



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

**Ανάπτυξη εφαρμογής εύρεσης βέλτιστης διαδρομής σε
περιβάλλον GIS – Εφαρμογή στο ευρωπαϊκό δίκτυο
συνδυασμένων μεταφορών**

Μπαλλής Θεοχάρης

Επιβλέπων: Αντώνιος Σταθόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Οκτώβριος 2012

Περίληψη

Τίτλος: Ανάπτυξη εφαρμογής εύρεσης βέλτιστης διαδρομής σε περιβάλλον GIS – Εφαρμογή στο ευρωπαϊκό δίκτυο συνδυασμένων μεταφορών

Σπουδαστής: Μπαλλής Θεοχάρης

Επιβλέπων: Σταθόπουλος Αντώνιος, Καθηγητής ΕΜΠ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά στην ανάπτυξη ενός λογισμικού εύρεσης ελάχιστης διαδρομής σε περιβάλλον GIS το οποίο στην περίπτωση συνδυασμένης μεταφοράς λαμβάνει υπόψη του τους χρόνους αναμονής φορτηγών σε λιμάνια ή σιδηροδρομικούς σταθμούς σε σχέση με τα πραγματικά δρομολόγια πλοίων τραινών. Επιπλέον, λαμβάνει υπόψη του τους χρόνους ανάπαυσης και διανυκτέρευσης των οδικών μεταφορέων καθώς και τους χρόνους διενέργειας συνοριακών ελέγχων. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που περιέχονται στην βάση δεδομένων του προγράμματος ETIS. Σε πρώτη φάση αναγνωρίζονται οι ελάχιστες διαδρομές μεταξύ κόμβων κάθε χώρας που αναπαριστούν συνοριακούς κόμβους, λιμάνια και αεροδρόμια. Έπειτα τα δίκτυα ελαχίστων διαδρομών κάθε χώρας συντίθενται σε ένα ενιαίο. Η απλοποιημένη αυτή μορφή του δικτύου επιτρέπει την ταχύτερη εύρεση ελαχίστων διαδρομών καθώς και την δυνατότητα αναγνώρισης εναλλακτικών διαδρομών με σημαντικές διαφορές. Σε δεύτερη φάση, αναγνωρίζεται η ελάχιστου “κόστους” διαδρομή μεταξύ ενός κόμβου προέλευσης και ενός προορισμού χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο του Dijkstra. Ως “κόστος” μπορούμε να ορίσουμε το μήκος, την χρονική διάρκεια, το λειτουργικό κόστος ή το γενικευμένο κόστος της διαδρομής. Η εύρεση της ελάχιστης διαδρομής γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω παράγοντες: (α) έναν παράγοντα “χρονικής αναμονής” που υπολογίζει τον χρόνο αναμονής μεταξύ δύο διαδοχικών μεταφορικών μέσων (πχ φορτηγό που αναμένει σε λιμάνι) λαμβάνοντας υπόψη την ώρα άφιξης του πρώτου μέσου στον τερματικό σταθμό και τα δρομολόγια του μέσου με το οποίο θα συνεχιστεί η διαδρομή, (β) έναν παράγοντα “χρόνου ανάπαυσης οδηγού” ο οποίος υπολογίζει τον απαιτούμενο χρόνο ανάπαυσης του οδηγού σύμφωνα με τους κανονισμούς ή τις συνήθειες πρακτικές, (γ) παράγοντας “χρονικής καθυστέρησης λόγω διέλευσης συνόρων” ο οποίος χρησιμοποιείται για να εισάγει τις καθυστερήσεις στα χερσαία μέσα που διασχίζουν σύνορα χωρών λόγω των ελέγχων ασφαλείας και συνοδευτικών εγγράφων. Η εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε στην εύρεση των βέλτιστων διαδρομών στον άξονα Αθήνα – Μόναχο.

Abstract

Title: A shortest path application for large unimodal and multimodal transportation networks in GIS environment

Student: Ballis Theocharis

Supervisor: Stathopoulos Antonios, Professor NTUA

The current work presents the structure and functionality of a GIS-based application allowing for efficient transport route identification in the ETIS networks. This application is capable of handling large size networks and defining efficient routes for both, unimodal networks (e.g. transportation solely by road) and intermodal/multimodal (e.g. road-sea) trips, taking into account pragmatic operating conditions like waiting times in the ports, driver rest hours etc. This is achieved in two phases: In the first phase, for each country, the minimum paths between all network nodes representing ports, airports, and border points are identified. Next, the minimum paths between the above identified nodes of all countries are combined into a single network. In the second phase, the minimum “cost” route between origin and destination points is identified based on Dijkstra’s algorithm. As “cost” travel distance, travel time, transport cost or generalized transport costs can be defined. The search algorithm includes the following components: (a) a “waiting time” component that calculates the required waiting time for the consecutive modes (e.g. truck arrival in a port to continue the trip by ferry taking into account the arrival time of the incoming mode and the timetable of the departing mode, (b) a “driver rest time” component which adds the time required for truck driver rest according to alternative schemes (EC regulations, common practises) and (c) a “border crossing delay” component used to imply delays to land vehicles crossing country borders due to security and document control (where applicable). The application was tested to identify optimum routes in the transport corridor Athens-Munich.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τα μέλη της τριμελούς επιτροπής Α. Σταθόπουλο, Καθηγητή ΕΜΠ για την καθοδήγηση, τις συμβολές και υποδείξεις του κατά την εκπόνηση της εργασίας καθώς επίσης και τους Καθηγητές Δ. Τσαμπούλα, Καθηγητή ΕΜΠ και Μ. Καρλαύτη Αναπληρωτή Καθηγητή ΕΜΠ για την αξιολόγηση και τις παρατηρήσεις τους σε βασικά σημεία της εργασίας.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 Εμπορευματικές μεταφορές, δίκτυα και μοντελοποίηση δικτύων.....	5
1.2 Αντικείμενο και στόχος της εργασίας.....	11
1.3 Διάρθρωση της εργασίας	11
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	12
2.1 Τα μοντέλα δικτύων του προγράμματος ETIS	12
2.2 Εύρεση ελαχίστης διαδρομής σε δίκτυα.....	12
2.2.1 Αλγόριθμοι εύρεσης ελάχιστης διαδρομής	13
2.2.2 Ο αλγόριθμος Dijkstra και οι κυριότερες παραλλαγές του	15
2.2.3 Προβλήματα εύρεσης ελάχιστης διαδρομής σε μεγάλα δίκτυα	18
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	18
3.1 Αναπαράσταση συγκοινωνιακών δικτύων σε περιβάλλον GIS.	19
3.1.1 Δομές δεδομένων στα γεωγραφικών συστήματα πληροφοριών	19
3.1.2 Αναπαράσταση συγκοινωνιακών δικτύων σε περιβάλλον GIS	21
3.1.3 Οι πληροφορίες της βάσης δεδομένων του ETIS.....	22
3.3 Μεθοδολογική προσέγγιση του προβλήματος.....	24
3.3.1 Παραγωγή “δικτύου ελαχίστων διαδρομών”.....	24
3.3.2 Υπολογισμός κόστους και χρόνου διαδρομής - Κριτήρια βελτιστοποίησης.....	30
3.3.3 Υπολογισμός χρόνου ανάπαυσης οδηγού.....	35
3.3.4 Υπολογισμός καθυστερήσεων στα σύνορα	38
3.3.5 Υπολογισμός χρόνου αναμονής φορτηγού σε τερματικούς σταθμούς.	40
3.3.7 Υπολογισμός λειτουργικού κόστους οχημάτων (κόστος συντήρησης).....	43
3.3.8 Σύγκριση εναλλακτικών διαδρομών	53
3.3.9 Συνοπτική παρουσίαση της διαδικασίας χρήσης της εφαρμογής.....	53
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΕΛΛΑΔΑ-ΓΕΡΜΑΝΙΑ	56
4.1 Οι εμπορευματικές ροές μεταξύ Ελλάδας και Γερμανίας	56
4.2 Συνήθεις διαδρομές και χρησιμοποιούμενοι τύποι οχημάτων	56
4.3 Τύποι οχημάτων μεταφοράς φορτίου.....	58
4.4 Διατύπωση σεναρίων.....	59
4.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα	64
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	76
6. ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	79

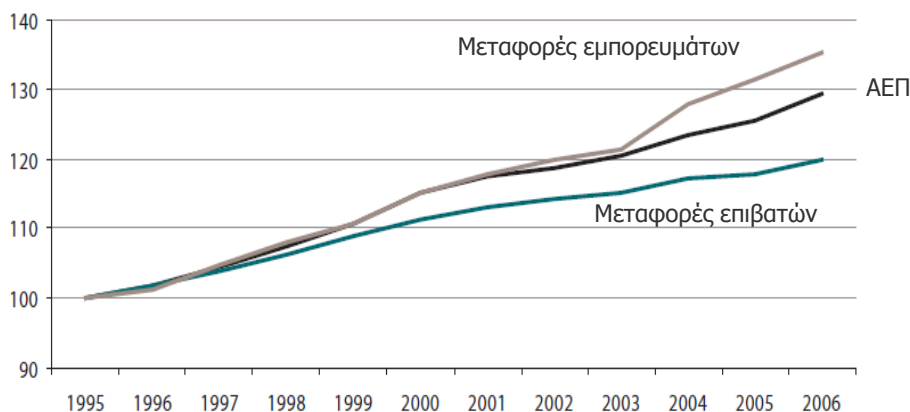
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εμπορευματικές μεταφορές, δίκτυα και μοντελοποίηση δικτύων

Η δυνατότητα μεταφοράς αγαθών άμεσα, με ασφάλεια και οικονομικά αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα τις διεθνείς μεταφορές, το εθνικό εμπόριο και την οικονομική ανάπτυξη. Οι ταχείς ρυθμοί ανάπτυξης του διεθνούς εμπορίου έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη του τομέα των εμπορευματικών μεταφορών μέσα στην Ευρωπαϊκή Ένωση καθιστώντας τον έναν απαραίτητο παράγοντα στην διατήρηση της οικονομικής σταθερότητας και ανταγωνιστικότητας ^(1,2).

Υπάρχει στενή σχέση μεταξύ του ακαθάριστου εθνικού προϊόντος με το παραγόμενο μεταφορικό έργο. Η Εικόνα 1 παρουσιάζει την εξέλιξη μεταφορικού έργου στην Ευρώπη των 27 και σχέση με το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ). Στην έντονη αύξηση των εμπορευματικών μεταφορών συντελούν και οι διεθνείς τάσεις της παγκοσμιοποίησης που ορίζουν ότι η παράγωγή προϊόντων πρέπει να γίνεται στις χώρες που έχουν συγκριτικά πλεονεκτήματα και στην συνέχεια να υπάρχουν ανταλλαγές μέσω του εμπορίου και των μεταφορών. Πολύ θετική επίσης συμβολή έχει η ανάπτυξη του κλάδου των logistics μέσω της αποτελεσματικότερης οργάνωσης και διαχείρισης της μεταφορικής αλυσίδας και των υπηρεσιών αποθήκευσης και διανομής.



Εικόνα 1: Εξέλιξη μεταφορικού έργου στην Ευρώπη των 27 και σχέση με το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ)

Ένα αποδοτικό σύστημα μεταφορών δεν εγγυάται την οικονομική ανάπτυξη, αλλά μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία ενός περιβάλλοντος που ενθαρρύνει την οικονομική ανάπτυξη. Από την άλλη μεριά, η οικονομική ανάπτυξη μπορεί να δημιουργήσει ανάγκη για νέες υποδομές κι υπηρεσίες μεταφορών ⁽³⁾.

Υποδομές του μεταφορικού δικτύου

Οι υποδομές μεταφορών περιλαμβάνουν δίκτυα οδών, σιδηροδρομικών γραμμών και πλωτών οδών, τους θαλάσσιους λιμένες, αερολιμένες και σημεία διασύνδεσης, όπως λιμένες εσωτερικής ναυσιπλοΐας και κέντρα μεταφόρτωσης ^{(4),(5)}.

- Οι υποδομές οδικών μεταφορών περιλαμβάνουν οδούς υψηλής ποιότητας (όπου συμπεριλαμβάνονται γέφυρες, σήραγγες, ισόπεδοι οδικοί κόμβοι, διασταυρώσεις, ανισόπεδοι κόμβοι κλπ), χώρους στάθμευσης, σταθμούς λεωφορείων, εμπορευματικά κέντρα κα. Καθώς επίσης και τον αντίστοιχο εξοπλισμό για τον φωτισμό, την ασφάλεια και τον έλεγχο της κυκλοφορίας (σηματοδότηση, εφαρμογές Τηλεματικής κλπ).
- Οι υποδομές σιδηροδρομικών μεταφορών περιλαμβάνουν γραμμές υψηλής ταχύτητας και συμβατικές σιδηροδρομικές γραμμές, καθώς και παρακαμπτήριες και βοηθητικές γραμμές, σήραγγες, γέφυρες, εμπορευματικοί τερματικοί σταθμοί και πλατφόρμες υλικοτεχνικής υποστήριξης για τη μεταφόρτωση εμπορευμάτων μεταξύ σιδηροδρόμων και μεταξύ σιδηροδρόμου και άλλων μέσων μεταφοράς. Επίσης, περιλαμβάνουν σταθμούς κατά μήκος των γραμμών για τη μετεπιβίβαση επιβατών σε σιδηρόδρομο ή μεταξύ σιδηροδρόμου και άλλων μέσων μεταφοράς όπως επίσης και όλο τον απαραίτητο σχετικό εξοπλισμός (σηματοδότηση, συστήματα ελέγχου, τηλεματικές εφαρμογές).
- Οι υποδομές εσωτερικής ναυσιπλοΐας περιλαμβάνουν ειδικότερα τους ποταμούς, τις διώρυγες, τις λίμνες και τις σχετικές υποδομές όπως ανελκυστήρες, γέφυρες, δεξαμενές. Στις παραπάνω υποδομές συμπεριλαμβάνονται οι λιμένες εσωτερικής ναυσιπλοΐας και η αναγκαία υποδομή μεταφορών εντός της ζώνης του λιμένα.
- Οι υποδομές θαλάσσιων μεταφορών περιλαμβάνουν τον θαλάσσιο χώρο, τις θαλάσσιες διώρυγες και τους θαλάσσιους λιμένες με την αναγκαία υποδομή για εργασίες μεταφορών εντός της λιμενικής περιοχής. Απαραίτητα είναι τα βοηθήματα ναυσιπλοΐας. Στις υποδομές συμπεριλαμβάνονται ακόμη οι είσοδοι σε λιμένες και διαύλους ναυσιπλοΐας, οι κυματοθραύστες, οι θαλάσσιες λεωφόροι, και ο σχετικός εξοπλισμός (τηλεματικές εφαρμογές, σηματοδότες?, καταγραφείς κυμάτων)
- Οι υποδομές αεροπορικών μεταφορών περιλαμβάνουν ιδίως: τον εναέριο χώρο, διαδρομές και αεροδιαδρόμους, αερολιμένες, σχετικό εξοπλισμό, συστήματα εναέριας κυκλοφορίας (SESAR).

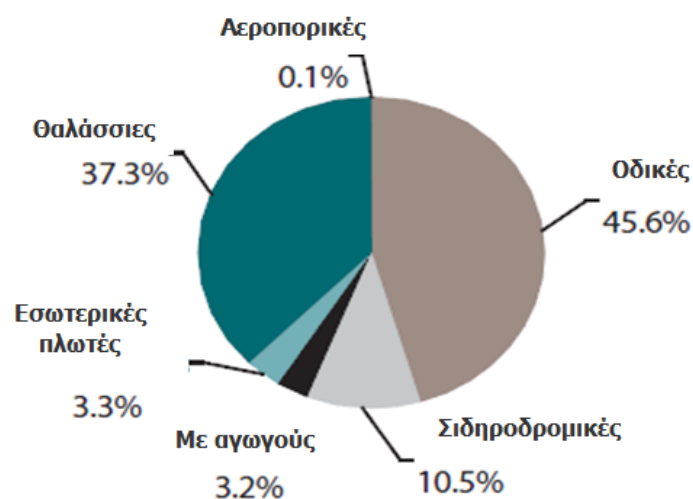
Το ευρωπαϊκό μεταφορικό δίκτυο είναι ένα από τα πιο πυκνά δίκτυα του κόσμου στο οποίο οδικοί σιδηροδρομικοί και θαλάσσιοι άξονες διασταυρώνονται μεταξύ τους. Η πυκνότητα αυτή οφείλεται σε πλήθος παραγόντων όπως η μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα και η έντονη ανάγκη για μετακινήσεις. Η είσοδος νέων μελών στην ευρωπαϊκή οικογένεια επέκτεινε ακόμη περισσότερο το ήδη εκτενές αυτό δίκτυο. Η εξέλιξη του θα συνεχισθεί και τα επόμενα χρόνια αφού οι νέο-εισαχθείσες χώρες προβαίνουν σε επενδύσεις βελτίωσης των υποδομών τους ώστε να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα και οι διάδρομοι μεταξύ κεντρικής δυτικής και ανατολικής Ευρώπης εκσυγχρονίζονται αυτόν τον καιρό.

