='ΑΝΗΡΩΠΟΥ ΚΑΤΙΩΝΗ', street_eng='None', heading=215, lat=38.0315159, long=23.7286449, order=8, stype=0, amea=0), Stop(code=50084, id=50084, descr='ΤΕΧΝΙΚΟ ΛΙΚΙΩ', descr_eng='TECHNIKO LIKIO', street='ΑΝΗΡΩΠΟΥ ΚΑΤΙΩΝΗ', street_eng='None', heading=202, lat=38.029422, long=23.7273764, order=9, stype=0, amea=0), Stop(code=50083, id=50083, descr='ΑΓΙΩΝ ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ', descr_eng='AGION ANARGYRON', street='ΑΝΗΡΩΠΟΥ ΚΑΤΙΩΝΗ', street_eng='None', heading=209, lat=38.0272566, long=23.7264615, order=10, stype=0, amea=0), Stop(code=680026, id=680026, descr='ΓΕΦΥΡΑ', descr_eng='GEFYRA', street='Κ. ΠΑΠΑΙΑ', street_eng='None', heading=193, lat=38.0238277, long=23.7249496, order=11, stype=0, amea=0), Stop(code=61156, id=61156, descr='ΠΑΛΑΙΟ ΕΡΜΑ', descr_eng='PALAIO ERMA', street='ΣΥΝΤΑΓΜΑ', street_eng='None', heading=112, lat=38.0218321, long=23.7269933, order=12, stype=0, amea=0), Stop(code=60909, id=60909, descr='ΑΓ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ', descr_eng='AG. ELEVTHRIOY', street='ΑΧΑΡΝΩΝ', street_eng='None', heading=202, lat=38.0192137, long=23.7287472, order=13, stype=0, amea=0), Stop(code=60910, id=60910, descr='ΠΑΝΑΓΙΩΝΟΥ', descr_eng='PANAGIΩNOY', street='ΑΧΑΡΝΩΝ', street_eng='None', heading=206, lat=38.0177432, long=23.7281602, order=14, stype=0, amea=0), Stop(code=61159, id=61159, descr='ΑΝΔΡΕΑΔΟΥ', descr_eng='ANDREAΔΟΥ', street='ΒΙΚΕΙΑ', street_eng='None', heading=286, lat=38.017044, long=23.7267438, order=15, stype=0, amea=0), Stop(code=60139, id=60139, descr='ΖΑΧΑΡΟΠΛΑΣΤΙΩ', descr_eng='ZACHAROPLASTIO', street='ΚΟΪΠΤΙΩΝ', street_eng='None', heading=221, lat=38.0168761, long=23.7234811, order=16, stype=0, amea=0), Stop(code=61196, id=61196, descr='ΣΧΟΛΕΙΑ', descr_eng='SCHOLEIA', street='ΚΟΪΠΤΙΩΝ', street_eng='None', heading=220, lat=38.0159278, long=23.7226203, order=17, stype=0, amea=0), Stop(code=60956, id=60956, descr='ΠΕΖΟΔΡΟΜΟΣ', descr_eng='PEZODROMOS', street='ΝΙΡΒΑΝΙΑ', street_eng='None', heading=94, lat=38.0147841, long=23.7262243, order=18, stype=0, amea=0), Stop(code=60912, id=60912, descr='ΓΕΦΥΡΑ', descr_eng='GEFYRA', street='ΑΧΑΡΝΩΝ', street_eng='None', heading=170, lat=38.0126968, long=23.7248464, order=19, stype=0, amea=0), Stop(code=60955, id=60955, descr='ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ', descr_eng='AG. DIMITRIOY', street='ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ', street_eng='None', heading=283, lat=38.0136944, long=23.7235133, order=20, stype=0, amea=0), Stop(code=60135, id=60135, descr='ΓΕΦΥΡΕΣ', descr_eng='GEFYRES', street='ΝΙΡΒΑΝΙΑ', street_eng='None', heading=84, lat=38.014825, long=23.721256, order=21, stype=0, amea=0), Stop(code=61169, id=61169, descr='ΣΧΟΛΕΙΑ', descr_eng='SCHOLEIA', street='ΚΟΪΠΤΙΩΝ', street_eng='None', heading=41, lat=38.0154229, long=23.7225254, order=22, stype=0, amea=0), Stop(code=60137, id=60137, descr='ΖΑΧΑΡΟΠΛΑΣΤΙΩ', descr_eng='ZACHAROPLASTIO', street='ΚΟΪΠΤΙΩΝ', street_eng='None', heading=40, lat=38.0167853, long=23.7236641, order=23, stype=0, amea=0), Stop(code=61155, id=61155, descr='ΑΝΔΡΕΑΔΟΥ', descr_eng='ANDREAΔΟΥ', street='ΒΙΚΕΙΑ', street_eng='None', heading=286, lat=38.0168163, long=23.7261989, order=24, stype=0, amea=0), Stop(code=60903, id=60903, descr='ΠΑΝΑΓΙΩΝΟΥ', descr_eng='PANAGIΩNOY', street='ΑΧΑΡΝΩΝ', street_eng='None', heading=35, lat=38.0379153, long=23.7227351, order=25, stype=0, amea=0), Stop(code=60906, id=60906, descr='ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ', descr_eng='PAPANDREOU', street='Α. ΚΑΤΙΩΝΗ', street_eng='None', heading=35, lat=38.0402073, long=23.7339461, order=26, stype=0, amea=0), Stop(code=350072, id=350072, descr='ΑΓ. ΗΥΡΟΦΟΡΩΝ', descr_eng='AG. HYROFORON', street='ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ', street_eng='None', heading=24, lat=38.0441795, long=23.7373655, order=27, stype=0, amea=0), Stop(code=350073, id=350073, descr='ΠΑΙΔΙΚΗ ΧΑΡΑ', descr_eng='PAIDIKH CHARA', street='ΜΝΗΜΟΥΝΑΙΝΑΣ', street_eng='None', heading=23, lat=38.0437322, long=23.7339831, order=28, stype=0, amea=0), Stop(code=10215, id=49, descr='ΑΓΙΟΙ ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ', descr_eng='AGIOI ANARGYROI', street='None', street_eng='None', heading=183, lat=38.047621, long=23.734355, order=29, stype=0, amea=0)

```

Εδώ φαίνονται οι στάσεις όπως προέκυψαν από τον παραπάνω κώδικα

Επεξεργασία Δεδομένων

Έχοντας πλέον όλες τις στάσεις, στην μορφή που περιγράψαμε παραπάνω, αρχίσαμε να χτίζουμε το μοντέλο του δικτύου μας. Από τις στάσεις, τις πήραμε μία-μία και από την πληθώρα των δεδομένων που υπήρχαν σε κάθε στάση, εξάγαμε το μοναδικό id (code) της καθώς επίσης και τις συντεταγμένες της. ΔΕΝ πήραμε το όνομα της στάσης ως μοναδικό id, καθώς:

- α. οι ελληνικοί χαρακτήρες δημιουργούσαν προβλήματα ως προς την ανάγνωση/εγγραφή των στάσεων και
- β. το όνομα μιας στάσης δεν είναι απαραίτητα μοναδικό. Το id, πάλι, είναι.

- ανάκτηση κατάλληλης πληροφορίας από επεξεργασία δεδομένων

Κρίσιμη Παραδοχή: Κατά την διαδικασία μοντελοποίησης του δικτύου, θεωρήσαμε ότι κάθε στάση, σε κάθε διαδρομή, συνδέεται με την επόμενη της. Αυτή η σύνδεση, επίσης, δεν λειτουργεί αμφίδρομα στο δικό μας μοντέλο. Με άλλα λόγια, αν συναντήσουμε τις στάσεις “Κυανούς Σταυρός” και “Σκρα”, τότε δημιουργούμε μία σύνδεση από την πρώτη στην δεύτερη, και όχι και από την δεύτερη στην πρώτη. Φυσικά, αν σε κάποια άλλη διαδρομή συναντήσουμε τις στάσεις σε αντίθετη σειρά, τότε δημιουργούμε και την σύνδεση “Σκρα” - “Κυανούς Σταυρός” αλλά αν και μόνο αν τις συναντήσουμε σε τέτοια σειρά. Αυτή η λεπτομέρεια είναι σημαντική, καθώς έτσι, ο γράφος ο οποίος δημιουργείται για να μοντελοποιήσει το δίκτυο, είναι κατευθυνόμενος.

Έχοντας όλες τις στάσεις (id, x, y συντεταγμένες), αποφασίσαμε να δημιουργήσουμε την εξής δομή:

Να δημιουργήσουμε ένα ζεύγος <κλειδιού-τιμής>, το οποίο από εδώ και στο εξής θα ονομάζουμε “λεξικό” (dictionary - [33]) στο οποίο:

* κλειδί θα είναι το id της εκάστοτε στάσης και

* τιμή του κλειδιού, θα είναι άλλο ένα τέτοιο λεξικό, όπου

^ κλειδί θα είναι το id της επόμενης στάσης και

^ τιμή αυτού, θα αποτελεί το κόστος μετάβασης από την μία στάση στην άλλη, το οποίο προκύπτει ως εξής:

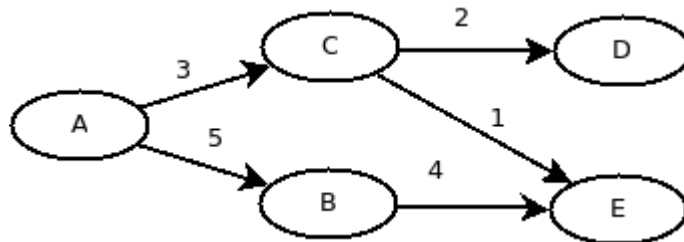
$$\text{sqrt}((x_{\text{stop}} - x_{\text{next_stop}})^2 + (y_{\text{stop}} - y_{\text{next_stop}})^2)$$

Σημείωση: Ο τρόπος υπολογισμός του κόστους, αντιστοιχεί στην γεωμετρική απόσταση των στάσεων και είναι ενδεικτικός. Δεδομένου ότι χτίζουμε το μοντέλο, θεωρήσαμε ως κόστος το παραπάνω. Φυσικά, αυτό μπορεί να αλλάξει εύκολα από τον χρήστη κατά το δοκούν, καθώς υπολογίζεται σε μία μόνο συνάρτηση όπως φαίνεται παρακάτω, και δεν επηρεάζει τον υπόλοιπο κώδικα.

Κώδικας 2: Υπολογισμός κόστους για χρησιμοποίηση στο Dijkstra