Σημαντική συμβολή στην κατεύθυνση αυτή αποτελεί η δημιουργία των Ευρωπαϊκών Δικτύων Μεταφοράς (TEN-T - Trans-European Transport Networks). Η ανάπτυξη τους υποστηρίζεται από το πρόγραμμα της Επιτροπής TEN-T που αποβλέπει στη δημιουργία διασυνδέσεων, διαλειτουργικότητας και συνέχειας των υπηρεσιών ειδικότερα για υπεραστικές διαδρομές ενισχύοντας οικονομικά με αυτόν τον τρόπο την υλοποίηση σημαντικών έργων υποδομής μεταφορών. Βασικοί στόχοι του προγράμματος είναι η δημιουργία και ανάπτυξη βασικών διασυνδέσεων που καθιστούν δυνατή την εξάλειψη των υφιστάμενων σημείων συμφόρησης και η κατασκευή συνδέσεων που υπολείπονται για την ολοκλήρωση των κύριων οδών και ιδιαίτερα των διασυνοριακών τους τμημάτων⁽⁶⁾,



Εικόνα 2: Οι βασικοί άξονες του συγκοινωνιακού δικτύου της Ευρώπης

Ένας από τους βασικούς στόχους της Ευρωπαϊκής Πολιτικής είναι η αποφόρτιση του οδικού δικτύου από όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος της εμπορευματικής κίνησης και για τον λόγο αυτό ενθαρρύνει τις προσπάθειες με στόχο την εδραίωση των σιδηροδρομικών, θαλάσσιων και πλωτών μεταφορών καθώς και των συνδυασμένων μεταφορών ως ανταγωνιστικές εναλλακτικές λύσεις^(7,8). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3 οι οδικές μεταφορές αποτελούν τον κύριο τρόπο διεξαγωγής των εμπορευματικών μεταφορών στην Ευρώπη.



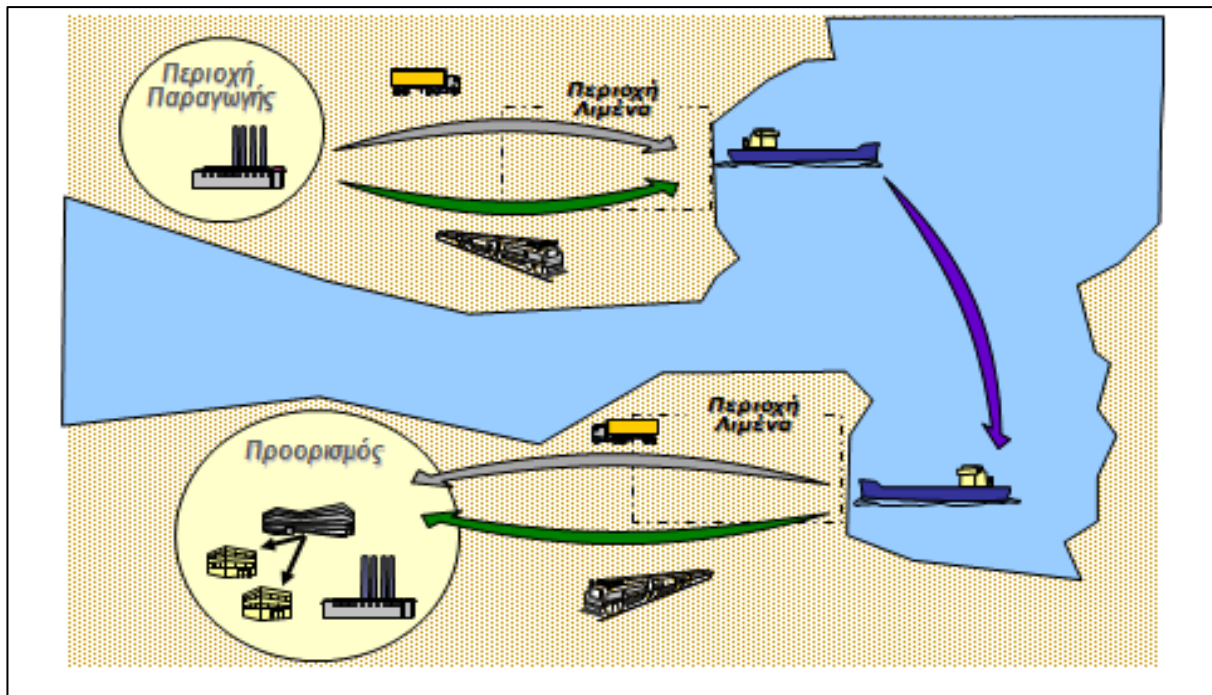
Εικόνα 3: Κατανομή μέσων για την μεταφορά επιβατικού κοινού και αγαθών στην Ευρώπη

Σημαντικό όμως ρόλο στις διεθνείς μεταφορές αλλά και στην Ελλάδα κατέχουν και οι συνδυασμένες μεταφορές.

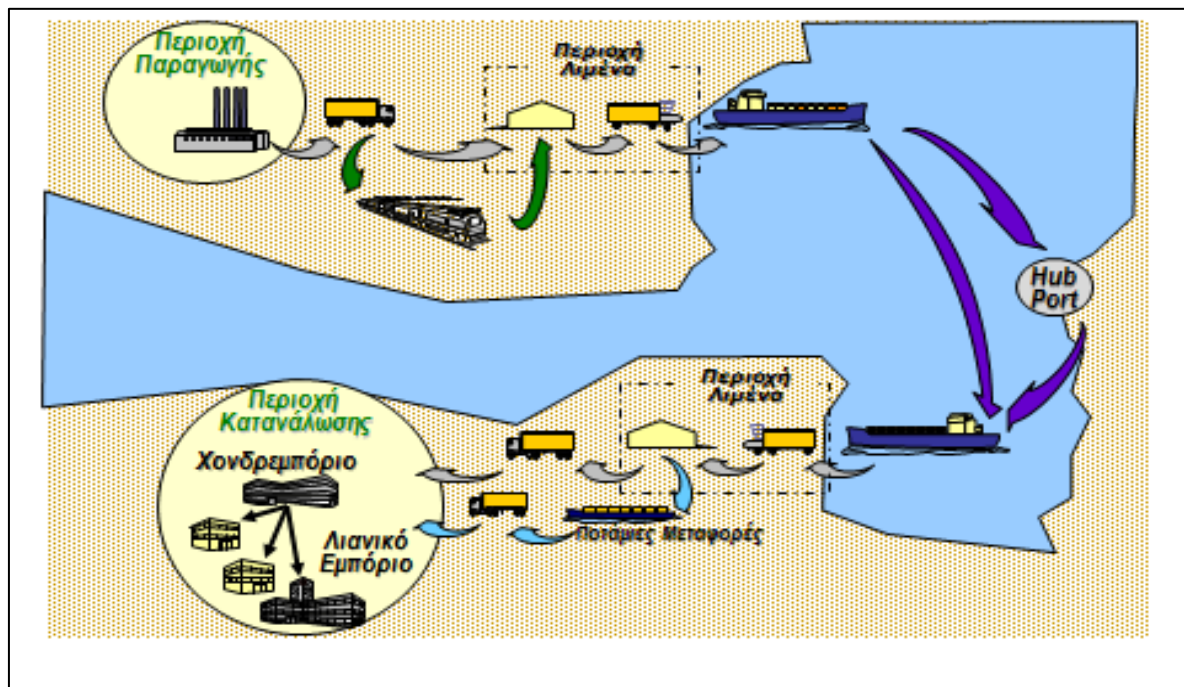
Ένας ορισμός της συνδυασμένης μεταφοράς δόθηκε από την Ευρωπαϊκή Διάσκεψη των Υπουργών Μεταφορών έχει ως εξής⁽⁹⁾:

- Πολυτροπικές μεταφορές (Multimodal transport): Μεταφορά εμπορευμάτων με τουλάχιστον δύο διαφορετικά μέσα μεταφοράς.
- Διατροπικές μεταφορές (Intermodal transport): η μεταφορά φορτίου υπό μία και μόνη μεταφορική μονάδα ή όχημα, όπου το κύριο τμήμα της διαδρομής γίνεται με πλοίο, ενώ η διανομή/συλλογή φορτίων με άλλα μέσα μεταφοράς, ενώ το πραγματικό φορτίο δεν υπόκειται σε χειρισμό κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.

Οι συνδυασμένες μεταφορές αποτελούν σημαντικό παράγοντα της επίτευξης των στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που συνοψίζονται στην οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη των χωρών – μελών της. Η ανάπτυξη αυτή προϋποθέτει τη δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού συστήματος μεταφορών. Οι συνδυασμένες μεταφορές κατέχουν εξέχουσα θέση μέσα στα νέα πλαίσια της ανανεωμένης και αναδιαρθρωμένης μεταφοράς εμπορευμάτων.



Εικόνα 5: Διατροπική μεταφορά (Intermodal transport): Η μεταφορά μοναδοποιημένων φορτίων με περισσότερα από ένα μέσα



Εικόνα 4: Πολυτροπική μεταφορά (Multimodal transport): Η μεταφορά εμπορευμάτων με τη χρήση δύο ή περισσότερων μέσων μεταφοράς

Οι εμπορευματικές μεταφορές αποτελούν ένα καθοριστικής σημασίας παράγοντα για ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου και αποτελούν ένα σημαντικό κλάδο της οικονομίας. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Eurostat, το 2010 διακινήθηκαν συνολικά στην Ελλάδα εμπορεύματα συνολικής αξίας 65,7 δισ. € (43,2 δισ. € εισαγωγές και 22,5 δισ. € εξαγωγές)⁽¹⁰⁾. Για την Ελλάδα, η κατανομή των χερσαίων μεταφορικών μέσων καθώς και οι προβλέψεις έως το έτος 2015 για τις εμπορευματικές μεταφορές παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1). Φαίνεται ότι έως το 2015 οι οδικές μεταφορές θα σημειώσουν μικρή πτώση, αν και καταλαμβάνουν σχεδόν το σύνολο των εμπορευματικών μεταφορών (97,8%), σε σχέση με τη μικρή αύξηση των σιδηροδρομικών μεταφορών (στο 2,2%), ύστερα από μια σχεδόν σταθερή πορεία τους από το 1998 έως το 2002.

	1991	1998	1999	2000	2001	2002	2010	2015
Οδικές	95,2	98,1	98,2	98,3	98,3	98,4	98,1	97,8
Σιδηροδρομικές	4,8	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,9	2,2

Πίνακας 1: Εξέλιξη της κατανομής (%) των χερσαίων μεταφορικών μέσων για τις εμπορευματικές μεταφορές στην Ελλάδα έως το 2015

Ο ηγετικός ρόλος που κατέχουν οι οδικές μεταφορές στην Ελλάδα είναι εμφανής. Αντιπροσωπεύουν σε εθνικό επίπεδο το 7% των θέσεων απασχόλησης και κατά την τελευταία εικοσαετία οι ρυθμοί ανάπτυξης της αγοράς, καθώς και οι μεταβολές που σημειώθηκαν στα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης συνέβαλαν στη σημαντική αύξηση της ζήτησης για υπηρεσίες μεταφορών και κυρίως για τις ενδοκοινοτικές (2,3% ετησίως στις εμπορευματικές μεταφορές και 3,1% στις επιβατικές). Συγχρόνως όμως παρά τη ζωτική σημασία του κλάδου, οι οδικές μεταφορές συνιστούν ταυτοχρόνως έναν ιδιαίτερα ευαίσθητο τομέα, καθώς η αύξηση του όγκου τους συνεπάγεται σοβαρές επιπτώσεις σε αγαθά ιδιαίτερης σημασίας, όπως η προστασία του περιβάλλοντος και η οδική ασφάλεια⁽¹¹⁾. Η Ελλάδα προσπαθεί να δημιουργήσει τις προϋποθέσεις ώστε να αποτελέσει πύλη διαμετακόμισης εμπορευμάτων για τα Βαλκάνια αλλά και για την Ευρώπη γενικότερα.

Οι μεταφορές, και μάλιστα οι εμπορευματικές, αποτελούν σήμερα ευκαιρία για περαιτέρω ανάπτυξη της οικονομίας, της αγοράς και των ελληνικών επιχειρήσεων. Στοιχεία αποκαλύπτουν πως το 12 % του ελληνικού ΑΕΠ έχει να κάνει με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τα 36 δις ευρώ που αποτελούν τον ετήσιο τζίρο του εγχώριου κλάδου των logistics και τους περίπου 250.000 ανθρώπους, που απασχολούνται στο σύνολο της εφοδιαστικής αλυσίδας⁽¹²⁾. Οι εμπορικές μεταφορές απαιτούν την ύπαρξη κατάλληλων μεταφορικών δικτύων τόσο από άποψη υποδομών αλλά και διαλειτουργικότητας ώστε να επιτρέπεται η απρόσκοπτη κίνηση των μέσων μεταφοράς στο σύνολο του δικτύου. Η μεγάλη σημασία αλλά και τα σημαντικά κόστη καθώς και οι συνεπακόλουθες περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία των συγκοινωνιακών δικτύων οδήγησε στην συστηματική διερεύνηση των σχετικών

θεμάτων. Μεταξύ των εργαλείων που αναπτύχθηκαν για τον σκοπό αυτό περιλαμβάνεται και η ανάπτυξη μοντέλων/λογισμικού για την διερεύνηση θεμάτων χωρητικότητας και λειτουργίας συγκοινωνιακών δικτύων.

1.2 Αντικείμενο και στόχος της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ανάπτυξη μεθοδολογίας και του αντίστοιχου λογισμικού για την εύρεση βέλτιστων διαδρομών σε δίκτυα οδικών, σιδηροδρομικών και συνδυασμένων εμπορευματικών μεταφορών σε περιβάλλον GIS. Συγκεκριμένα η εργασία στοχεύει στην ανάπτυξη μεθοδολογίας/λογισμικού με στόχο την εύρεση βέλτιστων διαδρομών για τα συγκοινωνιακά δίκτυα του Ευρωπαϊκού προγράμματος ETIS λαμβάνοντας υπόψη τους κανονισμούς για το ωράριο εργασίας των οδηγών φορτηγών, τις καθυστερήσεις λόγω συντοριακών ελέγχων και (στην περίπτωση συνδυασμένων θαλάσσιων διαδρομών) τους χρόνους αναμονής των φορτηγών στους λιμένες μέχρι την αναχώρηση του πλοίου. Οι προτεινόμενες διαδρομές προκύπτουν με βάση τον αλγόριθμο του Dijkstra με κριτήριο βελτιστοποίησης τον χρόνο, το λειτουργικό κόστος και το γενικευμένο λειτουργικό κόστος (για διάφορες τιμές του συντελεστή αξίας χρόνου). Επιπλέον, προσφέρεται η δυνατότητα διερεύνησης και συγκεκριμένων διαδρομών οι οποίες ορίζονται μέσω υποχρεωτικής διέλευσης (ή αποκλεισμού) από συγκεκριμένους συντοριακούς κόμβους, σιδηροδρομικών σταθμών ή λιμένων του καθώς και με αποκλεισμό ολόκληρων χωρών του ευρωπαϊκού δικτύου. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η σύγκριση εναλλακτικών χειρσαίων (αμιγώς οδικών ή σιδηροδρομικών) και συνδυασμένων διαδρομών με κριτήρια (α) το λειτουργικό κόστος του οχήματος και (β) τον χρόνο άφιξης στον προορισμό, τόσο ως προς την διάσταση της συμβατικής του υποχρέωσης, όσο και ως προς τα οικονομικά οφέλη από την ταχύτερη ολοκλήρωση του δρομολογίου.

1.3 Διάρθρωση της εργασίας

Η ανάπτυξη του θέματος της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει, πέραν του παρόντος κεφαλαίου της Εισαγωγής, τέσσερα ακόμη κεφάλαια: Το κεφάλαιο 2, «Βιβλιογραφική επισκόπηση» καλύπτει σχετικές εργασίες σε θέματα μοντέλων δικτύων, καθώς και μια συνοπτική περιγραφή των δικτύων που προγράμματος ETIS. Περιλαμβάνει ακόμη την επισκόπηση των εργασιών στην επιστημονική περιοχή της εύρεσης ελάχιστης διαδρομής σε δίκτυα (αλγόριθμος Dijkstra, προβλήματα που εμφανίζονται σε μεγάλα δίκτυα). Τα μεθοδολογικά και τεχνικά θέματα που αφορούν στην ανάπτυξη της εφαρμογής παρουσιάζονται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3. Στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και την χρησιμοποίησή τους σε συγκοινωνιακά προβλήματα καθώς και στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα ETIS. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα σενάρια που εξετάστηκαν με την εφαρμογή και τα αποτελέσματα που τα συνοδεύουν. Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση των αποτελεσμάτων και εξάγονται τα διάφορα συμπεράσματα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Τα μοντέλα δικτύων του προγράμματος ETIS

Η συστηματική διερεύνηση προβλημάτων και πολιτικών που σχετίζονται με θέματα κατασκευής, λειτουργίας και διαχείρισης των μεγάλων δικτύων προϋποθέτει κατά κανόνα την ύπαρξη κατάλληλων (από άποψη βαθμού λεπτομέρειας και πληροφοριών ως προς το θέμα που διερευνάται) μοντέλων των δικτύων αυτών (σχεδιασμός, βελτίωση λειτουργίας, εκτίμηση επιπτώσεων αναφορικά με πολιτικές που σχετίζονται με την διακίνηση αγαθών και ανθρώπων κλπ).

Ένα τέτοιο Ευρωπαϊκό σύστημα μοντέλων δικτύων και σχετικών πληροφοριών αποτελεί το πρόγραμμα ETIS (Europe Transport Policy Information System)⁽¹³⁾ το οποίο έχει ορισθεί ως ένα σύστημα πληροφοριών με στόχο την υποστήριξη στην ανάλυση και χάραξη πολιτικής και αναπτύχθηκε σταδιακά χάρις την συστηματική έρευνα και συλλογή δεδομένων προγραμμάτων που χρηματοδοτήθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση καθώς και από την Eurostat^(14,15). Στόχος είναι η δημιουργία μιας κοινής για όλες τις χώρες της ΕΕ βάσεως δεδομένων η οποία θα δίνει την δυνατότητα τροφοδότησης των διαφόρων μοντέλων και σεναρίων με κατάλληλα στοιχεία αλλά και θα συγκεντρώνει τα στοιχεία/αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτά.

Το πρώτο στάδιο του προγράμματος εφαρμόσθηκε και λειτούργησε το 2005 χάρις τις συντονισμένες ενέργειες των προγραμμάτων ETIS-Base, ETIS-Agent, ETIS-Link⁽¹⁶⁾. Το πιο πρόσφατο μέλος της οικογενείας, το ETIS-Plus ξεκίνησε το 2010 και έχει αναλάβει την βελτίωση του περιεχομένου του ETIS και των εργαλείων που το συνοδεύουν, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα συγκεκριμένων προγενέστερων προγραμμάτων (Trans-Tools, TEN-Connect και Worldnet), την ενημέρωση της βάση δεδομένων του ETIS καθώς και την αύξηση της γεωγραφικής του κάλυψης. Το ETIS-Plus συμπεριλαμβάνει ένα διαδικτυακό σύστημα αποτύπωσης σε περιβάλλον GIS, των σχετικών με το δίκτυο πληροφοριών της βάσης δεδομένων του ETIS (ETIS-Network).

Η εφαρμογή λογισμικού που αναπτύχθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία λαμβάνει υπόψη την δομή, κωδικοποίηση, και πληροφορίες (όπως μήκος, ταχύτητας ελεύθερης ροής, αριθμό λωρίδων, ύπαρξη συνοριακών κόμβων, κόστος καυσίμου/διοδίων κλπ) για στους συνδέσμους και κόμβους του δικτύου που περιέχονται στην βάση δεδομένων του ETIS.

2.2 Εύρεση ελαχίστης διαδρομής σε δίκτυα

Πολλές κατηγορίες προβλημάτων της επιστήμης του μηχανικού απεικονίζονται ή μοντελοποιούνται με τη μορφή δικτύων. Τα μεταφορικά δίκτυα αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα. Η μοντελοποίηση των δικτύων αυτών αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση και βελτιστοποίηση θεμάτων που σχετίζονται με

την κατασκευή ή τη λειτουργία των μεταφορικών υποδομών. Οι κυριότερες κατηγορίες προβλημάτων βελτιστοποίησης που εξετάζονται είναι⁽¹⁷⁾:

1. Η εύρεση του ελάχιστου κόστους διαδρομής μεταξύ 2 κόμβων, όπου ως κόστος νοείται το οικονομικό κόστος, ο χρόνος, το γενικευμένο κόστος ή οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο μέγεθος.
2. Η διασύνδεση όλων των κόμβων του δικτύου με το ελάχιστο δυνατό κόστος (πρόβλημα ελάχιστου ζευγνύοντος δένδρου).
3. Η μεγιστοποίηση της ροής μεταξύ δύο 2 κόμβων. Όπως παραδείγματος χάριν στην περίπτωση αξιοποίησης όλων των διαθέσιμων οδών ενός τοπικού δικτύου για την μεγιστοποίηση της κυκλοφοριακής ροής.

Η βιβλιογραφική επισκόπηση περιλαμβάνει πλήθος σχετικών εργασιών. Οι S. Pallottino, M.G. Scutella (1998)⁽¹⁸⁾ καθώς και οι L. Fu, D. Sun, L.R. Rilett (2005)⁽¹⁹⁾ παρουσιάζουν αναλυτικά τα κύρια προβλήματα μεταφορικών δικτύων και τις πιο διαδεδομένες τεχνικές επίλυσης τους. Κοινό συμπέρασμα μεταξύ των μελετητών αποτελεί το γεγονός πως δεν υπάρχει βέλτιστος αλγόριθμος που να επιλύει όλα τα είδη προβλημάτων ελάχιστης διαδρομής και πως ο τρόπος αντιμετώπισης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κάθε προβλήματος και δικτύου.

Τα τελευταία χρόνια κυρίως λόγω της εμφάνισης και ανάπτυξης ευφυών συστημάτων μεταφορών (ITS - Intelligent Transport Systems) η μελέτη πάνω στον τομέα γρήγορης, αξιόπιστης και μη απαιτητικής (από υπολογιστικής πλευράς) εύρεσης ελάχιστης διαδρομής έχει αναζωογονηθεί. Επίσης ιδιαίτερη έμφαση δίνεται πλέον στον τομέα των δυναμικών προβλημάτων εύρεσης ελάχιστης διαδρομής (Dynamic Shortest Path Problem)^{(20),(21),(22),(23),(24),(25)} ώστε να εισέλθει στους υπολογισμούς και ο παράγοντας του χρόνου.

2.2.1 Αλγόριθμοι εύρεσης ελάχιστης διαδρομής

Το πρόβλημα εύρεσης της ελάχιστης διαδρομής μεταξύ 2 κόμβων ενός δικτύου έχει μελετηθεί διεξοδικά για πάνω από 60 χρόνια²⁶ και συχνά εμφανίζεται στην βιβλιογραφία ως πρόβλημα δρομολόγησης (routing). Πλήθος αλγορίθμων έχουν προταθεί όλα αυτά τα χρόνια ώστε να μειωθεί ο χρόνος εκτέλεσης και να επιτρέπεται η αντιμετώπιση όλο και μεγαλύτερων δικτύων.

Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να κατηγοριοποιηθούν⁽²⁷⁾ με διάφορους τρόπους ανάλογα με:

- το είδος προβλήματος που επιλύουν: ελάχιστη διαδρομή μεταξύ δύο συγκεκριμένων κόμβων ή ενός προς όλους τους άλλους κτλ.
- τα χαρακτηριστικά του δικτύου: αρνητικά βάρη ή μη στους συνδέσμους, προσανατολισμένο ή μη δίκτυο.
- το είδος των βαρών των συνδέσμων: πιθανολογικά βάρη ή προεπιλεγμένες σταθερές τιμές.

- την τεχνική επίλυσης: αλγεβρική ή με ανάγκη προετοιμασίας του γράφου.

Το τυπικό πρόβλημα της εύρεσης συντομότερης διαδρομής μεταξύ 2 κόμβων ενός δικτύου ορίζεται ως ακολούθως: δίνεται σταθμισμένος, προσανατολισμένος γράφος $G = (V, E, w)$ και 2 κορυφές του, έστω s (πρόέλευση) και t (προορισμός). Ζητείται η συντομότερη διαδρομή μεταξύ s και t , ώστε να ελαχιστοποιείται η συνάρτηση:

$$w(p) = \sum_{e \in p} w(e)$$

Όπου:

$w(p)$: το συνολικό "κόστος" μέχρι τον κόμβο s .

$w(e)$: τα επιμέρους "κόστη" από τον κόμβο s μέχρι τον κόμβο t

Πρέπει να σημειωθεί πως με τον όρο κόστος δεν αναφερόμαστε μόνο στο χρηματικό κόστος που μπορεί να επιφέρει η διάσχιση κάποιου συνδέσμου αλλά οποιοδήποτε μέγεθος θέλουμε πχ χιλιομετρική απόσταση, χρόνος ταξιδιού, γενικευμένο κόστος).

Όλες οι ανωτέρω τεχνικές ακολουθούν επαναληπτική διαδικασία η οποία εξετάζει τον γράφο αποθηκεύοντας τις προσωρινά ελάχιστες διαδρομές μέχρι τον κάθε κόμβο.

Κάθε κορυφή του γράφου (v) αποθηκεύει δυο τιμές, οι οποίες (επαγωγικά) περιγράφουν μια «αβέβαιη-προσωρινή» συντομότερη διαδρομή από το s στο v . Στον πίνακα $dist(v)$ αποθηκεύεται το μήκος της αβέβαιης (προσωρινής) συντομότερης διαδρομής από το s στο v $s \Rightarrow v$ ή η τιμή ∞ αν δεν υπάρχει διαδρομή μεταξύ τους. Στον πίνακα $pred(v)$ αποθηκεύεται ο προηγούμενος από τον v κόμβος στη διαδρομή $s \Rightarrow v$ ή η τιμή 0 αν δεν υπάρχει τέτοια διαδρομή. Ορίζουμε ως τεταμένη (tense) μια διαδρομή $u \rightarrow v$ αν $dist(u) + w(u \rightarrow v) < dist(v)$.

Αν $u \rightarrow v$ τεταμένη τότε η διαδρομή $s \Rightarrow v$ δεν είναι η ελάχιστη και αντικαθιστούμε:

$$dist(v) \leftarrow dist(u) + w(u \rightarrow v)$$

$$pred(v) \leftarrow u$$

Η διαδικασία είναι επαναληπτική και ονομάζεται ελάφρυνση (Relax). Όταν δεν υπάρχουν πια τεταμένες διαδρομές τότε ο αλγόριθμος σταματά και έχουμε την επιθυμητή συντομότερη διαδρομή.

Σημαντική διαφοροποίηση όλων των αλγορίθμων που επιλύουν το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι ο τρόπος που αποθηκεύουν τις μη τεταμένες (βέβαιες) διαδρομές μέχρι τον κόμβο v . Τρεις είναι οι προφανείς επιλογές: α) Στοίβα, β) Ουρά, γ) Σωρός. Η πρώτη επιλογή κρίνεται μη αποδοτική επειδή στην χειρότερη περίπτωση πρέπει να επαναληφθούν $\Theta(2^V)$ ελαφρύνσεις. Αντίθετα οι άλλες δύο είναι πολύ πιο αποδοτικές⁽²⁸⁾.

2.2.2 Ο αλγόριθμος Dijkstra και οι κυριότερες παραλλαγές του

Το πρόβλημα της εύρεσης ελάχιστης διαδρομής έχει εξεταστεί διεξοδικά με τις πρώτες εργασίες να δημοσιεύονται στα τέλη της δεκαετία του 50 (Shimbel⁽²⁹⁾, Ford⁽³⁰⁾, Leyzorek, Gray, Johnson, Ladew, Meaker, Petry, and Seitz⁽³¹⁾, Dantzig⁽³²⁾, Bellman⁽³³⁾, Moore⁽³⁴⁾, Dijkstra⁽³⁵⁾).

Ένας από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους αλγορίθμους εύρεσης ελάχιστης διαδρομής¹ λόγω της απλότητας και του σχετικά μικρού υπολογιστικού φόρτου του είναι ο αλγόριθμος του Dijkstra. Διάφορες παραλλαγές του και η χρησιμοποίηση ευριστικών^(36,37) τεχνικών ελάττωσαν σημαντικά τον χρόνο υλοποίησης του. Η Εικόνα 6 παρουσιάζει ένα απλό δίκτυο που επιλύεται με τον αλγόριθμο Dijkstra ο οποίος εφαρμόζει μία επαναληπτική διαδικασία που εξετάζει το δίκτυο αποθηκεύοντας τις προσωρινά ελάχιστες διαδρομές μέχρι τον κάθε επόμενο κόμβο, έως ότου να εντοπιστεί η βέλτιστη λύση.

Στην αρχική μορφή του ο αλγόριθμος του Dijkstra προϋποθέτει πως στο δίκτυο δεν υπάρχουν σύνδεσμοι με αρνητικό βάρος. Παραλλαγές του αλγορίθμου που να αντιμετωπίζουν το πρόβλημα υπάρχουν αλλά σ' αυτήν την περίπτωση ο αλγόριθμος των Bellman-Ford είναι η βέλτιστη επιλογή. Έχουν προταθεί και εφαρμοστεί πολλές παραλλαγές και βελτιώσεις του αλγορίθμου του Dijkstra, όπως ο συμμετρικός⁽³⁸⁾, ο A*⁽³⁹⁾ και ο ακτινικός (Radius Search)⁽⁴⁰⁾ οι οποίοι εξετάζονται στην συνέχεια.

Συμμετρικός αλγόριθμος Dijkstra (Bi-directional or Symmetric)

Η τεχνική εξεύρεσης της συντομότερης διαδρομής βασίζεται στην ταυτόχρονη επίλυση του δικτύου εκκινώντας α) από τον κόμβο προέλευσης προς τον κόμβο προορισμού και β) από τον κόμβο προορισμού προς τον κόμβο προέλευσης.

Οι 2 ελάχιστες διαδρομές που προκύπτουν σε κάθε επανάληψη, μεγαλώνουν συμμετρικά και θα "συναντηθούν" κάπου στο μέσο της απόστασης. Σε περίπτωση που δεν συμβεί κάτι τέτοιο ο χρόνος υλοποίησης του αλγορίθμου είναι ίδιος με τον απλό αλγόριθμο του Dijkstra.

Αλγόριθμος A* (Ευριστικός)

Μία γενίκευση-βελτίωση του αλγορίθμου Dijkstra είναι ο αλγόριθμος A*. Όπως και προηγουμένως θέλουμε να μεταβούμε από έναν κόμβο προέλευσης s σε έναν κόμβο προορισμού (target) t. Όλοι οι ενδιαμέσοι κόμβοι συμβολίζονται με v. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιεί μία συνάρτηση (GuessDistance(v,t)) ώστε να εκτιμήσει σε κάθε επανάληψη την απόσταση από τον κόμβο t στον κόμβο v. Η

¹ Εφαρμογή στον ιστότοπο google maps, στην εφαρμογή Transcad, κτλ

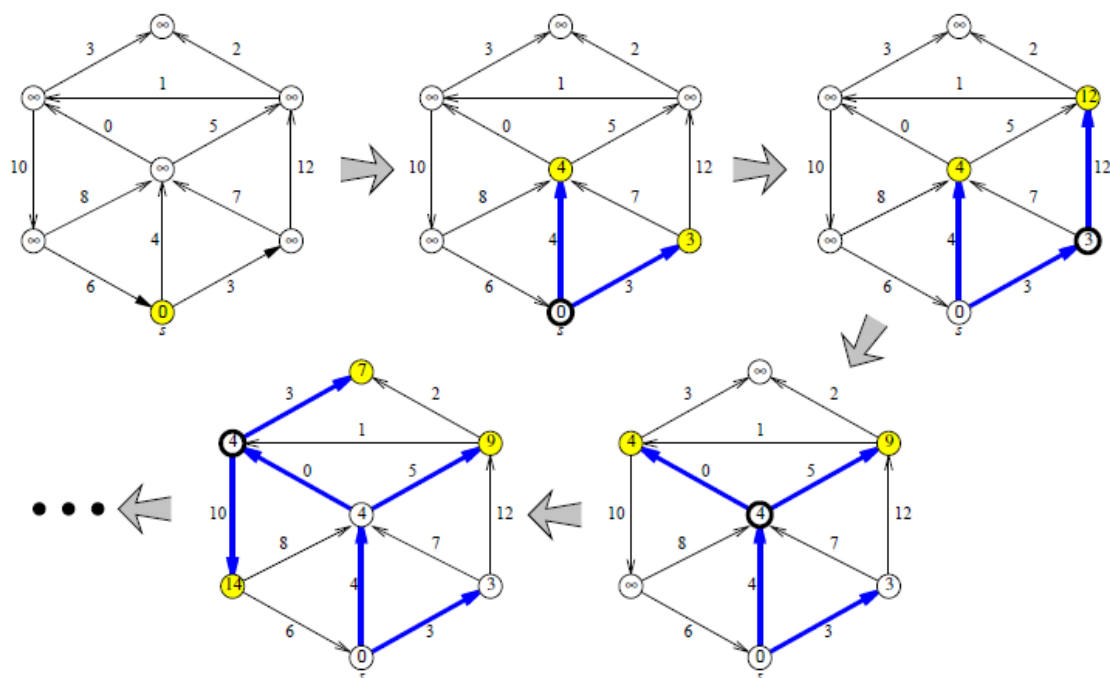
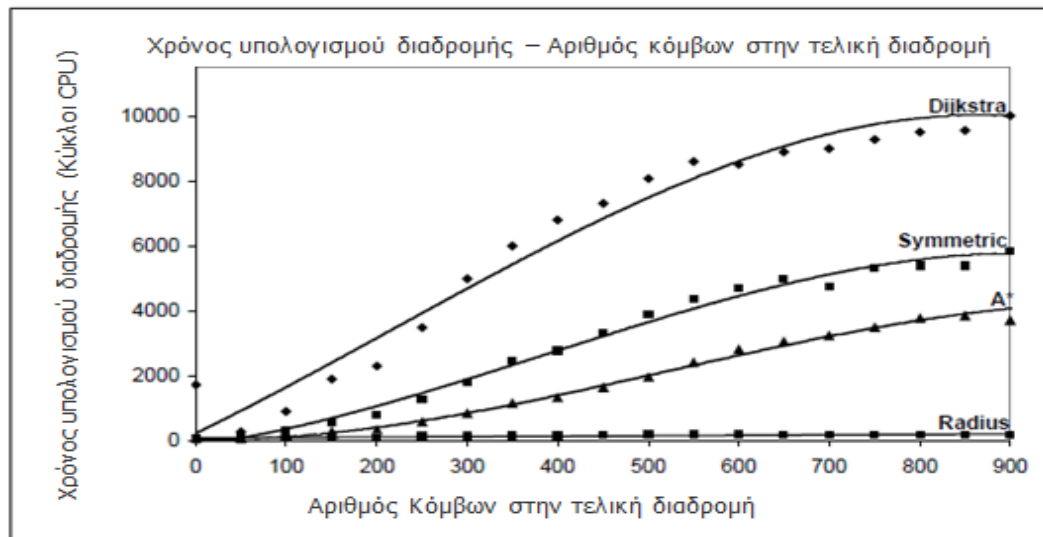
συνάρτηση διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας τα χωρικά χαρακτηριστικά του δικτύου, παράγοντας ο οποίος δεν λαμβάνεται υπόψη στις προηγούμενες τεχνικές. Ο αλγόριθμος A* είναι γενικά πολύ πιο γρήγορος από αυτόν του Dijkstra (Εικόνα 6) όμως δεν μπορεί πάντα να εγγυηθεί για το βέλτιστο αποτέλεσμα. Η ταχύτητά του εξαρτάται από την απόκλιση της κάθε φορά πραγματικής από την εκτιμώμενη από την συνάρτηση απόστασης μεταξύ $u \rightarrow v$, όσο πιο κοντά στην πραγματική τόσο πιο γρήγορος και ο αλγόριθμος.