```
def get_cost(i, stops):
    current_lat = float(get_element(i, stops, elem=7))
    current_long = float(get_element(i, stops, elem=8))
    next_lat = float(get_element(i+1, stops, elem=7))
    next_long = float(get_element(i+1, stops, elem=8))
    cost = compute_cost(current_lat, current_long, next_lat, next_long)
    return cost
```

Η δομή για την οποία μιλάμε παραπάνω, έχει ως εξής:
Έστω το εξής απλοϊκό δίκτυο:



Σχήμα 17: Παράδειγμα εφαρμογής Dijkstra το οποίο ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία

όπου A, B, C, D, E οι στάσεις μας, και οι αριθμοί συμβολίζουν τα κόστη μετάβασης από μία στάση σε μία άλλη. Τότε, η δομή μας θα έχει την εξής μορφή:

{A: {C:3}, {B:5}}

B: {E:4}

C: {D:2}, {E:1} }

Αυτό, σημαίνει ότι για παράδειγμα η στάση A συνδέεται με δύο στάσεις, τις C και B, με κόστη 2 και 5, αντίστοιχα.

Επιλογή αλγορίθμου για ελάχιστη απόσταση

Υπάρχουν αρκετοί αλγόριθμοι για την εύρεση του ελάχιστου μονοπατιού μεταξύ των οποίων απλά BFS (Breadth First Search) **DFS** (Depth First Search), Dijkstra (**BFS** αλγόριθμος), [29] A* κοκ. Επιλέξαμε τον dijkstra καθώς είναι ελαφρύς και πολύ γρήγορος αν και δεν δουλεύει για αρνητικά κόστη κάτι το οποίο όμως σε αυτή την περίπτωση δεν μας αφορά.

Στο παραπάνω παράδειγμα (εικόνα 17) έχουμε τους κόμβους A,B,C,D,E με τα αντίστοιχα κόστη που φαίνονται στο σχήμα όπως περιγράφηκε παραπάνω (όπου μιλήσαμε για τη δομή του αλγορίθμου). Έχουμε λοιπόν τα εξής βήματα:

- Αρχικά ο αλγόριθμος ξεκινώντας από το A συγκρίνει ποια είναι η λιγότερο κοστολογούμενη, πιο “ελαφριά” διαδρομή . Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η πιο “ελαφριά” είναι η C και κρατάει το βάρος της ακμής που συμπληρώνεται πάνω από το νέο κόμβο (που είναι στη συγκεκριμένη περίπτωση 3)

- Σε αυτό το βήμα ο αλγόριθμος κάνει την ίδια διαδικασία με το βήμα 1 από τον κόμβο C συγκρίνει τις διαδρομές και επιλέγει την πιο ελαφριά (εδώ σε E) ελέγχοντας και το συνολικό βάρος από τις άλλες διαδρομές (δηλαδή συνολικό βάρος $A-C-E=4$, ενώ η $A-C-D = 5$)
- Εδώ συγκρίνονται οι διαδρομές όλες με όλες δηλαδή η A-B-E με την A-C-E και την A-C-D και επιλέγει ως μόνη επιλογή τον κόμβο E αφού οι άλλες έχουν βάρη 9 και 5 αντίστοιχα ενώ η $A-C-E=4$

Εφαρμογή του αλγορίθμου dijkstra

Για την εφαρμογή του αλγορίθμου, βρήκαμε από την κοινότητα κώδικα που τον υλοποιεί [34]. Δεδομένου ότι το γενικό πρόβλημα-αλγόριθμος είναι πλέον τετριμμένος στην βιβλιογραφία, φροντίσαμε να βρούμε μία καλή υλοποίησή του και να αλλάξουμε τα δεδομένα εισόδου. Προσαρμόσαμε επομένως τα δεδομένα μας πάνω στον τρόπο που ο συγκεκριμένος αλγόριθμος τα χρησιμοποιούσε. Έτσι, αναπτύξαμε την παραπάνω δομή ισοδύναμα ως εξής:

(A, C, 3)
 (A, B, 5)
 (B, E, 4)
 (C, D, 2)
 (C, E, 1)

και με αυτήν τη μορφή, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος dijkstra.