Ακτινικός αλγόριθμος (Radius)

Οι μέχρι τώρα αναφερθείσες τεχνικές ελέγχουν το δίκτυο στο σύνολό του. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος ακολουθεί μία διαδικασία αποκλεισμού απ' την εξέταση, κόμβων οι οποίοι βρίσκονται "μακριά" από τους κόμβους προέλευσης και προορισμού. Για κάθε κόμβο i μέσα στο δίκτυο υπολογίζεται μία ακτίνα $r(i)$ για το κάθε σημείο. Αν με κέντρο το i και ακτίνα την υπολογισμένη $r(i)$ κανένα από τα σημεία προέλευσης ή προορισμού δεν βρίσκονται εντός του κύκλου τότε το συγκεκριμένο σημείο i αποκλείεται από πιθανό σημείο της ελάχιστης διαδρομής. Η διαδικασία όμως του υπολογισμού της ακτίνας $r(i)$ για κάθε σημείο μπορεί να αποδειχθεί δύσκολη διαδικασία και απαιτεί καλή γνώση και μελέτη των χαρακτηριστικών του δικτύου. Επιτυγχάνεται μέσω ευριστικών τεχνικών και δοκιμών. Σε σχετική μελέτη⁽⁴¹⁾, γίνεται σύγκριση των διαθέσιμων τεχνικών για την εύρεση ελάχιστης διαδρομής σε πραγματικό δίκτυο. Τα αποτελέσματά της δείχνουν πως ο αλγόριθμος του Dijkstra αν και με την απλή του μορφή δεν δίνει εξαιρετικά αποτελέσματα εντούτοις με ορισμένες βελτιώσεις αποτελεί προτεινόμενος αλγόριθμος εύρεσης ελάχιστης διαδρομής ακόμη και σε ρεαλιστικά δίκτυα.

Όλοι οι παραπάνω αλγόριθμοι λειτουργούν σε 2 στάδια. Στο πρώτο γίνεται μία προετοιμασία του δικτύου (γράφου). Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει μέχρι και μερικές ώρες σε ρεαλιστικά προβλήματα^(42,43). Στο δεύτερο στάδιο ορίζονται ο κόμβος προέλευσης και ο κόμβος προορισμού. Ο χρόνος εκτέλεσης του αλγορίθμου για την εύρεση της ελάχιστης απόστασης μεταξύ προέλευσης και προορισμού είναι της τάξης του δευτερολέπτου. Για οποιαδήποτε αλλαγή στα χαρακτηριστικά του δικτύου όμως (πχ αλλαγή στις τιμές διοδίων), απαιτείται εκ νέου προετοιμασία του, διαδικασία που όπως προαναφέρθηκε διαρκεί πολύ. Ορισμένες μελέτες έχουν δώσει έμφαση στην μείωση αυτού του χρόνου όταν οι αλλαγές στο δίκτυο είναι λίγες και είναι δυνατή η ανανέωση του πίνακα κόστους αντί του εκ νέου υπολογισμού του^(44,45).

Σύγκριση της ταχύτητας επίλυσης σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων του δικτύου δίνεται στην Εικόνα 6. Παρατηρούμε πως ο αλγόριθμος του Dijkstra υστερεί σε ταχύτητα σε σχέση με τους υπόλοιπους. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας η ταχύτητα εύρεσης αποτελεσμάτων (της τάξης 1-2 δευτερολέπτων) σε σχέση με την ευκολία υλοποίησης του συγκεκριμένου αλγορίθμου η χρησιμοποίηση του κρίνεται ικανοποιητική.

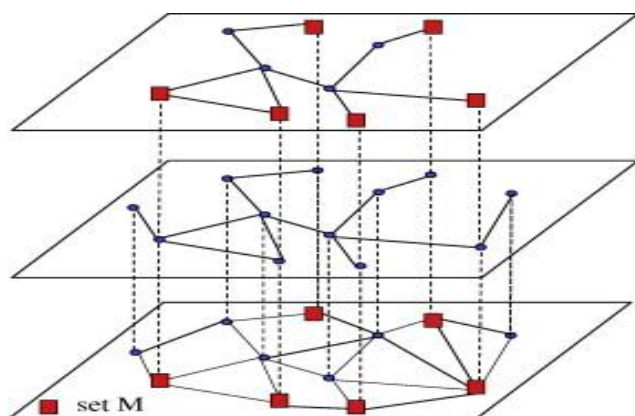


Εικόνα 6: (Πάνω) Συγκριτικός πίνακας χρόνου εκτέλεσης των παραπάνω αλγορίθμων σε σχέση με τον αριθμό των κόμβων στο δίκτυο.

(Κάτω) Τέσσερα στάδια του αλγορίθμου Dijkstra κατά την εφαρμογή του σε δίκτυο με μη αρνητικά βάρη στους συνδέσμους. Σε κάθε στάδιο οι σκιασμένοι κόμβοι έχουν ελεγχθεί και ο έντονος κόμβος είναι αυτός που εξετάζεται σε αυτό το στάδιο. Οι μπλε σύνδεσμοι περιγράφουν το αναπτυσσόμενο δέντρο ελαχίστων διαδρομών.

2.2.3 Προβλήματα εύρεσης ελάχιστης διαδρομής σε μεγάλα δίκτυα

Γενικό πρόβλημα όλων των αλγορίθμων εύρεσης ελάχιστης διαδρομής (χωρίς να αποτελεί εξαίρεση ο αλγόριθμος του Dijkstra ο οποίος και χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη της εφαρμογής) είναι η ανάγκη αποθήκευσης του μητρώου που περιέχει τα βάρη των δικτύων στην μνήμη του υπολογιστή^(46,47). Με την χρησιμοποίηση μεγάλων δικτύων οι απαιτήσεις σε μνήμη αυξάνουν σε τέτοιο βαθμό που δεν είναι εύκολη η άμεση επεξεργασία τους. Ο χρόνος προετοιμασίας του δικτύου ώστε να μπορεί να εφαρμοσθεί ο αλγόριθμος του Dijkstra (η δημιουργία του πίνακα κόστους μεταξύ των γειτονικών κόμβων δηλαδή) αυξάνει πολύ πιο γρήγορα πα' ότι το μέγεθος του δικτύου. Γι' αυτό το λόγο απαιτείται μια διαδικασία κατακερματισμού του δικτύου. Στην βιβλιογραφία η διαδικασία αναφέρεται ως fragmentation⁴⁸ ή partitioning⁴⁹. Η γενική ιδέα είναι η εύρεση των ελαχίστων διαδρομών σε μικρότερα τμήματα του δικτύου και η σύνδεση αυτών των μικρότερων τμημάτων μέσω κοινών κόμβων (border nodes)^(50,51,52). Το δίκτυο υποδιαιρείται σε μικρότερα τμήματα με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε κομμάτι να έχει κοινά σημεία (κόμβους) με όλα τα γειτονικά του, τα οποία σημεία και ονομάζουμε "σύνορα" (borders). Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται "περάσματα" από το ένα κομμάτι του δικτύου στο άλλο. Έπειτα υπολογίζονται οι βέλτιστες διαδρομές μεταξύ αυτών των "συνόρων", μέσα στο κάθε κομμάτι του διαιρεμένου δικτύου και δημιουργείται ένα δίκτυο βέλτιστων διαδρομών μεταξύ των "συνόρων" αυτών. Τελικά το δίκτυο συνενώνεται σ' ένα ενιαίο δίκτυο (απλοποιημένο δίκτυο) μέσω των "περασμάτων". Αναλυτική περιγραφή της προσέγγισης γίνεται στο κεφάλαιο 3.3.1. Ουσιαστικά σε δίκτυο N κόμβων ορίζουμε ένα υποσύνολο m κόμβων στο ποίο και βρίσκουμε τις ελάχιστες διαδρομές μεταξύ αυτών⁽⁵³⁾ (Εικόνα 7). Αξίζει να σημειωθεί άλλο ένα μειονέκτημα που παρουσιάζεται στα πολύ πυκνά δίκτυα όταν εφαρμόζονται τεχνικές εύρεσης των k -βέλτιστων διαδρομών. Λόγω της μεγάλης πυκνότητας των δικτύων εμφανίζεται μεγάλος αριθμός εναλλακτικών διαδρομών μεταξύ ενός κόμβου προέλευσης και ενός προορισμού οι οποίες διαφέρουν σε ελάχιστα σημεία^{(18),(54),(55)}. Αντίθετα σε ένα απλοποιημένο δίκτυο σαν και αυτό που δημιουργήθηκε με την ανωτέρα διαδικασία οι k -βέλτιστες διαδρομές διαφέρουν ουσιαστικά και πρακτικά μεταξύ τους.



Δίκτυο ελαχίστων διαδρομών μεταξύ των m κόμβων - "συνόρων" (Τετράγωνοι κόμβοι)

minimum of shortest paths between all node pairs.

Υποκείμενη Τοπολογία

Underlying Topology $G(N,L)$

Εικόνα 7 Δημιουργία δικτύου ελαχίστων διαδρομών μεταξύ m αριθμού κόμβων

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Για την κατανόηση της εφαρμογής απαιτείται ένα υπόβαθρο που καλύπτει θέματα αναπαράστασης και μοντελοποίησης δικτύων σε περιβάλλον GIS, προγραμματισμό σε περιβάλλον GIS, και στοιχεία σχετικά με το πρόγραμμα πληροφοριών του ETIS.

3.1 Αναπαράσταση συγκοινωνιακών δικτύων σε περιβάλλον GIS.

3.1.1 Δομές δεδομένων στα γεωγραφικών συστήματα πληροφοριών

Το **Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών** (ΣΓΠ), γνωστό ευρέως και ως GIS. Geographic Information Systems, είναι σύστημα διαχείρισης χωρικών δεδομένων (spatial data) και συσχετισμένων ιδιοτήτων. Στην πιο αυστηρή μορφή του είναι ένα ψηφιακό σύστημα, ικανό να ενσωματώσει, αποθηκεύσει, προσαρμόσει, αναλύσει και παρουσιάσει γεωγραφικά συσχετισμένες (geographically-referenced) πληροφορίες. Σε πιο γενική μορφή, ένα ΣΓΠ είναι ένα εργαλείο "έξυπνου χάρτη", το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του να αποτυπώσουν μια περίληψη του πραγματικού κόσμου, να δημιουργήσουν διαδραστικά ερωτήσεις χωρικού ή περιγραφικού χαρακτήρα (αναζητήσεις δημιουργούμενες από τον χρήστη), να αναλύσουν τα χωρικά δεδομένα (spatial data), να τα προσαρμόσουν και να τα αποδώσουν σε αναλογικά μέσα (εκτυπώσεις χαρτών και διαγραμμάτων) ή σε ψηφιακά μέσα (αρχεία χωρικών δεδομένων, διαδραστικοί χάρτες στο Διαδίκτυο). Τα συστήματα GIS, όπως και τα συστήματα CAD, αποτυπώνουν χωρικά δεδομένα σε γεωγραφικό ή χαρτογραφικό ή καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Βασικό χαρακτηριστικό των ΣΓΠ είναι ότι τα χωρικά δεδομένα συνδέονται και με περιγραφικά δεδομένα, π.χ. μια ομάδα σημείων που αναπαριστούν θέσεις πόλεων συνδέεται με ένα πίνακα όπου κάθε εγγραφή εκτός από τη θέση περιέχει πληροφορίες όπως ονομασία, πληθυσμός κλπ.

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) είναι πληροφοριακά συστήματα (Information Systems) που παρέχουν την δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με τον χώρο. Τα δεδομένα αυτά συνήθως λέγονται γεωγραφικά ή χαρτογραφικά ή χωρικά (spatial) και μπορεί να συσχετίζονται με μια σειρά από περιγραφικά δεδομένα τα οποία και τα χαρακτηρίζουν μοναδικά.

Η χαρακτηριστική δυνατότητα που παρέχουν τα GIS είναι αυτή της σύνδεσης της χωρικής με την περιγραφική πληροφορία (η οποία δεν έχει από μόνη της χωρική υπόσταση). Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την λειτουργία αυτή βασίζεται:

- Είτε στο σχεσιακό (relational) μοντέλο δεδομένων, όπου τα περιγραφικά δεδομένα πινακοποιούνται χωριστά και αργότερα συσχετίζονται με τα χωρικά δεδομένα μέσω κάποιων μοναδικών τιμών που είναι κοινές και στα δύο είδη δεδομένων.

- Είτε στο αντικειμενοστραφές (object-oriented) μοντέλο δεδομένων, όπου τόσο τα χωρικά όσο και τα περιγραφικά δεδομένα συγχωνεύονται σε αντικείμενα, τα οποία μπορεί να μοντελοποιούν κάποια αντικείμενα με φυσική υπόσταση (π.χ. κατηγορία = "δρόμος", όνομα = "Πανεπιστημίου", γεωμετρία = "[X1,Y1],[X2,Y2]...", πλάτος = "20μέτρα").

Το αντικειμενοστραφές μοντέλο τείνει να χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές GIS εξαιτίας των αυξημένων δυνατοτήτων του σε σχέση με το σχεσιακό μοντέλο της δυνατότητας που παρέχει για την εύκολη και απλοποιημένη μοντελοποίηση σύνθετων φυσικών φαινομένων και αντικειμένων με χωρική διάσταση.

Δομές δεδομένων

Σε ένα ΣΓΠ τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρίστανται με δύο βασικές δομές: την διανυσματική δομή και τη ψηφιδωτή δομή. Σε όλα τα ΣΓΠ οι δύο δομές αποδίδονται ταυτόχρονα σε κοινές απεικονίσεις ενώ πολλά λογισμικά GIS προσφέρουν την δυνατότητα μετάβασης από τη μία δομή στην άλλη.

Οι τρεις βασικοί τύποι γεωμετριών: Γραμμή, Σημείο, Πολύγωνο

1. **Διανύσματα (Vector).** Όλα τα χωρικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν με τρεις βασικούς τύπου γεωμετριών: σημεία, γραμμές, πολύγωνα. Έτσι για την απόδοση της θέσης μια πόλης σε ένα χάρτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σημείο, για την αποτύπωση του οδικού δικτύου μια γραμμή αποτελούμενη από πολλές κορυφές και για την αποτύπωση μιας ιδιοκτησίας ένα πολύγωνο. Στην ουσία τα πάντα αναπαρίστανται από γραμμές. Το σημείο είναι μια γραμμή μηδενικού μήκους, ενώ το πολύγωνο είναι μια ακολουθία γραμμών με αρχή και τέλος την ίδια κορυφή. Η γεωμετρία που θα υιοθετηθεί για το συμβολισμό ενός αντικειμένου εξαρτάται από την κλίμακα απεικόνισης και το σκοπό της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Έτσι π.χ. σε μια πολύ μεγάλη κλίμακα (1:1000) τα κτίσματα αποτυπώνονται ως πολύγωνα, ενώ σε μικρότερες κλίμακες (1:10.000) είναι ορθότερο να χρησιμοποιηθεί η γεωμετρία του σημείου. Τέλος κάθε γεωμετρία συνδέεται με μια σχέση 1-1 με μια εγγραφή σε ένα πίνακα περιγραφικών χαρακτηριστικών.

2. **Ψηφιδωτά (Raster).** Η ψηφιδωτή δομή δεδομένων χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που το χωρικό φαινόμενο που αποτυπώνεται χαρακτηρίζεται ως συνεχής μεταβλητή (π.χ. το υψόμετρο του εδάφους, η κατανομή του θορύβου) ή σε περιπτώσεις που στο ΣΓΠ θέλουμε να ενσωματώσουμε μια δορυφορική εικόνα ή μια σαρωμένη αεροφωτογραφία. Οι ψηφιδωτές δομές δεδομένων έχουν περιορισμένες δυνατότητες σύνδεσης με περιγραφικά χαρακτηριστικά. Παράδειγμα πληροφορίας ψηφιδωτής δομής σε ένα GIS είναι η εικόνα που φαίνεται παραπάνω (Χάρτης Οικιστικής Πυκνότητας) που περιέχει την πληροφορία του αριθμού κατοικιών ανά εκτάριο σε ψηφιδωτή δομή.

3.1.2 Αναπαράσταση συγκοινωνιακών δικτύων σε περιβάλλον GIS

Τα συγκοινωνιακά δίκτυα τα οποία αναπαριστώνται σε περιβάλλον GIS είναι της μορφής Vector αποτελούνται δηλαδή από διανύσματα (σύνδεσμοι) και σημεία (κόμβοι) πάνω στον χάρτη τα οποία σχετίζονται με πληροφορία. Το κάθε κομμάτι που απαρτίζει το σύνολο των διανυσμάτων ή των κόμβων ονομάζεται "στοιχείο". Οι σύνδεσμοι του δικτύου και οι κόμβοι του αποτυπώνονται σε διαφορετικά στρώματα (layers) πάνω στο κύριο στρώμα το οποίο είναι ο χάρτης. Στα προγράμματα GIS το κάθε στρώμα είναι συνδεδεμένο με έναν ξεχωριστό πίνακα (table) ο οποίος περιέχει όλη την πληροφορία σχετικά με αυτό. Τέτοιου είδους πληροφορία μπορεί να είναι το είδος του συνδέσμου (οδικός/ σιδηροδρομικός/ θαλάσσιος σύνδεσμος), το μήκος του, το όνομα του, η ταχύτητα ελεύθερης ροής, η χώρα στην οποία ανήκει, το κόστος διοδίων ή οποιαδήποτε άλλη πληροφορία θέλουμε να συσχετιστεί με το κάθε στοιχείο του στρώματος. Η πληροφορία αυτή αποθηκεύεται σε βάσεις δεδομένων ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμη και να ενημερώνεται όποτε αυτό χρειάζεται. Η βάση αυτή συνοδεύεται από τα απαραίτητα metadata (επιπλέον στοιχεία για το είδος των πληροφοριών που συλλέγονται στη βάση ή διευκρινήσεις σχετικά με κάποιο πεδίο) ώστε ο μελετητής να την κατανοεί καλύτερα.

Η γεωσυσχέτιση (δηλαδή ο συσχετισμός του διανύσματος ή κόμβου με την θέση του πάνω στην γη) γίνεται μέσω ενός συστήματος συντεταγμένων. Η πληροφορία σχετικά με την θέση του κάθε στοιχείου πάνω στον χάρτη δεν είναι εύκολα προσβάσιμη από τον απλό χρήστη και την διαχειρίζεται αποκλειστικά το λογισμικό GIS. Στην περίπτωση του δικτύου ETIS έχει γίνει η επιλογή χρησιμοποίησης του γεωγραφικού συστήματος συντεταγμένων GCS_WGS_1984.

Τα συγκοινωνιακά δίκτυα του ETIS και του ETIS-Plus δεν αναπαριστούν με πλήρη ακρίβεια και λεπτομέρεια το συγκοινωνιακό δίκτυο της Ευρώπης, αφού αποτυπώνουν κυρίως τους σημαντικότερους άξονες κάθε χώρας. Γι' αυτό το λόγο δεν ενδείκνυται η χρησιμοποίησή τους σε προβλήματα αστικών συγκοινωνιών. Αποτελούν όμως χρήσιμα εργαλεία στην προσπάθεια μοντελοποίησης του συνόλου του ευρωπαϊκού δικτύου (αυτός είναι και ο αρχικός στόχος δημιουργίας τους) κάτι που τα καθιστά κατάλληλα για την χρησιμοποίησή τους πρόβλημα εύρεσης βέλτιστης διαδρομής σε διεθνές επίπεδο (το οποίο και εξετάζουμε).

3.1.3 Οι πληροφορίες της βάσης δεδομένων του ETIS

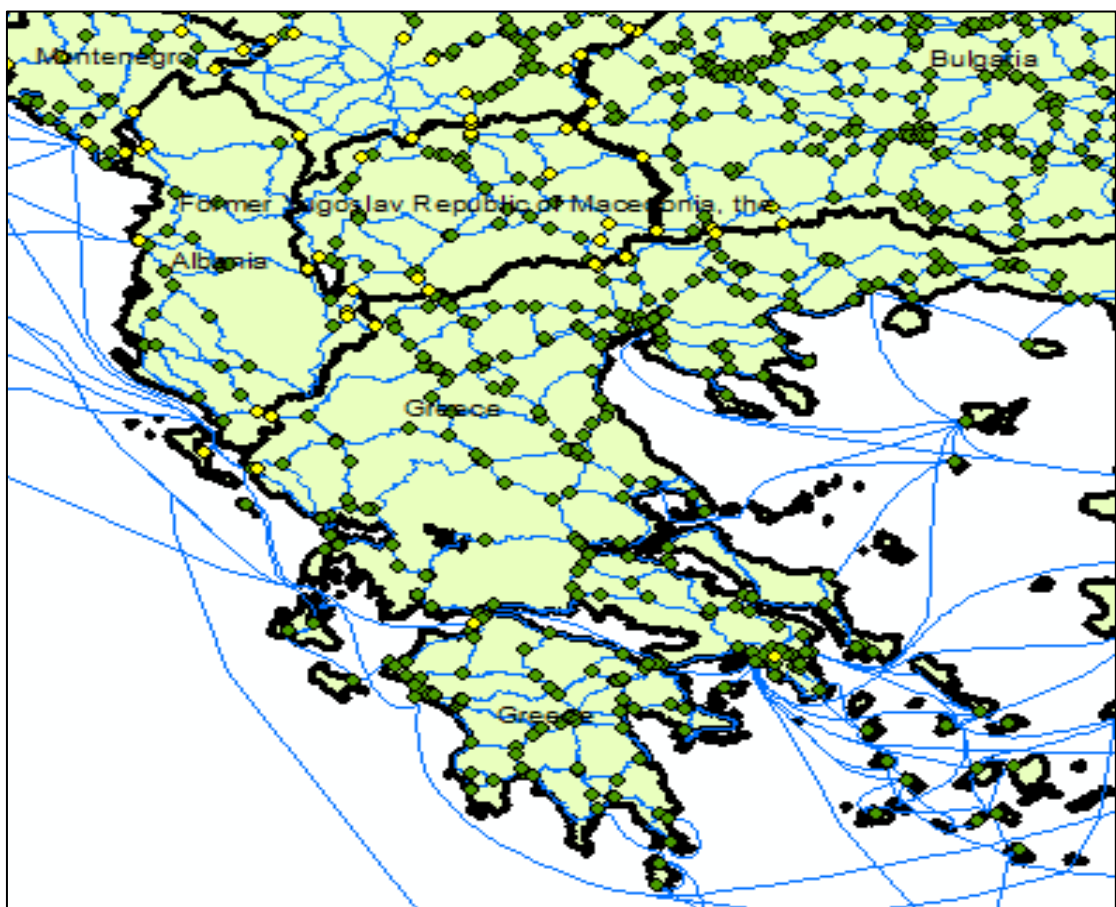
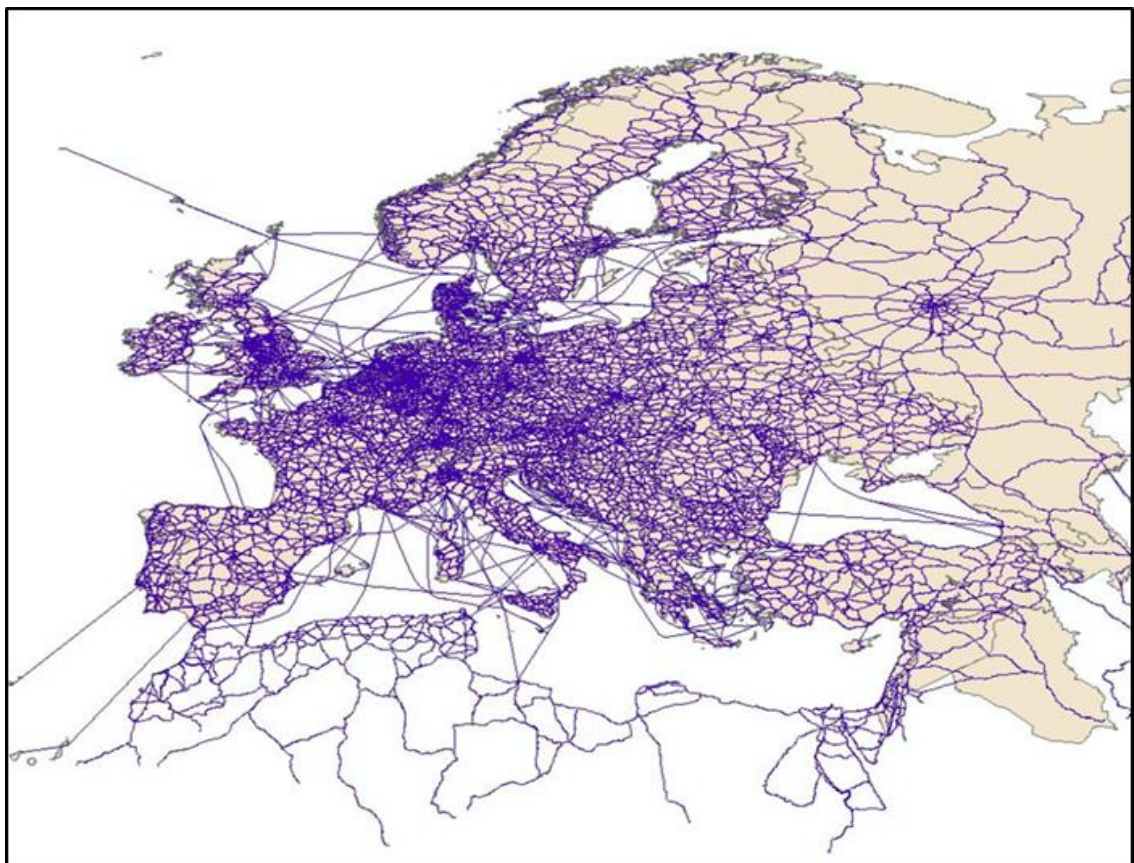
Το σύστημα ETIS περιλαμβάνει μια βάση δεδομένων και ένα σύνολο δικτύων (οδικό, θαλάσσιο, σιδηροδρομικό, αεροπορικό, και εσωτερικών πλωτών μεταφορών). Οι σύνδεσμοι των δικτύων του ETIS περιέχουν πληροφορίες (attributes) όπως το μήκος του συνδέσμου, η χώρα στην οποία ανήκει, ο αριθμός των λωρίδων, το είδος του κτλ. Αναλυτική περιγραφή των γνωρισμάτων (attributes) της βάσης δεδομένων του κάθε δικτύου δίνεται στο Παράρτημα. Οι πληροφορίες που βρίσκονται στην βάση δεδομένων του ETIS έχουν συλλεχθεί κυρίως από την Eurostat και από την ομάδα των Ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων που αφορούν στη δημιουργία της βάσης του ETIS. Παρακάτω συνοψίζονται οι κυριότερες πληροφορίες που παρέχονται.

Βασικά στοιχεία που περιλαμβάνονται στη βάση του ETIS σχετικά με τους συνδέσμους του δικτύου οδικών και θαλάσσιων μεταφορών:

- Κόμβος αρχής – Κόμβος τέλους
- Χώρα, κωδικός γεωγραφικής ζώνης
- Συνοριακός σύνδεσμος ή μη
- Εθνικό όνομα συνδέσμου - Ευρωπαϊκό όνομα
- Χαρακτηρισμός (Ευρωπαϊκός Αυτοκινητόδρομος, Ευρωπαϊκός δρόμος, άλλος δρόμος) - Κατηγορία οδού (Αυτοκινητόδρομος, επαρχιακός με διαχωριστική νησίδα ή χωρίς, αστικός, θαλάσσιος)
- Οδός μονής ή διπλής κατεύθυνσης - Αριθμός λωρίδων
- Μήκος συνδέσμου
- Ταχύτητα ελεύθερης ροής για επιβατικά και φορτηγά
- Ωριαία χωρητικότητα
- ΕΜΗΚ (Σύνολο, επιβατικά, φορτηγά και κατά UN/ECE)
- Κόστος διοδίων για επιβατικά και φορτηγά (ανοιγμένο στο μήκος του συνδέσμου)
- Κόστος καυσίμου για επιβατικά και φορτηγά
- Σύνολο επιβατών και τόνων ανά χρόνο

Στην περίπτωση θαλάσσιου συνδέσμου:

- Συχνότητα θαλάσσιων δρομολογίων ανά ημέρα
- Μέσο κόστος ναύλου πλοίου για επιβάτες και φορτηγά
- Μέσος χρόνος αναμονής στο λιμάνι



Εικόνα 8: Το συνολικό συγκοινωνιακό δίκτυο του ETIS (άνω Εικόνα) – και το δίκτυο κόμβων και συνδέσμων στην περιοχή της Ελλάδας (κάτω Εικόνα)

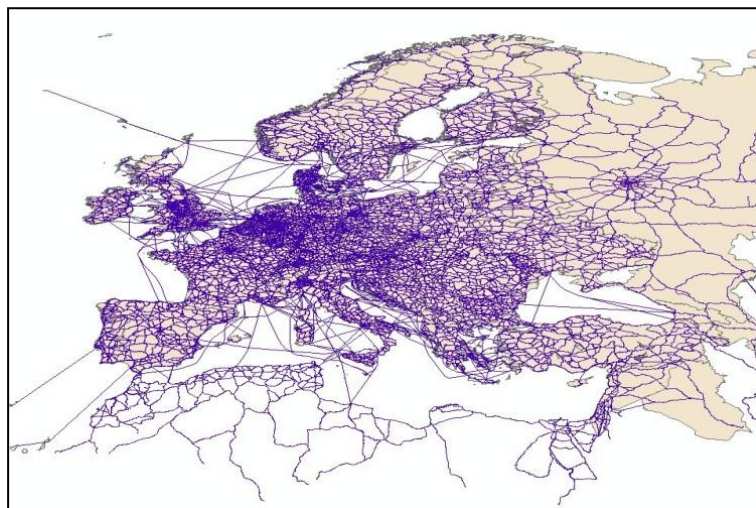
3.3 Μεθοδολογική προσέγγιση του προβλήματος

Η εύρεση της ελάχιστης διαδρομής με βάση κάποιο συγκεκριμένο κριτήριο σε περιβάλλον GIS είναι δυνατή μέσω των εργαλείων που παρέχονται από τις εφαρμογές GIS. Τα εργαλεία αυτά όμως δεν επιτρέπουν την αναζήτηση βέλτιστης διαδρομής λαμβάνοντας υπόψη δεδομένα σχετικά με τα ωράρια εργασίας των οδηγών ή τα χρονοδιαγράμματα αναχωρήσεων και αφίξεων πλοίων από τα λιμάνια ή στοιχεία καθυστερήσεων λόγω ελέγχων κάτι που επιτυγχάνεται μέσω της εφαρμογής που αναπτύχθηκε. Ο γενικός στόχος της όλης διαδικασίας είναι να δημιουργηθεί μία εφαρμογή η οποία θα επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικά με διαφορετικά σενάρια και συνθήκες δρομολόγησης έτσι ώστε να διευκολύνεται η λήψη αποφάσεων.

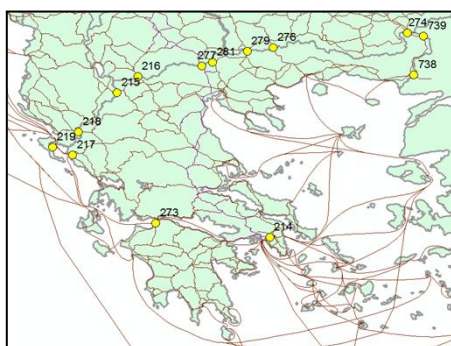
3.3.1 Παραγωγή "δικτύου ελαχίστων διαδρομών"

Ένα βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι διαθέσιμοι αλγόριθμοι εύρεσης ελάχιστης διαδρομής σε δίκτυο (κατηγορία στη οποία ανήκει και ο αλγόριθμος του Dijkstra) είναι η απαίτηση τους για έναν πολύ μεγάλο μεγέθους πίνακα κόστους για τους γειτονικούς συνδέσμους του δικτύου. Επίσης, η ταχύτητα του αλγορίθμου εύρεσης ελάχιστης διαδρομής μειώνεται με μεγάλο ρυθμό όσο αυξάνεται το μέγεθος του δικτύου (βάσης δεδομένων) που χρησιμοποιούμε. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός πως ο χρόνος που χρειάζεται για να αντλήσουμε οποιαδήποτε πληροφορία για το δίκτυο επηρεάζεται σημαντικά από το μέγεθος του και άρα από το μέγεθος της βάσης δεδομένων που το συνοδεύει.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ώστε να ξεπεραστεί το πρόβλημα ήταν ο κατακερματισμός του δικτύου, διαδικασία που συνηθίζεται σε τέτοιου είδους προβλήματα⁵⁶. Η "καινοτομία" στην όλη προσέγγιση έγκειται στον τρόπο με τον οποίο το δίκτυο χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα χωρίς παράλληλα να επηρεάζεται η ορθότητα των αποτελεσμάτων λόγω της απλοποίησης (σύγκριση των αποτελεσμάτων εύρεσης βέλτιστης διαδρομής στο αρχικό και έπειτα στο απλοποιημένο δίκτυο γίνεται στην Εικόνα 9). Η κεντρική ιδέα είναι πως όλες οι διαδρομές μεταξύ χωρών πρέπει υποχρεωτικά να διέρχονται από τους συνοριακούς κόμβους της κάθε χώρας ή τα λιμάνια/αεροδρόμιά της. Η διαδικασία κατακερματισμού του δικτύου βασίζεται στο γεγονός αυτό και η δημιουργία του νέου απλοποιημένου δικτύου εκτελείται σε 2 στάδια (Εικόνα 9). Στο πρώτο στάδιο αναγνωρίζονται, για την κάθε χώρα που ανήκει στο δίκτυο, όλες οι ελάχιστες διαδρομές μεταξύ των κόμβων που ανήκουν σε αυτή και αναπαριστούν εθνικά σύνορα, λιμάνια και αεροδρόμια. Οι ελάχιστες διαδρομές εξάγονται με βάση ένα από τα παρακάτω κριτήρια (α) χρόνος, (β) λειτουργικό κόστος, (γ) γενικευμένο κόστος διαδρομής. Σε δεύτερη φάση τα υπο-δίκτυα που δημιουργήθηκαν από την παραπάνω διαδικασία συνθέτονται σε ένα ενιαίο δίκτυο. Η Εικόνα 9 απεικονίζει την παραπάνω διαδικασία.