```

1 from collections import defaultdict
2 from heapq import *
3 import pdb
4
5 def dijkstra(edges, f, t):
6     g = defaultdict(list)
7     for l,r,c in edges:
8         g[l].append((c,r))
9
10    q, seen, mins = [(0,f,())], set(), {f: 0}
11    while q:
12        (cost,v1,path) = heappop(q)
13        if v1 not in seen:
14            seen.add(v1)
15            path = (v1, path)
16            if v1 == t: return (cost, path)
17
18            for c, v2 in g.get(v1, ()):
19                if v2 in seen: continue
20                prev = mins.get(v2, None)
21                next = cost + c
22                if prev is None or next < prev:
23                    mins[v2] = next
24                    heappush(q, (next, v2, path))
25
26    def get_stop_code(i, stops):
27        if stops:
28            stop_elems = stops[i].split(",")
29            return stop_elems[0].split("=")[-1]
30
31    def get_cost(i, stops):
32        current_lat = float(get_element(i, stops, elem=7))
33        current_long = float(get_element(i, stops, elem=8))
34        next_lat = float(get_element(i+1, stops, elem=7))
35        next_long = float(get_element(i+1, stops, elem=8))
36        cost = compute_cost(current_lat, current_long, next_lat, next_long)
37        return cost
38
39    def get_element(i, stops, elem):
40        if stops:
41            try:
42                stop_elems = stops[i].split(",")
43                return stop_elems[elem].split("=")[-1]
44            except:
45                # if anything goes wrong, just return a really big number
46                # (so as not to be useful in a dijkstra)
47                print("Error for elems!")
48                return 100000000
49
50    def compute_cost(curr_lat, curr_long, next_lat, next_long):
51        cost = ((curr_lat - next_lat)**2 + (curr_long - next_long)**2)**(0.5)
52        return cost
53

```

Κώδικας 3: Εδώ φαίνεται ο

αλγόριθμος Dijkstra όπως χρησιμοποιήθηκε με κόμβους τις στάσεις των λεωφορείων και κόστη αυτά που αναφέραμε παραπάνω.

4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αποτελέσματα της παραπάνω εργασίας χαρακτηρίζονται ως αρκετά ικανοποιητικά. Η κατασκευή αρχικά της βάσης του GIS έγινε με αρκετή ακρίβεια και συμπεριέλαβε σε μεγάλο βαθμό τα όσα περιέχουν τα GIS της βιβλιογραφίας και γενικά τα T-GIS. Η εφαρμογή του αλγορίθμου Dijkstra που γράφτηκε σε Python έδωσε επίσης καλά αποτελέσματα, αφού στις περισσότερες περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε διασταυρώθηκαν τα αποτελέσματα με την πραγματικότητα και μέσω του google maps , όμως οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν μπορούν να υποστούν αρκετές βελτιώσεις και διορθώσεις προκειμένου να γίνει η βάση που κατασκευάστηκε ένα πραγματικό GIS- T εργαλείο.

4.2 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΤ-GIS

Το gis που κατασκευάστηκε στην παραπάνω εργασία αποτελεί μια βάση που μπορεί να εξελιχθεί σε πολύτιμο εργαλείο για οποιονδήποτε συγκοινωνιακό σκοπό στο μέλλον. Όλα τα layers τα οποία περιέχει, αποτυπώνουν σε μεγάλο βαθμό τα όσα υπάρχουν πράγματι από συγκοινωνιακά στην Αθήνα και στις τοπικές μεταφορές, ενώ περιέχουν και πόλους για τις υπεραστικές μεταφορές της Αθήνας, όσον αφορά τα προϊόντα αλλά και το επιβατικό κοινό. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, περιέχει τα ΚΤΕΛ τα αεροδρόμια και το λιμάνι του Πειραιά όσον αφορά τις υπεραστικές μεταφορές, αλλά και όλες τις στάσεις του ΟΑΣΑ και τους δρόμους που συνθέτουν το οδικό δίκτυο.

Επομένως, μπορεί να γίνει η βάση για διάφορες αναλύσεις κυκλοφοριακής τεχνικής όπως αλλαγή στη σήμανση όπου πιθανών παρατηρείται συμφόρηση, στη σηματοδότηση όπου πιθανών υπάρχουν φόρτοι που δεν εξυπηρετούνται αλλά και εύκολη αλλαγή στις κατασκευές (π.χ. κυκλικοί κόμβοι αντί διασταυρώσεων και κατασκευή ανισόπεδων αντί ισόπεδων κόμβων σε σημεία όπου παρατηρείται παρανόηση). Με βάση τα shapefile που έχουν όνομα secondary μπορούν να εντοπιστούν τα διάφορα σημεία ενδιαφέροντος στις διάφορες περιοχές και μεγάλες οδούς της Αθήνας που αποτελούν και πιθανά σημεία εμπλοκής.

Επίσης με την εξαγωγή της παραπάνω Βάσης Δεδομένων σε web GIS με τη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική μπορεί να γίνει διαδραστικό με το χρήστη ο οποίος έχει τη δυνατότητα να διαλέξει τη συντομότερη διαδρομή μεταξύ των διαφόρων κόμβων στο εν λόγω GIS, ενώ με την προσθήκη κάποιων επιπλέον layers (π.χ. δρόμους Αθήνας για ποδήλατο, ή μεγάλους πεζοδρόμους για βόλτα) να γίνει βάση αρκετά φιλική

για καθημερινή χρήση. Με τη χρήση των εργαλείων pan, zoom και πιο εξελιγμένες λειτουργίες όπως αναγνώριση αντικειμένων που υπάρχουν στο web-gis δημιουργήθηκε μια απλή εύκολη στη χρήση εφαρμογή για την Αθήνα. Στο web GIS υπάρχουν επίσης διαθέσιμα data για την ακριβή θέση κάποιας οντότητας στο WGS84 σύμφωνα με τα διαθέσιμα δεδομένα στα οποία έχει "πατήσει" η βάση μας.

4.3 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ GIS

Η διαθέσιμη βάση που κατασκευάστηκε, για να έχει κατάλληλες επιδόσεις και επιτυχή διάρκεια στο χρόνο και για να είναι εύκολη η μετατροπή και η χρήση της ανάλογα με την περίπτωση, επιλέχθηκε να κατασκευαστεί με ένα εργαλείο το οποίο αποτελεί μέρος της κοινότητας του ελεύθερου λογισμικού και μπορεί κάποιος όχι μόνο να το προμηθευτεί δωρεάν αλλά και να βελτιώσει το ίδιο το λογισμικό το QGIS. Με χρήση διάφορων Plugins (openstreetmaps, QGIS2web) και εργαλείων κατασκευάστηκε η βάση για να είναι όσο πιο πλήρης, αλλά και εύκολη στην χρήση από τον χρήστη γίνεται.

4.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ Dijkstra

Για να διαπιστωθεί ότι οι γραμμικές οντότητες δουλεύουν και λειτουργούν πράγματι σαν δρόμοι αναπτύχθηκε η **εφαρμογή Dijkstra** στη βάση. Η εφαρμογή γράφτηκε σε Python 2.7 με τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στη μεθοδολογία. Διαπιστώθηκε ότι η βάση δούλεψε αρκετά ικανοποιητικά, αν και σε ορισμένα σημεία δεν αναγνωρίζεται καλά η συνέχεια του δρόμου και σταματάει, ή "στρίβει" τη διαδρομή που φτιάχνει σε άλλους προορισμούς χωρίς να ολοκληρώνεται. Αυτό συνέβη γιατί σε κάποιες περιπτώσεις οι δρόμοι δεν έχουν κατέβει σωστά σαν μια ενιαία οντότητα αλλά είναι κομμένοι σε κομμάτια με το ίδιο μεν όνομα, αλλά διαφορετικό id. Λάθη σαν και αυτά εντοπίστηκαν διορθώθηκαν άμεσα αλλά σε κάποιες περιπτώσεις πιθανόν να υπάρχει κάποιο τέτοιο πρόβλημα. Επίσης το κόστος που υπολογίζεται στον Dijkstra είναι αυθαίρετο, ενώ λόγω έλλειψης δεδομένων, δε λαμβάνεται υπόψη και η κίνηση στους δρόμους.

Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου από τις στάσεις με μοναδικό κωδικό προσδιορισμού (code) 10287 και 10285. (**σημείωση**: οι δύο αυτές στάσεις δεν είναι κοντά η μία με την άλλη απλά έχουν κοντινό κωδικό όνομα ενώ στην πραγματικότητα απέχουν αρκετά).

Με βάση την παραπάνω περιγραφή, το συνολικό κόστος για αυτή την διαδρομή είναι 0.10117545403315599

και οι στάσεις που πρέπει να περάσουμε για να καταλήξουμε εκεί, είναι διαδοχικά

'10285' <- '40040' <- '40116' <- '40112' <- '40115' <- '340058' <- '340057' <-
 '340056' <- '340055' <- '340049' <- '340048' <- '340047' <- '340046' <- '340044' <-
 '10348' <- '340099' <- '340034' <- '340033' <- '340032' <- '340107' <- '340027' <-
 '340026' <- '340025' <- '170022' <- '170016' <- '170051' <- '170049' <- '460021' <-
 '460019' <- '460025' <- '460024' <- '210026' <- '210025' <- '210024' <- '210023' <-
 '210022' <- '210021' <- '210020' <- '210019' <- '210018' <- '10287'

Επίσης εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος ξανά για διαφορετικές διαδρομές που είναι η 10284 και η 40901

Σύγκριση αποτελεσμάτων Dijkstra με googlemaps

Για την εξακρίβωση ότι ο Dijkstra είναι λειτουργικός και βγάζει πραγματικά αποτελέσματα σύμφωνα με τα όσα ισχύουν στην πραγματικότητα έγινε εξαγωγή της διαδρομής σε kml και σύγκριση με τις διαδρομές:



Σχήμα 17: Χάρτης σύγκρισης αποτελεσμάτων Dijkstra με διαδρομές google earth

(Agia Varvara - Omonoia)

Η διαδρομή που επέλεξε να ακολουθήσει ο αλγόριθμος που κατασκευάστηκε στην εργασία είναι αρκετά διαφορετικός και σαφώς πιο χρονοβόρος από ότι αυτός που προτείνει το google. Αυτό οφείλεται στο ότι στην παρούσα επίλυση του αλγορίθμου δεν συμπεριλαμβάνονται οι στάσεις του μετρό ενώ η προτεινόμενη διαδρομή του Google δείχνει την επιλογή του μετρό για πιο γρηγορή μετάβαση. Επίσης, στον αλγοριθμό μας δεν υπάρχει η επιλογή του να περπατήσει κανείς έστω και για λίγα λεπτά προκειμένου να μεταβεί σε κάποια στάση που θα βολεύει περισσότερο. Συνεπώς το αποτέλεσμα να μόν δείχνει την πιο σύντομη διαδρομή αλλά μόνο μεταξύ στάσεων λεωφορείου και τρόλεϊ και χωρίς κάποιος να περπατά έστω και ελάχιστα.



Σχήμα 18: Χάρτης σύγκρισης αποτελεσμάτων Dijkstra με διαδρομές google earth (Ippokratous - 8η Zografou)

Στο παραπάνω αποτέλεσμα παρατηρείται ότι ο αλγόριθμος που κατασκευάστηκε στην εργασία προτείνει ακριβώς την ίδια διαδρομή με αυτή που προτείνει το google. Αυτό συμβαίνει για την παρούσα διαδρομή διότι από τη στάση Ιπποκράτους περνάει λεωφορείο που οδηγεί κατευθείαν στη στάση 8η Ζωγράφου. Με την εφαρμογή λοιπόν που δημιουργήθηκε οι διαδρομές είναι οι ίδιες με τις προτεινόμενες. Το πρόβλημα λοιπόν που επιλύεται στην εργασία ταυτίζεται με τον τρόπο που επιλύεται στο google. Συγκεκριμένα με τη διαδρομή που διανύει το 608 μπορεί κάποιος να εξυπηρετηθεί για το εν λόγω παράδειγμα.



Σχήμα 19: Χάρτης σύγκρισης αποτελεσμάτων Dijkstra με διαδρομές google earth (Pl. Kanigoss- 8i Zografou)

Σε αντίστοιχο με το παραπάνω παράδειγμα (όπου κανείς μπορεί να εξυπηρετηθεί με μόνο ένα λεωφορείο) ο αλγόριθμος που έχουμε επιλύσει εμφανίζει διαφορετικό αποτέλεσμα. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ότι στη δική μας εφαρμογή ο αλγόριθμος διαλέγει μία- μία τις στάσεις στις οποίες θέλει να μεταβεί και βρίσκει τη συντομότερη διαδρομή μεταξύ της εκάστοτε στάσης που μπορούν να συνδεθούν. Συνεπώς προτιμά να “στείλει” τον επιβάτη σε άλλο δρομολόγιο και ας μην είναι πιο σύντομο για τον ίδιο προκειμένου να μεταβεί στον προορισμό, γιατί οι στάσεις κάπου στο δίκτυο είναι πιο κοντά από άλλο λεωφορείο από ότι στο να συνεχίσει με το ίδιο. Πιο αναλυτικά, αν και κάποιος θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μόνο το 608, ο Dijkstra τον “στέλνει” να αλλάξει λεωφορείο και να πάρει και το 230 για να φτάσει στον προορισμό του.



Σχήμα 19: Χάρτης σύγκρισης αποτελεσμάτων Dijkstra με διαδρομές google earth (Pl Kanigoss – Panelinios)

Στο παραπάνω παράδειγμα λόγω των όσων παρατέθηκαν παραπάνω (όχι περπάτημα, και εύρεση στάσεων κοντά η μία στην άλλη) έδωσε πολύ διαφορετικό και λανθασμένο αποτέλεσμα αφού όλη η διαδρομή που πρότεινε μπορεί να γίνει από διπλανή στάση σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα.

Συμπερασματα σύγκρισης αλγορίθμου με GoogleEarth

Συμπερασματικά, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του αλγορίθμου για τις διάφορες περιπτώσεις στις οποίες έτρεξε, διαπιστώθηκε ότι η επίλυση του προβλήματος εύρεσης του συντομότερου μονοπατιού δουλεύει σε όλες τις περιπτώσεις και γυρνάει αποτελέσματα παντού.

Από την άλλη όπως αποδείχτηκε παραπάνω λόγω του ότι δεν υπάρχει επιλογή στην επίλυση του αλγορίθμου για να μπορεί κάποιος να περπατήσει για την εύκολη μετάβαση σε κάποια στάση της διαδρομής τα αποτελέσματα που επιστρέφει είναι πολλές φορές διαφορετικά από την πιο σύντομη διαδρομή.

Αντίστοιχα, λόγω της έλλειψης στους γράφους των στάσεων του metro δεν δίνει την επιλογή για τη χρησιμοποίηση του μέσου. Αφαιρέθηκε λοιπόν ένα από τα βασικά μέσα τα οποία χρησιμοποιεί κανείς για τις καθημερινές μετακινήσεις στην πόλη. Άρα στα παραδείγματα που έχουμε όπως είναι λογικό, ειδικά όπου υπάρχει η επιλογή να χρησιμοποιηθεί το μετρό οι διαδρομές δεν είναι αυτές που χρησιμοποιούνται συχνά.

Όσον αφορά λοιπόν τις διαδρομές που δεν περιέχουν μετρό στις επιλογές στο

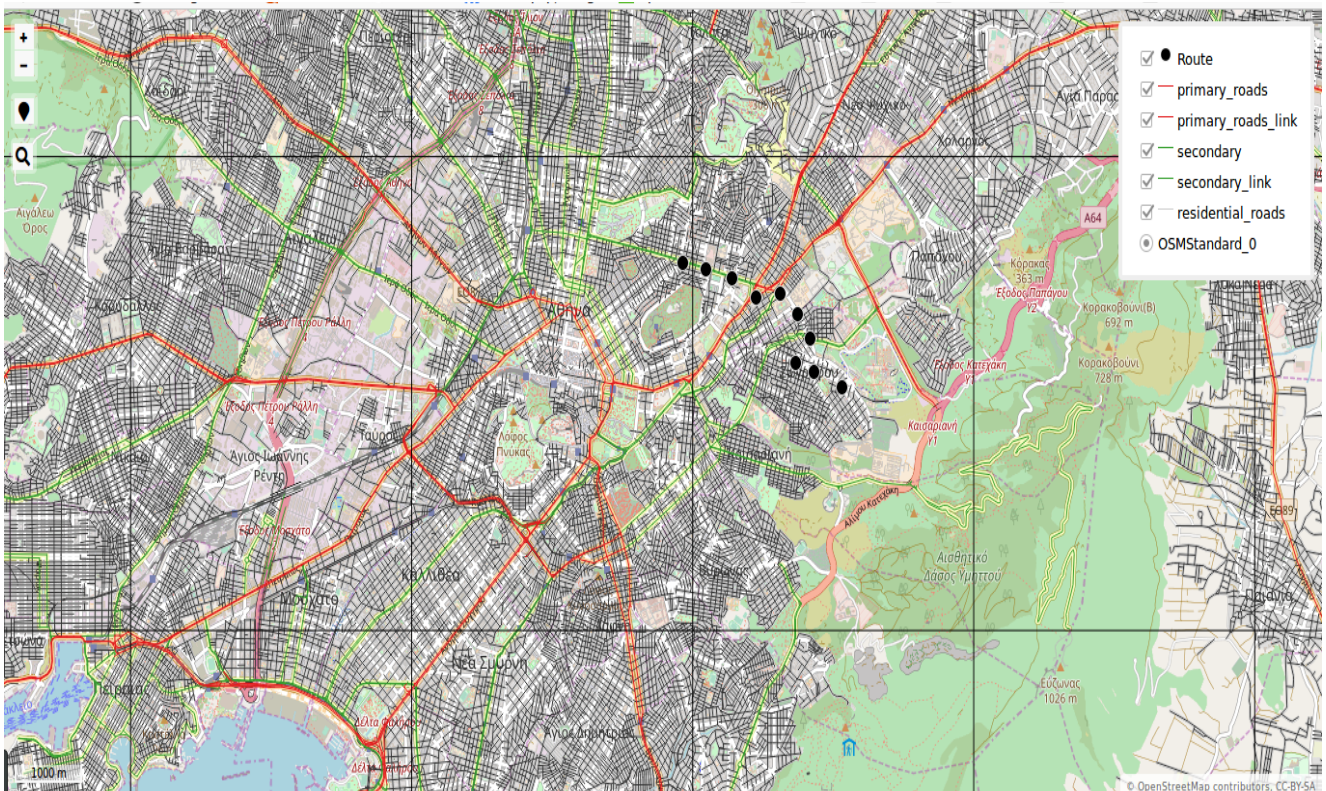
googlemaps γυρνάει αρκετές φορές αποτέλεσμα να μην σωστό αλλά όχι συντομότερης συνολικά διαδρομής αλλά συντομότερης διαδρομής στους επιμέρους γράφους του συστήματος.

Τα αποτελέσματα λοιπόν που γυρνάει είναι υπαρκτά και φαίνονται στα kml αρχεία που εμφανίστηκαν παραπάνω, και είναι αρκετά ικανοποιητικά για μια εφαρμογή σαν την παραπάνω.

Εξαγωγή αποτελεσμάτων Dijkstra στο web gis

Έχοντας λοιπόν το web gis που κατασκευάστηκε πριν επιλύσουμε τον αλγόριθμο του Dijkstra φορτώθηκε το αποτέλεσμα του αλγορίθμου στο Qgis και στη συνέχεια μέσω του εργαλείου QGIS2web εμφανίστηκαν σε κουκκίδες οι στάσεις του αποτελέσματος που εξάγαμε σε web map.

Το “plugin” κατασκευάζει σε javascript ένα αρχείο με κατάληξη index.html που μόλις ανοίγει εμφανίζει τη διαδρομή που υπολογίστηκε από τον αλγόριθμο Dijkstra στο αρχείο της ρυθμη που έχουμε δημιουργήσει. Όταν τρέχει λοιπόν το αρχείο dijkstran2.py εμφανίζει τα αρχεία .kml που χρησιμοποιούνται στις συγκρίσεις και δημιουργεί σε σημεία (points) το αποτύπωμα της διαδρομής που δημιουργείται



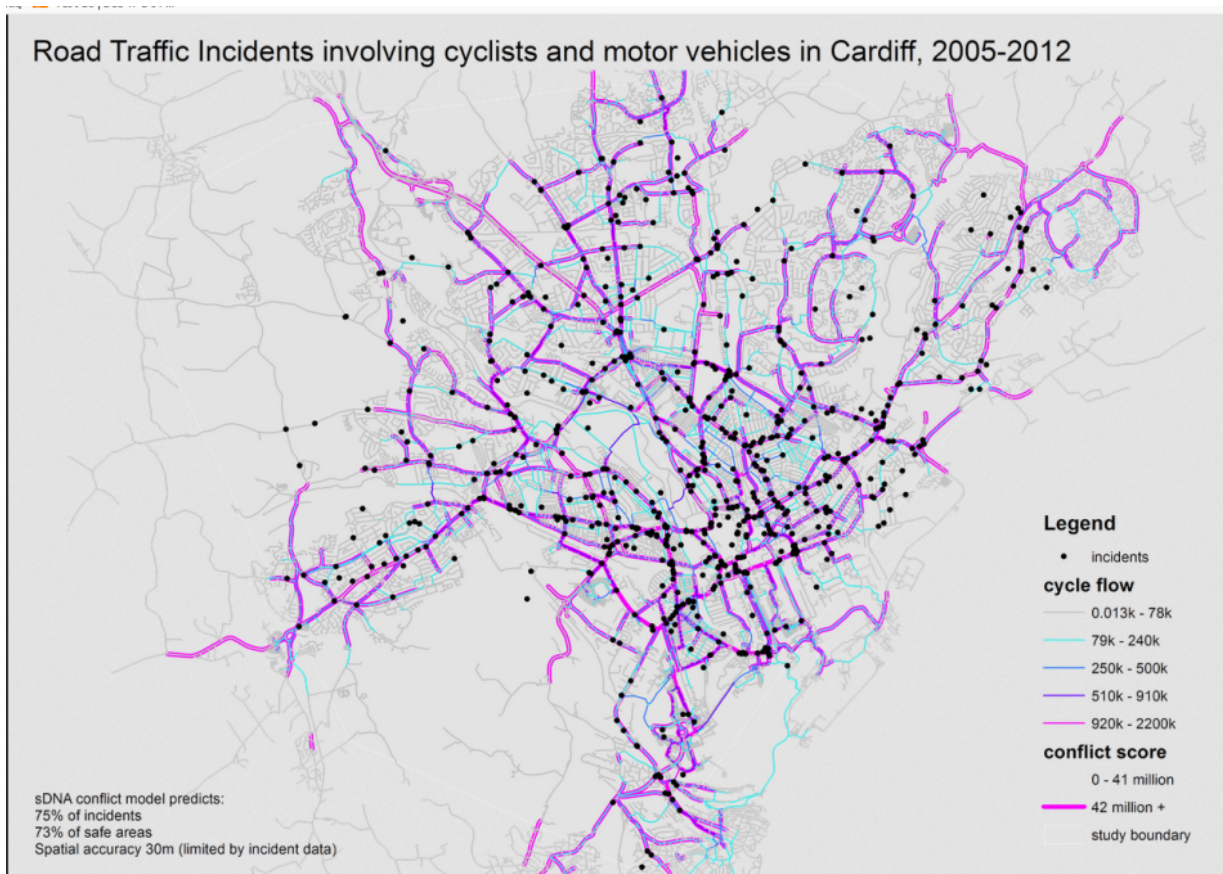