Το αρχικό πυκνό δίκτυο του ETIS (Οδικό και θαλάσσιο)



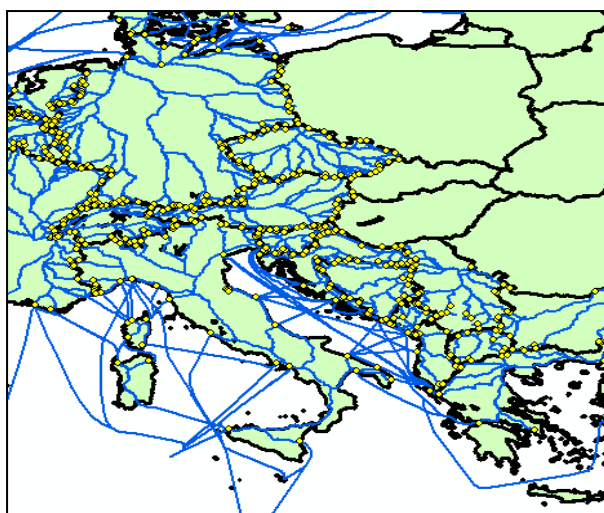
Το αρχικό δίκτυο του ETIS για την Ελλάδα στο οποίο έχουν εντοπιστεί οι συνοριακοί κόμβοι και τα λιμάνια



Το “εθνικό” υπό-δίκτυο αποτελούμενο από τις ελάχιστες διαδρομές (χρόνος, λειτουργικό, γενικευμένο κόστος, χιλιομετρική απόσταση)

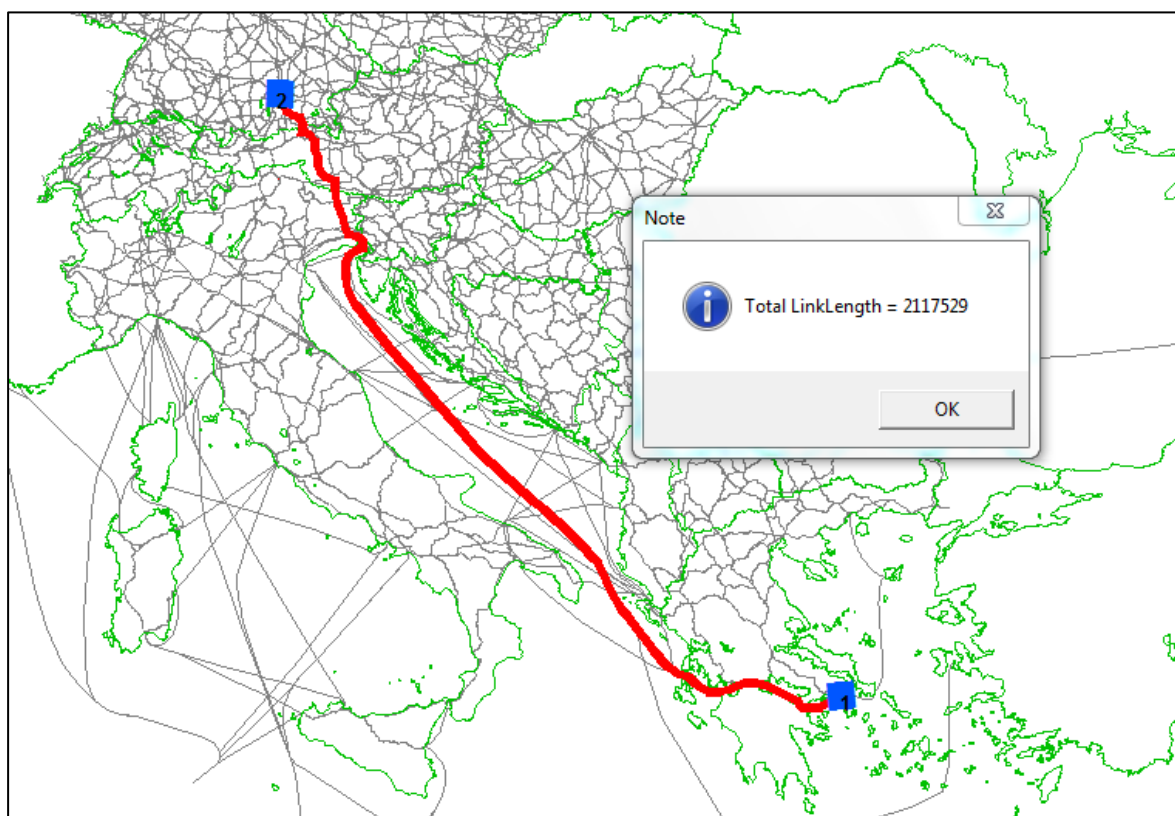
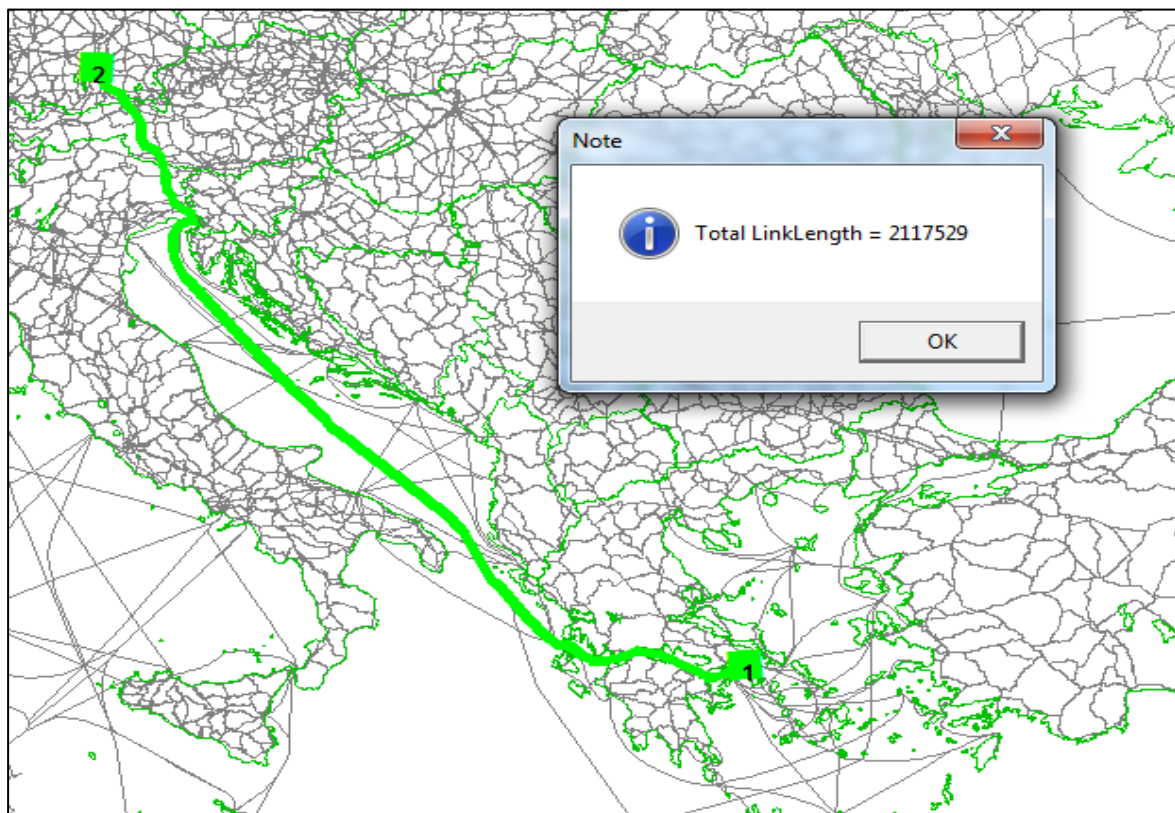


Επανάληψη της διαδικασίας για όλες τις χώρες ή όσες επιλεγούν



Το απλοποιημένο δίκτυο που περιέχει όλες τις χώρες στον άξονα Ελλάδα - Γερμανία

Εικόνα 9: Το οδικό και θαλάσσιο δίκτυο ETIS (επάνω) και το δίκτυο ελαχίστων διαδρομών μεταξύ κόμβων προέλευσης προορισμού, συνοριακών κόμβων (συνοριακοί κόμβοι και λιμένες στον άξονα Ελλάδα – Γερμανία)

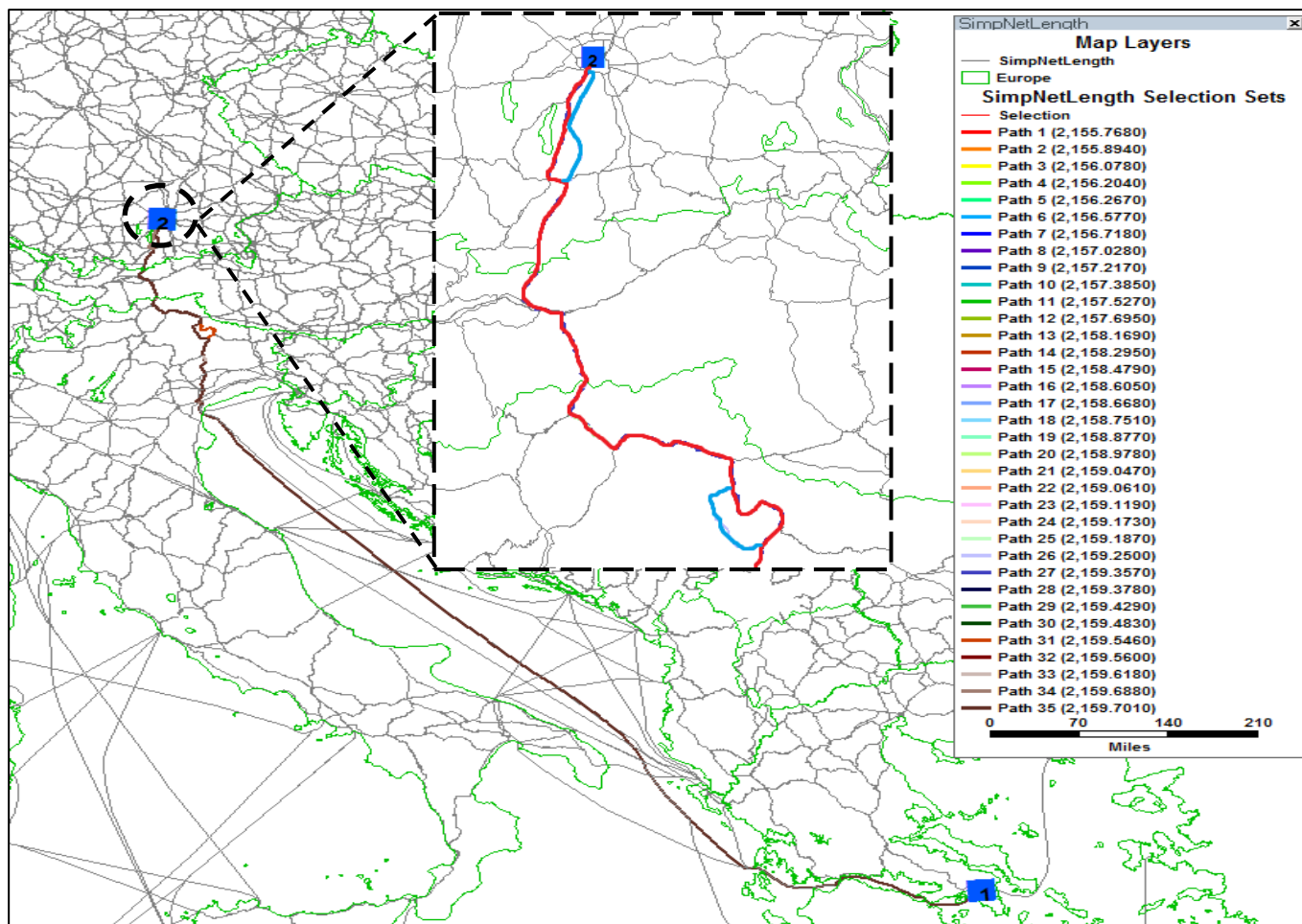


Εικόνα 10: Έλεγχος εγκυρότητας απλοποιημένου δικτύου με το λογισμικό Transcad προγράμματος: Η ελάχιστη διαδρομή στο πλήρες δίκτυο (άνω εικόνα) ταυτίζεται με την ελάχιστη διαδρομή στο απλοποιημένο δίκτυο (κάτω εικόνα)

Με την παραπάνω διαδικασία καταφέρνουμε να μειώσουμε το μέγεθος του πίνακα που απαιτείται για την υλοποίηση του αλγορίθμου Dijkstra από $[40.000 \times 40.000]$ (μέγεθος πίνακα που απαιτείται στο συνολικό δίκτυο) σε $[1.500 \times 1.500]$. Το μέγεθος του απλοποιημένου δικτύου είναι μόλις το 4% σε σχέση με αυτό του αρχικού χωρίς να επηρεάζεται η ακρίβεια της προσέγγισης. Με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζουμε το κύριο πρόβλημα του αλγορίθμου Dijkstra όταν αυτός χρησιμοποιείται σε μεγάλα δίκτυα, το οποίο είναι η ανάγκη για αποθήκευση ενός πολύ μεγάλου μεγέθους πίνακα που περιέχει τα κόστη μεταξύ των γειτονικών κόμβων στο δίκτυο. Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του απλοποιημένου δικτύου είναι η δυνατότητα που δίνει στον προσδιορισμό των κ-βέλτιστων εναλλακτικών διαδρομών οι οποίες διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους μέσω της τεχνικής του γενικευμένου κόστους (βλ Κεφάλαιο 3.3.2).

Στην Εικόνα 11 εμφανίζονται τα αποτελέσματα από την εύρεση των 35 ελάχιστων διαδρομών στο αρχικό δίκτυο του ETIS όπως εκτελέστηκε μέσω του λογισμικού Transcad. Παρατηρούμε πως οι 35 προτεινόμενες διαφορές παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της πυκνότητας του δικτύου και της δυνατότητας εύκολης εύρεσης από τον αλγόριθμο πολλών εναλλακτικών διαδρομών που πλησιάζουν την βέλτιστη. Ακόμη όμως και στην περίπτωση που τροφοδοτηθεί με το απλοποιημένο δίκτυο που δημιουργήθηκε με την διαδικασία που εξετάζεται προηγουμένως οι εναλλακτικές διαδρομές διαφέρουν περισσότερο μεταξύ αλλά όχι ουσιαστικά μεταξύ τους.

Η εικόνα 11 παρουσιάζει τον τρόπο αναζήτησης εναλλακτικών διαδρομών: (α) με τον αλγόριθμο K-best του προγράμματος Transcad (άνω εικόνα) και (β) μέσω του αλγορίθμου Dijkstra και κριτήριο βελτιστοποίησης το γενικευμένο κόστος. Όπως έχει αναφερθεί και στην παράγραφο 2.2.3 η αναζήτηση εναλλακτικών διαδρομών μέσω αλγορίθμων k-best οδηγεί σε διαδρομές οι οποίες ελάχιστα διαφέρουν μεταξύ τους. Αυτό παρατηρείται και στην Εικόνα 11 στην οποία παρουσιάζονται οι 35 συντομότερες (35-best) διαδρομές μεταξύ Αθήνας και Μονάχου. Επειδή το σύστημα καταρρέει αν ζητηθεί μεγάλος αριθμός εναλλακτικών λύσεων είναι πιθανόν να μην μπορούν να παραχθούν εναλλακτικές λύσεις που να διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους. Αντίθετα η εφαρμογή του αλγορίθμου Dijkstra με κριτήριο βελτιστοποίησης το γενικευμένο κόστος δεν έχει τέτοιο περιορισμό διότι πρόκειται για επαναληπτική διαδικασία που σε κάθε επανάληψη δίνει και ένα αποτέλεσμα. Προφανές μειονέκτημα είναι πως ο απαιτούμενος υπολογιστικός φόρτος είναι πολύ περισσότερος. Η εικόνα 11 (κάτω μέρος) εμφανίζει μία εναλλακτική διαδρομή, που έχει μεγαλύτερο κόστος από την διαδρομή ελαχίστου κόστους αλλά φθάνει νωρίτερα στον προορισμό ακολουθώντας μία διαφορετική διαδρομή μήκους 500km



Διαδρομή ελαχίστου χρόνου

76,7 h

1857 €

■■■■■■■

**Διαδρομή ελαχίστου
λειτουργικού κόστους**

78,14 h

1736 €

+++++

**Διαδρομές ελαχίστου
γενικευμένου κόστους**

77,09 h

1801 €

Εικόνα 11: Αναζήτηση εναλλακτικών διαδρομών με τον αλγόριθμο K-best του προγράμματος Transcad (άνω εικόνα) και τον αλγόριθμο Dijkstra και κριτήριο βελτιστοποίησης το γενικευμένο κόστος (κάτω εικόνα)

Αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας

Αναλυτικά τα βήματα που ακολουθεί το πρόγραμμα για την δημιουργία του απλοποιημένου δικτύου:

1. Αρχικά το πρόγραμμα πρέπει να αναγνωρίσει ποιοι κόμβοι του δικτύου αποτελούν συνοριακούς κόμβους, πληροφορία η οποία (μέχρι στιγμής τουλάχιστον δεν έχει συμπεριληφθεί στον πίνακα δεδομένων των κόμβων του ETIS). Η διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται μέσω του πίνακα πληροφοριών του στρώματος των συνδέσμων ο οποίος περιέχει δεδομένα για το ποιοι σύνδεσμοι ενώνουν διαφορετικές χώρες. Στον πίνακα δεδομένων των συνδέσμων υπάρχει η στήλη CountryBorder η οποία περιέχει τις τιμές 0 ή 1. Όταν η τιμή είναι 1 σημαίνει πως ο σύνδεσμος είναι συνοριακός (διασχίζει 2 διαφορετικές χώρες). Έτσι ελέγχοντας ποιους κόμβους ενώνουν οι συνοριακοί σύνδεσμοι καταφέρνουμε να αναγνωρίσουμε και τους συνοριακούς κόμβους. Με παρόμοιο τρόπο και γνωρίζοντας ποιοι σύνδεσμοι είναι θαλάσσιοι/σιδηροδρομικοί/εναέριοι αναγνωρίζουμε και τα λιμάνια/σιδηροδρομικούς σταθμούς/αεροδρόμια του δικτύου (πληροφορία που επίσης δεν έχει συμπεριληφθεί τον πίνακα δεδομένων των κόμβων). Οι κόμβοι που αναπαριστούν λιμάνια/σιδηροδρομικούς σταθμούς/αεροδρόμια καθώς και πιθανοί κόμβοι προέλευσης και προορισμού (πχ κέντρο Αθήνας – κέντρο Μονάχου) συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των “συνοριακών κόμβων” (οι κόμβοι προέλευσης και προορισμού μπορούν να οριστούν και σε μεταγενέστερο στάδιο με επιπτώσεις όμως στην ταχύτητα εκτέλεσης του αλγορίθμου). Η ομάδα αυτή των συνοριακών κόμβων μαζί με όλων των ειδών τερματικών σταθμών που περιλαμβάνονται στο δίκτυο αποτελούν το σύνολο των κόμβων του απλοποιημένου δικτύου που θέλουμε να δημιουργήσουμε. Σε δεύτερη φάση το πρόγραμμα διαιρεί την αρχική, συνολική βάση σε μικρότερα τμήματα ώστε να την επεξεργαστούμε ταχύτερα και αποδοτικότερα. Ο κατακερματισμός της βάσης γίνεται ανά χώρα. Για την κάθε χώρα ξεχωριστά δημιουργούμε τον πίνακα “κόστους” μεταξύ των κόμβων αυτής. Με τον όρο “κόστος” αναφερόμαστε στο εκάστοτε κριτήριο με βάση το οποίο θέλουμε να βελτιστοποιηθεί η διαδρομή. Οι πίνακες κόστους που δημιουργούνται είναι οι εξής: (α) γενικευμένου κόστους (β) χρόνου ταξιδιού (γ) λειτουργικού κόστους.
2. Αφού δημιουργηθούν οι 3 πίνακες κόστους για την κάθε χώρα προχωράμε στο επόμενο βήμα που είναι η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ όλων των συνοριακών κόμβων της χώρας την οποία εξετάζουμε, χρησιμοποιώντας τον εκάστοτε πίνακα κόστους. Εκτελώντας τον αλγόριθμο του Dijkstra για κάθε συνδυασμό συνοριακών κόμβων δημιουργείται ένα δίκτυο που περιέχει μόνο τους συνοριακούς κόμβους της χώρας και τις βέλτιστες αποστάσεις μεταξύ τους. Οι τιμές των αποστάσεων χρησιμοποιούνται για να συμπληρώσουμε τον πίνακα κόστους που περιέχει μόνο τους συνοριακούς κόμβους δηλαδή τον πίνακα του τελικού απλοποιημένου δικτύου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλες τις

χώρες που περιέχονται στο δίκτυο και κάθε φορά συμπληρώνεται ο πίνακας κόστους του απλοποιημένου δικτύου μέχρις ότου εξεταστούν όλες οι χώρες. Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται εποπτικά παρακάτω:

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 9 (σελ 25) το αρχικά πυκνό δίκτυο του ETIS (στο παράδειγμα μας για την Ελλάδα) αντικαθίσταται από το πολύ πιο αραιό δίκτυο στα δεξιά. Η ακρίβεια του αλγορίθμου όμως δεν επηρεάζεται από την απλοποίηση του δικτύου. Εφόσον για οποιονδήποτε συνδυασμό συνοριακών κόμβων έχουμε βρει τις βέλτιστες διαδρομές, οι σύνδεσμοι που δεν αποτελούν μέρος κάποιας από τις βέλτιστες διαδρομές μεταξύ των συνοριακών κόμβων δεν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιηθούν και γι' αυτό αφαιρούνται από το δίκτυο.

3. Το επόμενο βήμα είναι να συνδεθούν μεταξύ τους όλες οι ελάχιστες διαδρομές μεταξύ των συνοριακών κόμβων όλων των χωρών σ' ένα ενιαίο δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται συμπληρώνοντας τον πίνακα κόστους με τις τιμές κόστους μεταξύ των γειτονικών συνοριακών κόμβων που δεν ανήκουν στην ίδια χώρα. Οι τιμές αυτές λαμβάνονται από τους συνοριακούς συνδέσμους που ήδη έχουν αναγνωρισθεί ως συνοριακοί. Μετά την ολοκλήρωση αυτού του βήματος ο πίνακας κόστους για το απλοποιημένο δίκτυο έχει οριστικοποιηθεί.

3.3.2 Υπολογισμός κόστους και χρόνου διαδρομής - Κριτήρια βελτιστοποίησης

Ο όρος ελάχιστη διαδρομή υποδηλώνει την εύρεση μίας διαδρομής μεταξύ κόμβων προέλευσης και προορισμού βελτιστοποιημένης ως προς κάποιο κριτήριο (όχι απαραίτητα το ελάχιστο μήκος της). Η εφαρμογή που αναπτύσσουμε έχει την δυνατότητα εύρεσης των ελαχίστων διαδρομών στο δίκτυο με βάση 3 κριτήρια.

1. Ελαχιστοποίηση συνολικού χρόνου ταξιδιού.

Μέσω αυτής της επιλογής η εφαρμογή βρίσκει την διαδρομή που πρέπει να ακολουθηθεί για να ολοκληρωθεί η μεταφορά στο συντομότερο δυνατό χρόνο. Εκλέγονται ταχείες οδοί και τα φορτηγά χρησιμοποιούν το πλοίο/αεροπλάνο που αναχωρεί συντομότερα ανεξαρτήτως του χρηματικού κόστους του.

2. Ελαχιστοποίηση λειτουργικού – χρηματικού κόστους ταξιδιού.

Με αυτή την επιλογή ο αλγόριθμος επιλέγει τους συνδέσμους και τα δρομολόγια με το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος. Συνήθως πρόκειται για οδούς με χαμηλότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά οι οποίες όμως δεν επιβαρύνονται με κόστη διοδίων.

3. Ελαχιστοποίηση γενικευμένου κόστους ταξιδιού.

Το γενικευμένο κόστος χρησιμοποιείται ως “εργαλείο” για την επίτευξη ενδιάμεσων αποτελεσμάτων μεταξύ των λύσεων ελαχίστου κόστους και ελαχίστου χρόνου διαδρομής. Δεχόμαστε πως η ταχύτερη διαδρομή είναι και η πιο ακριβή (παραδοχή που ισχύει γενικά αφού οι ταχύτεροι άξονες του οδικού δικτύου επιβαρύνονται από το κόστος διοδίων) ενώ η οικονομικότερη διαδρομή είναι και η πιο αργή (χρησιμοποιούνται οδοί με φτωχότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά, χωρίς όμως να επιβαρύνονται με κόστη διοδίων). Εισάγοντας την έννοια του γενικευμένου κόστους και τροποποιώντας την παράμετρο του “κόστος του χρόνου” μπορούμε να οδηγήσουμε τον αλγόριθμο στην επιλογή διαδρομών που χρησιμοποιούν εν μέρει ταχείς άξονες και εν μέρει δευτερεύουσες οδούς. Δηλαδή, οι προτεινόμενες διαδρομές ελαχίστου χρόνου και κόστους αποτελούν τις “ακραίες τιμές” των λύσεων και οι λύσεις γενικευμένου κόστους ανάλογα με την τιμή της αξίας του χρόνου προσεγγίζουν τις ενδιάμεσες.

Ο χρήστης επιλέγει κριτήριο βελτιστοποίησης στην αρχή του προγράμματος. Στην περίπτωση που ως κριτήριο βελτιστοποίησης επιλεγεί ο χρόνος ως πίνακας κόστους του αλγορίθμου Dijkstra λαμβάνεται το μητρώο ελαχίστων διαδρομών με βάση τον χρόνο. Ο χρόνος διάνυσης υπολογίζεται σύμφωνα με την ταχύτητα ελεύθερης ροής. (μεταβλητή FreeFlowSpeed κατά ETIS ή FreeTravelTimeWithDelay η οποία προκύπτει αν προστεθούν στην FreeFlowSpeed οι καθυστερήσεις λόγω συντοριακών ελέγχων - κεφάλαιο 3.3.4). Η παραδοχή αυτή αξιολογείται ως αποδεκτή για 2 λόγους 1) η κίνηση των φορτηγών γίνεται σε υπεραστικά δίκτυα όπου η πυκνότητα κυκλοφορίας είναι συνήθως χαμηλή κάτι που άλλωστε επιβεβαιώθηκε και από τις συνεντεύξεις με έλληνες οδηγούς ⁽⁵⁷⁾. (2) Τα οχήματα είναι εφοδιασμένα με ψηφιακό ταχογράφο (βλ Κεφάλαιο 3.3.3) για τον έλεγχο της μέγιστης ταχύτητας που αναπτύσσουν και άρα δεν μπορούν να υπερβούν κατά πολύ την παραπάνω ταχύτητα.

Γίνεται η παραδοχή ότι η επιλογή διαδρομής δεν επηρεάζεται από συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης όπως συμβαίνει στα αστικά κυκλοφοριακά συγκοινωνιακά δίκτυα^(58,59)

Στην περίπτωση που ως κριτήριο βελτιστοποίησης επιλεγεί το κόστος ο υπολογισμός δεν βασίζεται στο συνολικό κόστος καύσιμα και διόδια (για φορτηγά – κατά ETIS) αλλά δημιουργείται μία νέα στήλη η οποία προκύπτει από τα στοιχεία μήκος κάθε συνδέσμου (Length κατά ETIS) του δικτύου το οποίο πολλαπλασιάζεται με την κατανάλωση καυσίμου ενός τυπικού φορτηγού και την τρέχουσα τιμή πετρελαίου κίνησης.

Για τον υπολογισμό της κατανάλωσης καυσίμου φορτηγών λαμβάνεται υπόψη η παλαιότητα του φορτηγού και η αντίστοιχη κατανάλωση. Αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου που ακολουθήθηκε παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 3.3.7. Για τον υπολογισμό της τιμής καυσίμου λαμβάνεται υπόψη η χωρητικότητα του ρεζερβουάρ καυσίμων

του φορτηγού και η ανωτέρω κατανάλωση ανά χιλιόμετρο. Για παράδειγμα ένα νέας τεχνολογίας πλήρως έμφορτο όχημα έχει χωρητικότητα δεξαμενών της τάξεως των 800 λίτρων και κατανάλωση 33L/100km για ευνοϊκές συνθήκες οδήγησης (βλ. κεφάλαιο 3.3.7) και για αυτές τις συνθήκες η αυτονομία του οχήματος είναι περίπου $(800L / 0.33L/km) = 2400 \text{ km}$. Σε περίπτωση που η συνολική χιλιομετρική απόσταση της διαδρομής είναι μικρότερη από την αυτονομία του οχήματος, τότε ο οδηγός έχει εφοδιάσει το όχημα του στην χώρα από την οποία ξεκινάει το ταξίδι του. Σε αντίθετη περίπτωση, είτε όταν εξαντληθούν τα αποθέματά του είτε νωρίτερα εάν ο οδηγός μπορεί να ανεφοδιάσει το όχημα του σε κάποια από τις χώρες που διέρχεται η διαδρομή. Όταν οι τιμές καυσίμων είναι γνωστές (πχ μέσω του <http://www.energy.eu/>) και διαμορφωθεί ένα πρόγραμμα ανεφοδιασμού υπάρχει δυνατότητα οι αντίστοιχες τιμές καυσίμου να ενσωματωθούν στην βάση δεδομένων του ETIS σε ειδική στήλη (τιμή καυσίμου) την οποία μπορεί να διαβάσει η εφαρμογή.

Σε περίπτωση που ως κριτήριο βελτιστοποίησης επιλεγεί το γενικευμένο κόστος αυτό υπολογίζεται από τη σχέση γενικευμένο κόστος = κόστος διαδρομής + κόστος χρόνου * αξία χρόνου. Ως αξία χρόνου νοείται είτε η αξία χρόνου της μεταφορικής υπηρεσίας είτε μία τιμή που προκύπτει με δοκιμές και η οποία χρησιμοποιείται για να προκύψουν διαδρομές/λύσεις που να πληρούν ένα σύνθετο κριτήριο βελτιστοποίησης. Το θέμα αυτό διευκρινίζεται στις παραγράφους που ακολουθούν.

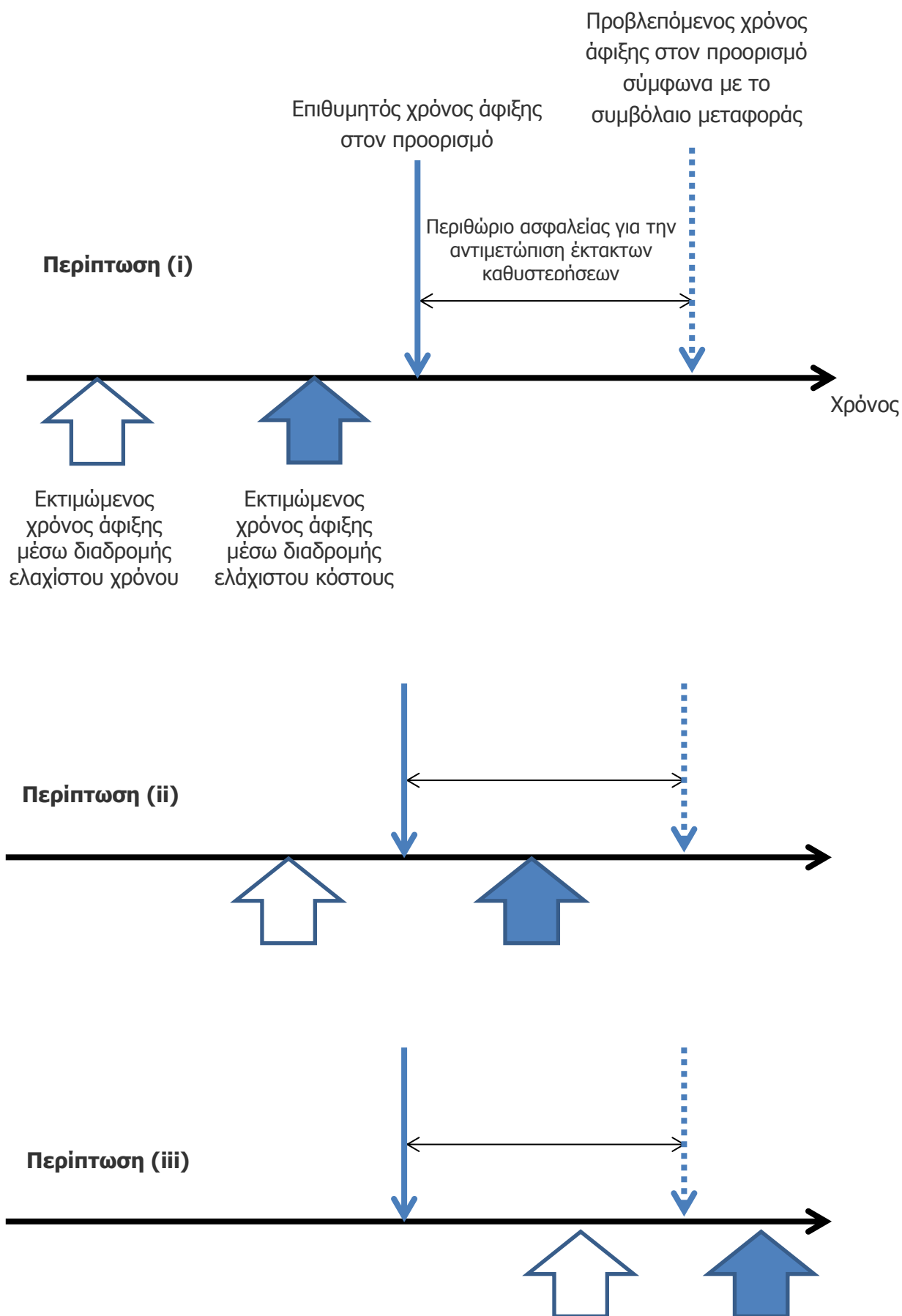
Στην παρούσα μεθοδολογική προσέγγιση ως κριτήριο βελτιστοποίησης λαμβάνεται η διαδρομή ελαχίστου κόστους η οποία φθάνει στον προορισμό πριν από μία προκαθορισμένη χρονική στιγμή (πχ ο χρόνος που προβλέπεται στο συμβόλαιο μεταφοράς). Η Εικόνα 12 απεικονίζει γραφικά τον τρόπο επιλογής της “βέλτιστης” διαδρομής. Παρουσιάζονται (α) ο προκαθορισμένος χρόνος άφιξης σύμφωνα με το συμβόλαιο του οδικού μεταφορέα (β) το περιθώριο ασφαλείας για την αντιμετώπιση έκτακτων καθυστερήσεων. Θεωρείται πως το περιθώριο αυτό πρέπει υποχρεωτικά να υφίσταται καθώς μία ενδεχόμενη καθυστέρηση μπορεί να συνεπάγεται ποινικές ρήτρες με βάση το συμβόλαιο ή/και να βλάπτει σημαντικά την εικόνα της αξιοπιστίας του μεταφορέα. Με τον τρόπο αυτό καθορίζεται ο επιθυμητός χρόνος άφιξης προς τον οποίο συγκρίνεται ο εκτιμώμενος χρόνος άφιξης του φορτηγού.

Το σχήμα στο πάνω μέρος της Εικόνας 12 απεικονίζει την περίπτωση (i) όπου η διαδρομή του ελαχίστου κόστους φθάνει στον προορισμό πριν από τον επιθυμητό χρόνο άφιξης. Στο μεσαίο τμήμα της εικόνας παρουσιάζεται η περίπτωση (ii) όπου η διαδρομή ελαχίστου χρόνου είναι εντός των χρονικών περιθωρίων αλλά η ελαχίστου κόστους όχι. Τέλος στο κάτω μέρος εμφανίζεται η περίπτωση (iii) όπου καμία διαδρομή δεν αφικνείται πριν από τον επιθυμητό χρόνο άφιξης. Στην περίπτωση αυτή εφόσον δεν μπορεί να μεταβληθούν είτε ο χρόνος αναχώρησης είτε ο επιθυμητός χρόνος άφιξης, θα πρέπει να επιλεγεί η διαδρομή ελαχίστου χρόνου ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν ο χρόνος άφιξης στον τελικό προορισμό.

Για τις περιπτώσεις (i) και (ii) η επιλογή της βέλτιστης διαδρομής εξαρτάται από την δυνατότητα του μεταφορέα να αξιοποιήσει τη διαφορά χρόνου μεταξύ των διαδρομών βέλτιστου κόστους και βέλτιστου χρόνου.