Εικόνα 20: Χάρτης web gis με το αποτέλεσμα του Dijkstra και φορτωμένο (openstreetmaps -WMS-)

4.5.ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ - ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ

Το κατασκευασμένο T-GIS αποτελεί μια βάση για περαιτέρω ανάπτυξη και λύση προβλημάτων κίνησης, μεταφορών στην Αθήνα. Κάποιες από τις πιθανές εφαρμογές που θα ήταν άμεσα εφαρμόσιμες και που έχουν εφαρμοστεί κατά καιρούς σε άλλες πόλεις του κόσμου με αντίστοιχα θέματα υπερπληθυσμού και κίνησης όπως η Αθήνα είναι οι εξής:

4.5.1 Κατασκευή Ζωνών Ελέγχου Κυκλοφορίας

Για παράδειγμα στο παρακάτω έργο επιχειρήθηκε η ανάπτυξη μιας αποτελεσματικής μεθόδου σχεδιασμού ζωνών ανάλυσης κυκλοφορίας (TAZ), η οποία είναι απαραίτητη για την εφαρμογή μιας διαδικασίας σχεδιασμού με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) για τις Μεταφορές (GIS-T), χρησιμοποιώντας στατιστικές αναλύσεις χωρικών δεδομένων με Τεχνολογία GIS. Οι κύριοι ρόλοι του GIS σε αυτή τη μέθοδο είναι: (1) η παραγωγή βασικών χωρικών μονάδων (BSU) με δομή τοπολογικών δεδομένων, (2) η ενσωμάτωση διάφορων διαδικασιών κατά τη διάρκεια της γενιάς TAZ συμπεριλαμβανομένων των ρουτινών προγραμμάτων υπολογιστών, και (3) η απεικόνιση της γενιάς TAZ. Ένας από τους σημαντικότερους λόγους για την επίτευξη σαφώς καθορισμένων TAZ είναι το γεγονός ότι αυτές ορίζονται στην αρχή της μοντελοποίησης της ζήτησης μεταφορών, που χρησιμοποιείται από την παραγωγή ταξιδιού έως την εκδρομή και τελικά θα επηρεάσει τις αποφάσεις της πολιτικής μεταφορών. Με τη λήψη σαφώς καθορισμένων TAZ, αυτό το έγγραφο επικεντρώνεται σε δύο σημαντικούς περιορισμούς: την ομοιογένεια και τη συνοχή. Χρησιμοποιείται η τεχνική της διαδοχικής κατανομής για την προώθηση της βέλτιστης ομοιογένειας των παραγόμενων TAZ, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται ένας αλγόριθμος ελέγχου συνέπειας για να εξασφαλιστεί ότι παράγονται συνεχείς TAZ με την τεχνική επαναληπτικής κατανομής.



Αντίστοιχα μιας και η βάση δεδομένων ταιριάζει σχεδόν απόλυτα στα δικά μας δεδομένα κάτι αντίστοιχο θα μπορούσε να εφαρμοστεί και στη δική μας περίπτωση εάν υπάρχουν τα αντίστοιχα διαθέσιμα δεδομένα με αυτά που παρουσιάστηκαν εδώ.

Επίσης όπως σε προηγούμενη εργασία της βιβλιογραφίας είχε επιχειρηθεί για το Λονδίνο η αξιολόγηση της κυκλοφοριακής κατάστασης με τα γενικά κόστη που χρησιμοποιήθηκαν για MMM, χρήση ποδηλάτου και ΙΧ, θα μπορούσε να συμβεί κάτι αντίστοιχο και με τους δρόμους της Αθήνας στο παραπάνω GIS. Η προσθήκη για παράδειγμα των layer για τους ποδηλατοδρόμους και οι αναλύσεις του κόστους μπορούν να συμβαίνουν αντίστοιχα και στη δική μας περίπτωση της Αθήνας.

Επίσης το GIS-T που κατασκευάστηκε παραπάνω αποτελεί επίσης μια βάση στην οποία μπορούν να χτιστούν διάφορα που να καταστήσουν την Αθήνα μια έξυπνη πόλη στα συγκοινωνιακά. Σε διάφορες πόλεις ανά τον κόσμο έχει παρατηρηθεί ότι η πρόσβαση στην απασχόληση έχει καταστεί πολύ δύσκολη με τα μέσα μαζικής μεταφοράς, ενώ ταυτόχρονα παραμένει και πολύ ακριβό το εισιτήριο της μετακίνησης με αποτέλεσμα κάποιες φορές να χάνονται ευκαιρίες για δουλειά κυρίως από πολίτες που κατοικούν σε

φτωχογειτονιές. Έχουν λοιπόν παρατηρηθεί περιστατικά όπου οι άνθρωποι δεν μπορούν να φτάσουν έγκαιρα στις δουλειές καθώς τα μέσα τα οποία χρησιμοποιούν είναι αναξιόπιστα και δεν μπορούν να εγγυηθούν την έγκαιρη προσέλευση. Με τα μέσα

λοιπόν που παρέχει ένα GIS-T μπορούν να φτιαχτούν οι διάφορες ζώνες από τις οποίες οι πολίτες δυσκολεύονται όλο και περισσότερο να φτάσουν στις δουλειές τους καθώς και να χρησιμοποιηθεί μια βάση δεδομένων διαδεδομένη σε όλους, όπου οι πολίτες θα δηλώνουν οι ίδιοι ποιό μέσο τους καθυστέρησε από το να φτάσουν έγκαιρα στη δουλειά τους. Μελέτες [25] σαν και αυτή έχουν χρησιμοποιηθεί στη Βόρεια Αγγλία, όπου αποφασίστηκε η δημιουργία μιας εν λόγω βάσης και η χρησιμοποίησή της από το υπουργείο μεταφορών το οποίο δεσμεύτηκε ότι:

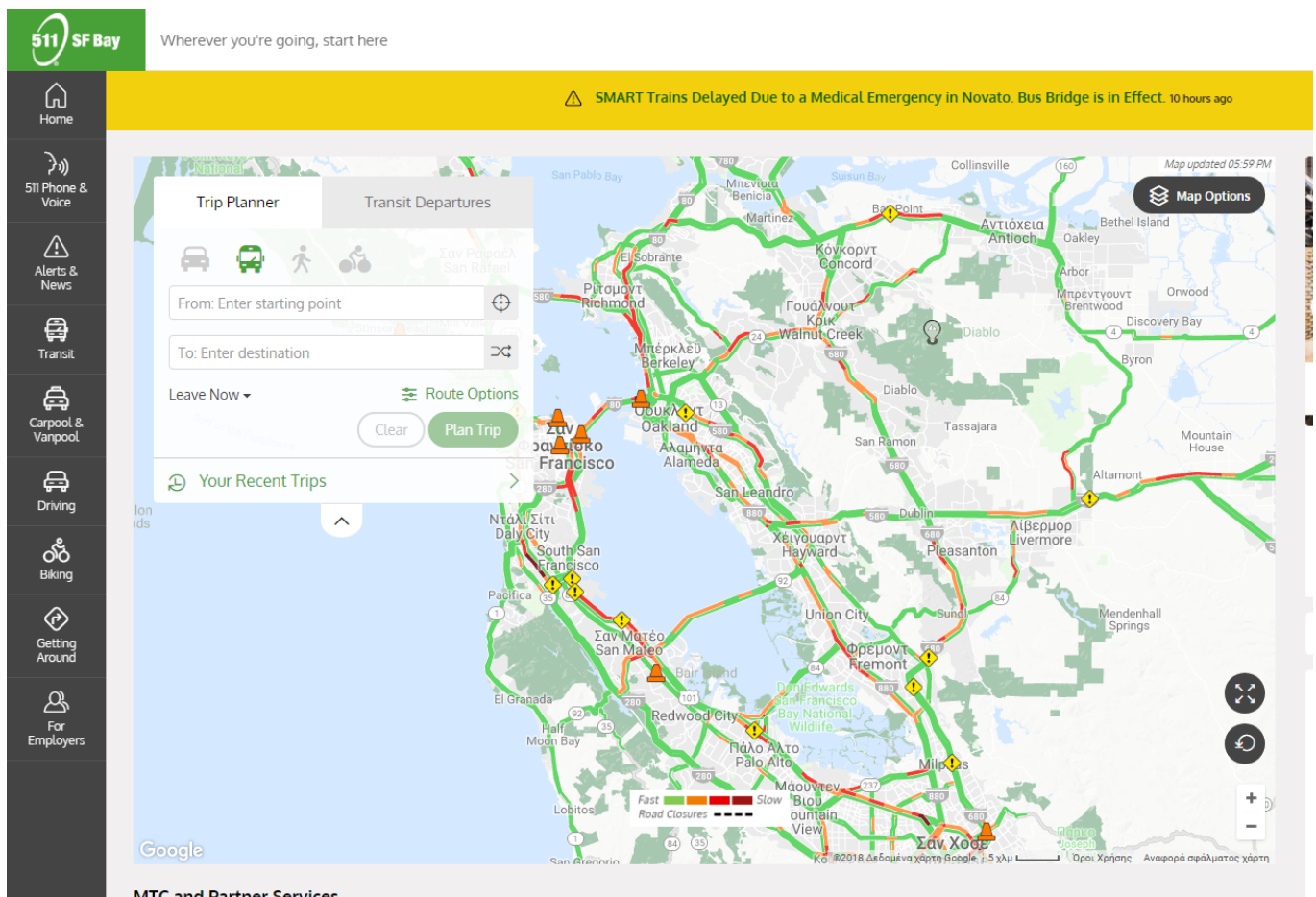
- Θα χρησιμοποιήσει καινούρια συστήματα για τη βελτίωση της πρόσβασης, τη μείωση της τιμής και της αξιοπιστίας των μεταφορών προκειμένου να διευκολυνθεί η πρόσβαση των ατόμων με χαμηλό εισόδημα.
- Οι διαδικασίες προγραμματισμού βελτιώνονται για να διασφαλιστεί ότι οι νέες εξελίξεις στον τομέα της στέγασης και της απασχόλησης εξυπηρετούνται ικανοποιητικά από τις δημόσιες συγκοινωνίες
- Οι πολιτικές για τις μεταφορές και την απασχόληση είναι καλύτερα ενσωματωμένες, επομένως οι πάροχοι υποστήριξης της απασχόλησης μπορούν να βοηθήσουν τους πελάτες να κατανοήσουν τις διαθέσιμες επιλογές ταξιδιών.

Αντίστοιχα στην Αθήνα εάν το παραπάνω GIS φιλοξενούνταν σε ένα server και ήταν διαθέσιμο σε εφαρμογή σε χρήστες ανά την Αθήνα θα μπορούσαν να αναφέρονται τα διάφορα προβλήματα όπως το παραπάνω και να δίνεται λύση από τον αρμόδιο φορέα. Ακόμα οι ενδιαφερόμενοι θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιήσουν τη βάση δεδομένων προκειμένου να δηλώσουν απλώς τη διαδρομή που κάνουν ως τη δουλειά τους και αναλόγως με την ώρα την οποία φτάνουν να αξιολογούνται τα μέσα τα οποία χρησιμοποίησαν και κατά πόσο θέλουν αύξηση ή μείωση συχνότητας. Να δημιουργηθεί λοιπόν με δύο λόγια μια έξυπνη πόλη στον τομέα των μεταφορών.

4.5.2. Κατασκευή του Αττικού 511.org [8]

Μία άλλη εφαρμογή που θα μπορούσε να κατασκευαστεί στην παραπάνω βάση είναι η δημιουργία του Ελληνικού (Αθηναϊκού) 511.org. Ο αριθμός 511 είναι ο αριθμός έκτακτης ανάγκης που έχουν στην Αμερική για θέματα της τροχαίας του δρόμου, ατυχήματα στα ΜΜΜ κ.λπ. Έχει λοιπόν κατασκευαστεί ένα web gis με φορτωμένη σαν υπόβαθρο τη βάση και τα δεδομένα του googlemaps που φιλοξενείται στο site 511.org [8] και στο οποίο υπάρχουν περασμένα όλα τα ατυχήματα, δυσκολίες, έργα κ.λπ. που αφορούν την περιοχή του Σαν Φρανσίσκο. Μπορεί λοιπόν κανείς εκεί να βρει πληροφορίες για όλα τα προβλήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω καθώς και διάφορα άλλα όπως απεργίες, παρελάσεις, φράξιμο δρόμου λόγω έργων που εκτελούνται στους δρόμους και οτιδήποτε θα μπορούσε να εμποδίσει τη διαδρομή που θέλει να κάνει, αλλά ταυτόχρονα λειτουργεί και όπως το google maps (βρίσκοντας την καταλληλότερη διαδρομή μεταξύ των δύο κόμβων όπου θα ήθελε κανείς να μεταβεί χωρίς να εμποδιστεί από οτιδήποτε). Το site αυτό ανανεώνεται αυτόματα κάθε λίγα δευτερόλεπτα και περιέχει κάθε είδους πληροφορίες που απευθύνονται σε

οποιοδήποτε θέλει να μετακινηθεί στον όρμο του Σαν Φρανσίσκο. Υπάρχουν λοιπόν επιλογές για car pooling, για μέρη όπου επιτρέπεται η χρήση ποδηλάτου καθώς και αντίστοιχες διαδρομές που κάποιος μπορεί να ακολουθήσει. Τέλος, παρέχει χοντρικά και δεδομένα για την κίνηση που συναντά κανείς στους δρόμους (όπως το ίδιο συμβαίνει και στο googlemaps) στις αντίστοιχες ώρες. Η τρέχουσα περιοχή κυκλοφορίας συγχωνεύει τέσσερις ξεχωριστές υπηρεσίες σε πραγματικό χρόνο για την παροχή πληροφοριών στο κοινό: ταχύτητες κυκλοφορίας από ενσωματωμένους ανιχνευτές βρόχων, ροή βίντεο από κάμερες CCTV, πληροφορίες συμβάντων από την Περιπολία Αυτοκινητοδρόμων της Καλιφόρνιας και τρέχουσα κατασκευαστική δραστηριότητα από το Υπουργείο Μεταφορών της Καλιφόρνιας, όλα οργανωμένα και παρουσιαζόμενα μέσω του GIS. Στην πραγματικότητα, όλες οι πληροφορίες από τις διάφορες επιλογές μοντέλων διαχειρίζονται από το ΓΣΠ στο παρασκήνιο, συμπεριλαμβανομένων των πληροφοριών στάσης, διαδρομής και ναύλων από πάνω από 50 διαφορετικούς παρόχους δημόσιων μεταφορών.



Εικόνα 22 : εικόνα από το 511.org [8]

Στη δική μας εφαρμογή κάτι αντίστοιχο θα ήταν εφικτό εάν φιλοξενούσαμε το αντίστοιχο δικό μας GIS σε κάποιο "server" προσπαθώντας αρχικά να προσθέσουμε οποιαδήποτε πληροφορία έχουμε εμείς

διαθέσιμη (δηλαδή όλα όσα αποτελούν την τωρινή βάση μας) αλλά και αρκετή επιπλέον πληροφορία όπως:

1. Στοιχεία για την κίνηση στους δρόμους της Αθήνας. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να μετρηθούν με μετρητές κυκλοφορίας τοποθετημένους ανά κάποια μέτρα στους δρόμους ή με άλλες μεθόδους συλλογής όπως η εξαγωγή κίνησης μέσω ανίχνευση σε κάμερα. Διαφορετικά, όπως και στο παραπάνω παράδειγμα τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται (αγοράζονται) κατευθείαν από τη google η οποία συνήθως έχει πρόσβαση σε αυτά.
2. Δεδομένα για τους ποδηλατοδρόμους της Αθήνας και στοιχεία για την ασφάλεια τους
3. Πληροφορία μέσω εγγραφών σε εφαρμογές carpooling [26] προκειμένου να υπάρχει αντίστοιχη δυνατότητα στο δικό μας site όπως υπάρχει και στο 511 για το Σαν Φρανσίσκο.
4. Παροχή υπηρεσιών και πληροφοριών στους χρήστες του ιστοχώρου όπως υπάρχει και στη περίπτωση του "511" για στοιχεία που αφορούν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (τηλέφωνα κ.λπ.)
5. Πληροφορία για τους εργοδότες και διάφορα στοιχεία, έρευνες αλλά και προγράμματα που αφορούν αυτούς και τους εργαζόμενους τους.
6. Στοιχεία για τη διαθεσιμότητα στάθμευσης στις περιοχές αναλόγως
7. Δεδομένα από παρόχους δημοσίων συγκοινωνιών όπως στην αντίστοιχη εφαρμογή

Εκτός από τα επιπλέον δεδομένα που αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν παραπάνω ότι θα χρειαστούν, μεγάλη έμφαση θα έπρεπε να δοθεί και στον αλγόριθμο εύρεσης της συντομότερης διαδρομής που θα έπρεπε να χρησιμοποιεί ένα τόσο φιλόδοξο "project". Στο συγκεκριμένο εφαρμοσμένο πρότυπο στο 511 χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι και τα δεδομένα της google που είναι ομολογουμένως τα πλέον αξιόπιστα και ευρέως χρησιμοποιούμενα στη σύγχρονη Ελλάδα. Αν όμως δεν υπάρχει πρόσβαση στα εν λόγω δεδομένα θα πρέπει να κατασκευαστεί αλγόριθμος εύρεσης καλύτερης διαδρομής προκειμένου να είναι το ίδιο λειτουργικό με το ξένο. Είναι λοιπόν απαραίτητο να δοθεί η πρέπουσα προσοχή στο τι είδους αλγόριθμος θα χρησιμοποιηθεί. Κάποιες προτάσεις είναι οι παρακάτω:

- Αλγόριθμος Dijkstra με παραλλαγές για να λαμβάνει υπόψη την κίνηση που επικρατεί στους δρόμους (με την προϋπόθεση ότι θα έχουμε δεδομένα για την κίνηση και τον αριθμό των ενδιαφερόμενων αυτοκινήτων)
- Αλγόριθμος A* [27] και αυτός με διαφορές για να λαμβάνει υπόψη την κίνηση στους δρόμους και τα διάφορα που μπορεί να εμποδίζουν την πρόσβαση.

4.5.3 χρήσιμες παρατηρήσεις και μελλοντική δουλειά στον Αλγόριθμο Dijkstra

Στην παραπάνω εφαρμογή του Dijkstra διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από εφαρμογές που μπορεί κανείς να κάνει για την Αθήνα πάνω στα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν και οπτικοποιήθηκαν στην εν λόγω διπλωματική εργασία. Εκτός από την παρούσα εφαρμογή του Dijkstra που χρησιμοποιήθηκε μπορεί επίσης να εφαρμοστεί και κάποιος άλλος από τους αλγορίθμους (π.χ. A*) αν προσαρμόσει κάποιος σωστά τη δομή στους αλγορίθμους αυτούς. Για παράδειγμα ο αλγόριθμος του

Dijkstra, έχει εφαρμογή σε μεγάλο εύρος εργαλείων ενώ ακόμα και στα συγκοινωνιακά υπάρχουν πολλές εκδοχές που ποικίλουν ανάλογα με την επιλογή του κόστους, τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται και τη μορφή που θα έχουν οι εκάστοτε κόμβοι του. Αντίστοιχα θα μπορούσε να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος A*

Παρακάτω αναφέρουμε κάποια από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία και πως αυτά θα μπορούσαν να αποτελέσουν συμπεράσματα και γεγονότα στα οποία θα μπορούσαν να βασιστούν διάφορες άλλες εφαρμογές, για την βελτίωση ή την αλλαγή του δικτύου του ΟΑΣΑ από τα υπάρχοντα δεδομένα που είχαμε διαθέσιμα.

Χρήσιμη παρατήρηση: το 13,3% των στάσεων του ΟΑΣΑ, έχουν τουλάχιστον δύο διαφορετικές στάσεις από τις οποίες διέρχονται διαδρομές.

Κάνοντας κάποιες δοκιμές για να διαπιστωθεί η ορθότητα των δεδομένων που όπως περιγράφηκε και παραπάνω χρειαζόταν επεξεργασία, άλλα και για ακαδημαϊκούς σκοπούς γράφτηκε κώδικας για το πόσες στάσεις είχαν πάνω από μια διαδρομές να καταλήγουν σε αυτές. Δηλαδή σε πόσες στάσεις εμφανιζόντουσαν λεωφορεία τα οποία δεν υπήρχαν στις προηγούμενες στάσεις από όπου περνούσε κάποιο λεωφορείο. Για να γίνει κατανοητό αυτό που περιγράφω παραπάνω θα παραθέσω το εξής παράδειγμα:

Στον αλγόριθμο έγινε ερώτηση για το κατά πόσο εμφανίζονται διαδρομές που δεν υπήρχαν νωρίτερα στις στάσεις αυτές. Για παράδειγμα στη στάση Κοτοπούλη στη Ζωγράφου διέρχονται τα λεωφορεία 235 και 608. Ενώ το 608 προέρχεται από τη στάση 6η Ζωγράφου το 235 προέρχεται από τη στάση 8η Ζωγράφου.

Από το ποσοστό αυτό λοιπόν συμπεραίνουμε ότι στο δίκτυο των λεωφορείων του ΟΑΣΑ στην Αθήνα δεν υπάρχει συμφόρηση τουλάχιστον σε ότι αφορά τα λεωφορεία εξυπηρετούν τον κόσμο χωρίς να “μπλέκονται” το ένα με το άλλο ιδιαίτερα συχνά.

Από περαιτέρω εξέταση διαπιστώθηκε επίσης ότι μόλις το 13,1 του παραπάνω ποσοστού λαμβάνει επιπλέον λεωφορεία δηλαδή από 3 και πάνω. Με διάφορες λοιπόν τέτοιες αναλύσεις που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στα παραπάνω έτοιμα δεδομένα όπως παρουσιάστηκαν σε αυτή την εργασία μπορεί κάποιος εύκολα να οδηγηθεί σε τέτοιου είδους συμπεράσματα για τη βελτίωση του δικτύου ή τη διατήρησή του ως έχει.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΩΔΙΚΩΝ ΣΕ ΡΥΤΗΟΝ

```
import telematics

# first of all, we need to get the lines.
lines = telematics.webGetLines()

# then, we get the routes of the lines.
routes = []
for l in lines:
    # l[0] is the key based on which we find the routes
    routes.append(telematics.webGetRoutes(l[0]))
    print("another line has been printed", l[0])

    with open('routes.txt', 'w') as f:
        for r in routes:
            f.write(str(r[0]))
            f.write("\n")

# then, we can safely extract the stops each route has.
stops = []
for r in routes:
    if r:
        stops.append(telematics.webGetStops(r[1][0]))
        print("r now is ", r[1][0])
        with open('all_stops.csv', 'a') as f:
            for s in stops:
                print("another stop has been printed", s[0])
                f.write("%s\n" % s)
# finally, we create a new list of dictionaries. Key of each dictionary
# is a stop and the values, are the stops with which the specific stop
# connects.
```

```
import telematics

lines = telematics.webGetLines()
```

```

# get the routes from OASA API
routes = []
for l in lines:
    routes.append(telematics.webGetRoutes(l[0]))
with open('routes.txt', 'w') as f:
    for r in routes:
        f.write(str(r[0]))
        f.write("\n")

# Step 2: Take the route ids
route_code = []

for r in routes:
    r = r.split(",")
    rc = r[0].split("=")[-1]
    route_code.append(rc)

# Step 4: Take all stops
stops = []

for rc in route_code:
    try:
        x = telematics.webGetStops(rc)
        stops.append(x)

# data analysis: compute percentage of more than one ascendants
counter = 0
big_counter = 0
for entry in adjacency_matrix:
    if len(adjacency_matrix[entry]) > 1:
        if len(adjacency_matrix[entry]) > 2:
            big_counter += 1
        counter += 1

total_sum = counter / len(adjacency_matrix)
print("total sum is ", total_sum)

sum_2 = big_counter / counter
print("more than 2 stops to more than 1 stops are ", sum_2)
print("=== Dijkstra ===")
dijkstra_path = ""
print ("10287 -> 10285:")
dijkstra_path = dijkstra(edges, "10287", "10285")
print ("10349 -> 10409:")
dijkstra_path = dijkstra(edges, "10349", "10409")
print(dijkstra_path)

from collections import defaultdict
from heapq import *
import pdb

```

```

def dijkstra(edges, f, t):
    g = defaultdict(list)
    for l,r,c in edges:
        g[l].append((c,r))

    q, seen, mins = [(0,f,())], set(), {f: 0}
    while q:
        (cost,v1,path) = heappop(q)
        if v1 not in seen:
            seen.add(v1)
            path = (v1, path)
            if v1 == t: return (cost, path)

            for c, v2 in g.get(v1, ()):
                if v2 in seen: continue
                prev = mins.get(v2, None)
                next = cost + c
                if prev is None or next < prev:
                    mins[v2] = next
                    heappush(q, (next, v2, path))

def get_stop_code(i, stops):
    if stops:
        stop_elems = stops[i].split(",")
        return stop_elems[0].split("=")[-1]

def get_cost(i, stops):
    current_lat = float(get_element(i, stops, elem=7))
    current_long = float(get_element(i, stops, elem=8))
    next_lat = float(get_element(i+1, stops, elem=7))
    next_long = float(get_element(i+1, stops, elem=8))
    cost = compute_cost(current_lat, current_long, next_lat, next_long)
    return cost

def get_element(i, stops, elem):
    if stops:
        try:
            stop_elems = stops[i].split(",")
            return stop_elems[elem].split("=")[-1]
        except:
            # if anything goes wrong, just return a really big number
            # (so as not to be useful in a dijkstra)
            print("Error for elems!")
            return 100000000

def compute_cost(curr_lat, curr_long, next_lat, next_long):
    cost = ((curr_lat - next_lat)**2 + (curr_long - next_long)**2)**(0.5)
    return cost

if __name__ == "__main__":
    with open('stops.txt', 'r') as f:

```



```

    routes = f.readlines()

stops = []
for r in routes:
    stops.extend(r.split("Stop("))

edges = []
for i in range(1, len(stops)-1):
    stop_code = get_stop_code(i, stops)
    next_code = get_stop_code(i+1, stops)
    cost = get_cost(i, stops)
    edges.append((stop_code, next_code, cost))

    print("=== Dijkstra ===")
    dijkstra_path = "
    print ("10349 -> 10409:")
    dijkstra_path = dijkstra(edges, "10349", "10409")
    print(dijkstra_path)

import telematics
import pdb

lines = telematics.webGetLines()

routes = []

with open('routes.txt', 'r') as f:
    x = f.readlines()
    for i in x:
        routes.append(i)

# routes now contain all downloaded data
line_code = []
for r in routes:
    r = r.split(",")
    lc = r[0].split("=")[-1]
    line_code.append(lc)

# now collect the stops
stops = []

i = 0
pdb.set_trace()
#for i in range(0, 217):
# TODO route_code not line code
for lc in line_code:
    try:
        x = telematics.webGetStops(lc)
        print(i)
        i = i + 1
        stops.append(telematics.webGetStops(lc))
    except:

```

```

        continue

print("we 're good!")
pdb.set_trace()

with open('stops.txt', 'w') as f:
    for s in stops:
        f.write(str(s))
        f.write("\n")

import string

path = "('10409', ('60299', ('60298', ('60297', ('60296', ('60372', ('61083', ('450010', ('240099',
('240061', ('10433', ('240069', ('240068', ('240067', ('240066', ('240065', ('340084', ('340017',
('340016', ('340103', ('340108', ('340070', ('340069', ('380072', ('380071', ('380070', ('380069',
('380013', ('380012', ('380011', ('380010', ('380102', ('380101', ('380100', ('380099', ('380098',
('40087', ('40086', ('40085', ('10349', ())))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))"

# convert the path to a python list and write it to a file.
chars_to_remove = ['\n', '(', ')']
for c in chars_to_remove:
    path = path.replace(c, "")

# now create a list of the stops
path = path.replace(' ', '')
stops = path.split(',')

# finally write it to a file
with open('stops.csv', 'w') as f:
    for s in stops:
        f.write(s)
        f.write("\n")

print(stops)

import string

path = "('10409', ('60299', ('60298', ('60297', ('60296', ('60372', ('61083', ('450010', ('240099',
('240061', ('10433', ('240069', ('240068', ('240067', ('240066', ('240065', ('340084', ('340017',
('340016', ('340103', ('340108', ('340070', ('340069', ('380072', ('380071', ('380070', ('380069',
('380013', ('380012', ('380011', ('380010', ('380102', ('380101', ('380100', ('380099', ('380098',
('40087', ('40086', ('40085', ('10349', ())))))))))))))))))))))))))))))))))))))))))"

# convert the path to a python list and write it to a file.
chars_to_remove = ['\n', '(', ')']
for c in chars_to_remove:
    path = path.replace(c, "")

# now create a list of the stops
path = path.replace(' ', '')
stops = path.split(',')

```

```
# finally write it to a file
with open('stops.csv', 'w') as f:
    for s in stops:
        f.write(s)
        f.write('\n')

print(stops)
```


ΑΝΑΦΟΡΕΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Geographical Information System in Transportation Planning - GeospatialWorld. (2009). Geospatial World. Retrieved 12 August 2018, from <https://www.geospatialworld.net/article/geographical-information-system-in-transportation-planning/>

[2] GEOG 497C - GIS for Transportation: Principles, Data and Applications | GEOG 497C: Transportation GIS. (2018). E-education.psu.edu. Retrieved 12 August 2018, from <https://www.e-education.psu.edu/geog497c/node/508>

[3] (2018). Pdfs.semanticscholar.org. Retrieved 12 August 2018, from <https://pdfs.semanticscholar.org/f80d/1cc64b37bee0faf97ce8a9cf879c99f2d0d3.pdf>

[4] Intelligent transportation system. (2018). En.wikipedia.org. Retrieved 12 August 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Intelligent_transportation_system

[5] What is smart city? - Definition from WhatIs.com. (2018). IoT Agenda. Retrieved 12 August 2018, from <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-city>

[6] Research Guides: Mapping and Geographic Information Systems (GIS): What is GIS?.(2018). Researchguides.library.wisc.edu. Retrieved 12 August 2018, from <https://researchguides.library.wisc.edu/GIS>

[7] (2018). Mobility.tamu.edu. Retrieved 12 August 2018, from <https://mobility.tamu.edu/mip/strategies-pdfs/traffic-management/executive-summary/traveler-information-systems-1-pg.pdf>

[8] (2018). 511.org. Retrieved 12 August 2018, from <https://511.org/>

[9] (2018). Eltis.org. Retrieved 12 August 2018, from http://www.eltis.org/sites/default/files/sump_conference_2017_b4_1_balaguer.pdf

[10] Intelligent Traffic Systems - Stratos. (2018). Siemens.co.uk. Retrieved 12 August 2018, from <https://www.siemens.co.uk/traffic/en/index/productssolutionservices/systems/traffic-management-system-stratos.htm>

[11] (2018). Kapsch.net. Retrieved 12 August 2018, from https://www.kapsch.net/ktc/ir/Download-Center/download/Presentations/Investor/2017-18/KTC_Investor-Presentation_2017-11.pdf?lang=en-US

- [12] Cheaper Sensors Will Fuel The Age Of Smart Everything. (2018). TechCrunch. Retrieved 12 August 2018, from <https://techcrunch.com/2015/03/10/cheaper-sensors-will-fuel-the-age-of-smart-everything/?guccounter=1>
- [13] (2018). Onlinepubs.trb.org. Retrieved 12 August 2018, from http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/futureinterstate/PanelonInterstateOperationsandManagement/3_NozzariSean.pdf
- [14] Advanced driver-assistance systems. (2018). En.wikipedia.org. Retrieved 12 August 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_driver-assistance_systems
- [15] An Introduction to LIDAR: The Key Self-Driving Car Sensor. (2017). Voyage. Retrieved 12 August 2018, from <https://news.voyage.auto/an-introduction-to-lidar-the-key-self-driving-car-sensor-a7e405590cff>
- [16] ASSET MANAGEMENT: Better reporting. (2018). Roads & Bridges. Retrieved 12 August 2018, from <https://www.roadsbridges.com/asset-management-better-reporting>
- [17] rambaldi, g. (2018). PPGIS.net | Open Forum on Participatory Geographic Information Systems and Technologies. Ppgis.net. Retrieved 12 August 2018, from <http://www.ppgis.net/>
- [18] Geographical Information System in Transportation Planning - Geospatial World. (2009). Geospatial World. Retrieved 12 August 2018, from <https://www.geospatialworld.net/article/geographical-information-system-in-transportation-planning/>
- [19] Introduction to local land information systems for Wisconsin's future. (2018). Google Books. Retrieved 12 August 2018, from <https://books.google.gr/books?id=k4hjAAAAMAAJ&q=inauthor:%22AI>
- [20] Geographical Information System in Transportation Planning - Geospatial World. (2009). Geospatial World. Retrieved 12 August 2018, from <https://www.geospatialworld.net/article/geographical-information-system-in-transportation-planning/>
- [21] Dynamic segmentation—Help | ArcGIS for Desktop. (2018). Desktop.arcgis.com. Retrieved 12 August 2018, from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/linear-referencing/dynamic-segmentation.htm>
- [22] What is linear referencing?—Help | ArcGIS for Desktop. (2018). Desktop.arcgis.com. Retrieved

12 August 2018, from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/linear-referencing/what-is-linear-referencing.htm>

[23] Ford, A., Barr, S., Dawson, R., & James, P. (2015). Transport Accessibility Analysis Using GIS: Assessing Sustainable Transport in London. Undefined. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Transport-Accessibility-Analysis-Using-GIS%3A-in-Ford-Barr/b0df4b54abf453a747b45f7df53>

[24] Download QGIS. (2018). Qgis.org. Retrieved 12 August 2018, from <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>

[25] Public transport is limiting access to jobs in the North of England. (2018). Smart Cities World. Retrieved 13 August 2018, from <https://www.smartcitiesworld.net/news/public-transport-is-limiting-access-to-jobs-in-the-north-of-england-3228>

[26] «Carpooling - 'παρέαστοαυτοκίνητο'». (2018). Carpooling.ntua.gr. Retrieved 13 August 2018, from <http://carpooling.ntua.gr/>

[27] Introduction to A*. (2018). Theory.stanford.edu. Retrieved 16 August 2018, from <http://theory.stanford.edu/~amitp/GamePr>

[28] Singh, A. (2002). Aid, Conditionality and Development. *DevelopmentAndChange*, 33(2), 295-305. doi:10.1111/1467-7660.00255

[29](2018). Algorithmics.lsi.upc.edu. Retrieved 29 August 2018, from

[30]Jordan Petridis / OASA-Telematics-API-Wrapper. (2017).GitLab. Retrieved 29 August 2018, from <https://gitlab.com/alatiera/OASA-Telematics-API-Wrapper>

[31]Jordan Petridis / OASA-Telematics-API-Wrapper. (2017).GitLab. Retrieved 29 August 2018, from <https://gitlab.com/alatiera/OASA-Telematics-API-Wrapper>

[32]Application programming interface. (2018).En.wikipedia.org. Retrieved 29 August 2018, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Applicati>

[34]Dijkstra shortest path algorithm based on python heapq heap implementation. (2018). Gist. Retrieved 29 August 2018, from <https://gist.github.com/kachayev/5990802>

[35] Algorithm and implementation of the K-best sphere decoding for MIMO detection - IEEE Journals & Magazine. (2018).ieeexplore.ieee.org. Retrieved 2 September 2018, from <https://ieeexplore.ieee.org/document/1603705?reload=true>