Όταν ο μεταφορέας δεν μπορεί να αξιοποιήσει τον χρόνο που κερδίζει ακολουθώντας την ταχύτερη διαδρομή (πχ δεν έχει δυνατότητα εκφόρτωσης ή παράδοσης του φορτίου πριν από τον προγραμματισμένο χρόνο) ισχύουν τα εξής: Στην περίπτωση (i) ο μεταφορέας θα επιλέξει την διαδρομή με το ελάχιστο κόστος αφού δεν έχει κάποιο κέρδος αν παραδώσει το φορτίο νωρίτερα. Στην περίπτωση (ii) η επιλογή της διαδρομής ελαχίστου κόστους απορρίπτεται επειδή φτάνει μετά τον επιθυμητό χρόνο άφιξης και ξεκινά η διερεύνηση και άλλων εναλλακτικών λύσεων. Οι λύσεις αυτές είναι λογικό να έχουν αυξημένη χρονική διάρκεια δρομολογίου σε σχέση με την διαδρομή ελαχίστου χρόνου αλλά μικρότερο κόστος από αυτήν. Από το σύνολο των “ενδιάμεσων” αυτών λύσεων επιλέγεται αυτή που φθάνει στον προορισμό έγκαιρα με το μικρότερο κόστος. Η αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων μπορεί να επιτευχθεί επιλύοντας το δίκτυο με κριτήριο το γενικευμένο κόστος όπου ως αξία χρόνου λαμβάνεται ένα μεγάλο εύρος τιμών ώστε να προκύψει πλήθος εναλλακτικών διαδρομών. Η τεχνική αυτή έχει χρησιμοποιηθεί και από άλλους ερευνητές⁽⁶⁰⁾ για τον εντοπισμό εναλλακτικών διαδρομών με χρήση του αλγορίθμου Dijkstra. Εάν δεν εντοπισθούν τέτοιες εναλλακτικές λύσεις, επιλέγεται η διαδρομή ελαχίστου χρόνου.

Αντίθετα όταν ο μεταφορέας μπορεί να αξιοποιήσει τον χρόνο που κερδίζει μετακινούμενος στην διαδρομή ελαχίστου κόστους για άλλο μεταφορικό έργο (πχ έχει δυνατότητα να παραδώσει το φορτίο αμέσως μετά την άφιξη του και να επιστρέψει νωρίτερα στην έδρα του) ισχύουν τα εξής: τόσο στην περίπτωση (i) όσο και στην (ii) για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής κόστους θα πρέπει να αναζητηθούν όλες οι “ενδιάμεσες” εναλλακτικές λύσεις και να συμπεριληφθεί στο συνολικό κόστος διαδρομής το όφελος από την πιθανή ανάληψη άλλου μεταφορικού έργου στο διάστημα αυτό. Το θέμα της αξιοποίησης του διαθέσιμου χρόνου είναι ιδιαίτερα σύνθετο και αφορά τόσο στις επιβατικές⁽⁶¹⁾ όσο και στις εμπορευματικές μεταφορές.



Εικόνα 12: Πιθανές περιπτώσεις χρόνων άφιξης φορτηγού που ακολουθεί είτε τη διαδρομή ελαχίστου χρόνου είτε τη διαδρομή ελαχίστου κόστους σε σχέση με τον επιθυμητό χρόνο άφιξης στον προορισμό

Παράγοντες χρονικής καθυστέρησης

Η εφαρμογή με στόχο τον συνυπολογισμό των πραγματικών συνθηκών που επηρεάζουν την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής (πέραν του κριτηρίου βελτιστοποίησης), συμπεριλαμβάνει στους υπολογισμούς τους παρακάτω παράγοντες:

- Έναν παράγοντα “χρονικής καθυστέρησης” που υπολογίζει τον χρόνο αναμονής των διαδοχικών μέσων μεταφοράς (πχ φορτηγό που περιμένει την αναχώρηση πλοίου για να συνεχίσει την διαδρομή του ή ενός container που αναμένει την φόρτωση του σε σταθμό τραίνου), λαμβάνοντας υπόψη την ώρα άφιξης του εισερχόμενου μέσου και το χρονοδιάγραμμα αναχωρήσεων του μέσου που αναχωρεί. Τα χρονοδιαγράμματα πλοίων και τραίνων ανταποκρίνονται στα πραγματικά χρονοδιαγράμματα που προσφέρουν οι εταιρείες και μπορούν να επικαιροποιηθούν αυτόματα (μέσω των αντίστοιχων ιστοσελίδων των παρόχων) ή και χειροκίνητα.
- Έναν παράγοντα “χρόνου ανάπαυσης οδηγού” ο οποίος προσθέτει τον χρόνο που χρειάζεται ο οδηγός για να αναπαυθεί σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή τις συνήθειες πρακτικές.
- Έναν παράγοντα “χρονικής καθυστέρησης λόγω διέλευσης συνόρων” η οποία χρησιμοποιείται για να συμπεριληφθούν οι καθυστερήσεις (χερσαίων μέσων) που οφείλονται σε διέλευση συνόρων εξαιτίας ελέγχων ασφάλειας και εγγράφων.

Αναλυτική περιγραφή του τρόπου υπολογισμού των παραπάνω παραγόντων δίνεται στα επόμενα κεφάλαια.

3.3.3 Υπολογισμός χρόνου ανάπαυσης οδηγού

Ο υπολογισμός του χρόνου ανάπαυσης των οδηγών γίνεται με βάση τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς που διέπουν τις μεταφορές.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή νομοθεσία ισχύουν τα εξής⁽⁶²⁾:

- Ημερήσια διάρκεια οδήγησης: το σύνολο της διάρκειας οδήγησης που σωρεύεται μεταξύ δύο περιόδων ημερήσιας ανάπαυσης ή μεταξύ μιας περιόδου ημερήσιας ανάπαυσης και μιας περιόδου εβδομαδιαίας ανάπαυσης.
- Εβδομαδιαίος χρόνος οδήγησης: το σύνολο του χρόνου οδήγησης που σωρεύεται μεταξύ 00.00 της Δευτέρας και 24.00 της Κυριακής.
- Διάλειμμα: περίοδος κατά την οποία ο οδηγός αναπαύεται. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ο οδηγός δεν επιτρέπεται να οδηγεί ή να εκτελεί κάποια άλλη εργασία.
- Ανάπαυση: κάθε περίοδος χωρίς διακοπή, κατά τη διάρκεια της οποίας ο οδηγός μπορεί να διαθέτει ελεύθερα τον χρόνο του.
- Περίοδος ημερήσιας ανάπαυσης: υποχρεωτική περίοδος ανάπαυσης εντός κάθε περιόδου 24 ωρών (30 ωρών σε περίπτωση πολλαπλής επάνδρωσης), η

οποία πρέπει να διαρκεί τουλάχιστον 11 ώρες (κανονική περίοδος ημερήσιας ανάπαυσης) ή 9 ώρες (μειωμένη περίοδος ημερήσιας ανάπαυσης).

- Περίοδος εβδομαδιαίας ανάπαυσης: υποχρεωτική περίοδος ανάπαυσης, η οποία πρέπει να ξεκινά το αργότερο μόλις συμπληρωθούν έξι συνεχόμενα εικοσιτετράωρα από το τέλος της προηγούμενης περιόδου εβδομαδιαίας ανάπαυσης και να διαρκεί τουλάχιστον 45 ώρες (κανονική περίοδος εβδομαδιαίας ανάπαυσης) ή 24 ώρες (μειωμένη περίοδος εβδομαδιαίας ανάπαυσης).

Ο χρόνος οδήγησης υπόκειται σε κάποιους κανόνες:

- ο ημερήσιος χρόνος οδήγησης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις εννιά ώρες. Δύο φορές την εβδομάδα, ο χρόνος αυτός επιτρέπεται να παρατείνεται στις δέκα ώρες·
- ο εβδομαδιαίος χρόνος οδήγησης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 56 ώρες·
- ο συνολικός χρόνος οδήγησης κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών εβδομάδων δεν υπερβαίνει τις 90 ώρες·
- ο οδηγός καταγράφει ως «άλλη εργασία» στον ταχογράφο οποιονδήποτε χρόνο στη διάρκεια του οποίου δεν οδηγεί, καθώς επίσης το χρόνο που κατανάλωσε οδηγώντας όχημα που δεν εμπίπτει στις διατάξεις του παρόντος κανονισμού και το χρόνο της διαδρομής με πορθμείο ή σιδηρόδρομο, στη διάρκεια της οποίας ο οδηγός δεν είχε στη διάθεσή του κλίνη ή κουκέτα·
- μετά από περίοδο οδήγησης τεσσαρισήμισι ωρών, ο οδηγός κάνει διάλειμμα τουλάχιστον 45 λεπτών χωρίς διακοπή ή 15 λεπτών ακολουθούμενο από διάλειμμα 30 λεπτών κατά την ίδια περίοδο·
- υποχρεωτική περίοδος εβδομαδιαίας ανάπαυσης τουλάχιστον 45 ωρών (κανονική περίοδος εβδομαδιαίας ανάπαυσης) ή 24 ωρών (μειωμένη περίοδος εβδομαδιαίας ανάπαυσης)·
- εάν, κατά τη διάρκεια δύο διαδοχικών εβδομάδων, ο οδηγός μπορεί να έχει μόνο μία μειωμένη περίοδο εβδομαδιαίας ανάπαυσης, η μείωση πρέπει να αντισταθμίζεται με ισοδύναμη ανάπαυση που λαμβάνεται συνολικά πριν από το τέλος της τρίτης εβδομάδας·
- μεταξύ δύο περιόδων εβδομαδιαίας ανάπαυσης, ο οδηγός δεν επιτρέπεται να έχει περισσότερες από 3 περιόδους μειωμένης ημερήσιας ανάπαυσης·
- εάν επιλέξει να το κάνει, οι περίοδοι ημερήσιας ανάπαυσης και οι περίοδοι μειωμένης εβδομαδιαίας ανάπαυσης μπορούν να λαμβάνονται μέσα σε όχημα. Με την προϋπόθεση ότι το όχημα είναι σταθμευμένο και διαθέτει κατάλληλες εγκαταστάσεις ύπνου·
- όταν ο οδηγός λαμβάνει περίοδο ανάπαυσης κατά τη μεταφορά του οχήματος με πορθμείο ή σιδηρόδρομο, η περίοδος αυτή δεν επιτρέπεται να διακόπτεται περισσότερο από δύο φορές για διάστημα που δεν θα υπερβαίνει συνολικά τη μία ώρα. Ο οδηγός θα πρέπει επίσης να έχει στη διάθεσή του κλίνη ή κουκέτα.

Πρακτικά η νομοθεσία επιβάλλει ως μέγιστο χρόνο οδήγησης σε μία ημέρα τις 9-10 ώρες. Ο οδηγός είναι υποχρεωμένος να κάνει ένα διάλλειμα τουλάχιστον 45 λεπτών μετά από 4,5 ώρες οδήγησης. Όταν συμπληρώσει τις 9-10 ώρες οδήγησης είναι υποχρεωμένος να αναπαυθεί (διανυκτερεύσει) για 9-11 ώρες.

Ο έλεγχος της τήρησης των ανωτέρω διαστημάτων ανάπαυσης (καθώς και ο έλεγχος ταχύτητας σ κίνησης του φορτηγού) γίνεται μέσω ψηφιακού ταχογράφου⁽⁶³⁾. Ο ψηφιακός ταχογράφος, είναι μια συσκευή καταγραφής στοιχείων, η οποία τοποθετείται μέσα στα οχήματα που χρησιμοποιούνται στις οδικές μεταφορές με βάση τις διατάξεις του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 3821/85. Η συσκευή καταγράφει το χρόνο οδήγησης, την περίοδο εργασίας, άλλες περιόδους διαθεσιμότητας, τα διαλείμματα κατά την εργασία και τις ημερήσιες περιόδους ανάπαυσης των επαγγελματιών οδηγών, όπως και την ταχύτητα του οχήματος και τη διανυόμενη απόσταση. Ο ψηφιακός ταχογράφος είναι ασφαλής και εύκολος να ελεγχθεί και διευκολύνει επομένως την τήρηση των ευρωπαϊκών και των εθνικών κανόνων στις οδικές μεταφορές.

Για τον υπολογισμό του χρόνου ανάπαυσης των οδηγών ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

Αρχικά ορίζονται 2 είδη καθυστερήσεων:

- Μικρής διάρκειας διαλλείματα (ανάπαυση - rest)
- Μεγάλης διάρκειας διαλλείματα (διανυκτέρευση - sleep)

Αφού ορισθούν από τον χρήστη οι παρακάτω τιμές:

RestInterval	=	Χρονικό διάστημα μεταξύ διαλλειμάτων.
RestDelay	=	Χρονική διάρκεια διαλλείματος
SleepInterval	=	Χρονικό διάστημα μεταξύ αναπαύσεων (Υπολογίζεται ως $2 * \text{RestInterval} + \text{RestDelay}$)
SleepDelay	=	Χρονική διάρκεια διαλλείματος αναπαύσεων

Το χρονικό διάστημα μεταξύ αναπαύσεων υπολογίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ 2 διαλλειμάτων συν την χρονική διάρκεια του διαλλείματος.

Υπολογίζουμε τον λόγο $\text{SleepInterval} / \text{RestInterval}$ ο οποίος δηλώνει ανά πόσα μικρής διάρκειας διαλλείματα απαιτείται μία διανυκτέρευση.

Η εφαρμογή αρχικά υπολογίζει τον απαιτούμενο αριθμό μικρής διάρκειας διαλλειμάτων και διαιρώντας τον με τον παραπάνω λόγο υπολογίζει πόσες διανυκτερεύσεις απαιτείται να κάνει ο οδηγός κατά την διάρκεια του ταξιδιού. Ο υπολογισμός των απαιτούμενων διαλλειμάτων μικρής διάρκειας γίνεται αφού έχει βρεθεί η βέλτιστη διαδρομή στο δίκτυο. Η εφαρμογή "διασχίζει" την διαδρομή και γνωρίζοντας το χρονικό διάστημα μεταξύ των διαλλειμάτων (μικρής διάρκειας)

υπολογίζει για κάθε ζευγάρι κόμβων που περιέχονται στην διαδρομή τον απαιτούμενο αριθμό διαλλειμάτων κατά μήκος της διαδρομής που τους συνδέει. Η διαδικασία διενεργείται επαναληπτικά μέχρι να εξεταστεί και ο τελευταίος σύνδεσμος της διαδρομής.

Τυχούσα αύξηση του απαιτούμενου αριθμού διαλλειμάτων λαμβάνει χώρα μόνο όταν οι διαδοχικοί κόμβοι συνδέονται με οδικό άξονα. Σε περίπτωση που η σύνδεση γίνεται με θαλάσσιο άξονα και η θαλάσσια διαδρομή διαρκεί εύλογο χρονικό διάστημα ώστε ο οδηγός να έχει την δυνατότητα να αναπαυθεί, ο αριθμός των απαιτούμενων διαλλειμάτων δεν αυξάνεται.

Επίσης ο αλγόριθμος πραγματοποιεί έναν έλεγχο αποφυγής διαλλείματος ή διανυκτέρευσης αν ο τελικός προορισμός μπορεί να προσεγγιστεί “παραβιάζοντας” λίγο τα χρονικά διαστήματα μεταξύ αναπαύσεων (πχ μέχρι και μισή φορά το χρονικό διάστημα μεταξύ ανάπαυσης). Για παράδειγμα εάν ο οδηγός μπορεί να φτάσει στον τελικό του προορισμό οδηγώντας μόνο μισή ώρα παραπάνω απ’ ότι ορίζει ο κανονισμός για τις μέγιστες συνεχόμενες ώρες οδήγησης τότε επιτρέπεται να αποφευχθεί το διάλλειμα.

3.3.4 Υπολογισμός καθυστερήσεων στα σύνορα

Ο κύριος παράγοντας καθυστερήσεων των οδικών μεταφορών είναι οι απαιτούμενοι έλεγχοι του φορτίου σε διάφορα στάδια της διαδρομής και κυρίως στους τελωνειακούς σταθμούς κάθε χώρας. Οι τελωνειακοί έλεγχοι αφορούν τόσο τον οδηγό του οχήματος (έλεγχος ταχογράφου) αλλά κυρίως τα μεταφερόμενα αγαθά. Περιλαμβάνει τον έλεγχο των παραστατικών που συνοδεύουν το φορτίο αλλά και τον φυσικό έλεγχο του φορτίου: αρμόδιοι κρατικοί υπάλληλοι εισέρχονται στον αποθηκευτικό χώρο του φορτηγού (καρότσα) ώστε να επιβεβαιώσουν πως τα μεταφερόμενα εμπορεύματα συμφωνούν ως προς το είδος και την ποσότητα με τα στοιχεία που αναγράφονται στα παραστατικά. Επίσης δίνεται έμφαση στην τήρηση των μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων βάρους του φορτηγού (έλεγχος τονάζ). Ένας συστηματικός και αυστηρός τελωνειακός έλεγχος μπορεί να απαιτήσει την μερική ή ολική εκφόρτωση του φορτίου ώστε να μπορεί να διενεργηθεί ο έλεγχος σε όλο το μεταφερόμενο φορτίο. Γίνεται άμεσα αντιληπτό λοιπόν πως μία τέτοια διαδικασία (ακόμη και αν δεν εφαρμοσθεί τόσο αυστηρά) προσθέτει ένα εύλογο ποσοστό καθυστέρησης σε όλη την διαδρομή. Πρέπει να σημειωθεί πως οι έλεγχοι στους οποίους υποβάλλονται οι μεταφορείς δεν λαμβάνουν χώρα μόνο μεταξύ κρατών που δεν ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση αλλά και μεταξύ χωρών εντός αυτής. Για αυτό τον λόγο διαδρομές που διασχίζουν λιγότερες χώρες (ακόμη και αν είναι μεγαλύτερες σε χιλιομετρική απόσταση) πολύ συχνά προτιμώνται από τους μεταφορείς.

Είναι προφανές πως με την εφαρμογή αυτής της διαδικασίας σε όλους τους συνοριακούς σταθμούς της διαδρομής Ελλάδας – Γερμανίας, ο συνολικός χρόνος για την διενέργεια των ελέγχων θα ήταν πολύ μεγαλύτερος της μετακίνησης στο οδικό

δίκτυο. Γι' αυτό τον λόγο ορισμένοι από τους ελέγχους είναι δειγματοληπτικοί ή αρκούνταν στον έλεγχο των εγγράφων που συνοδεύουν το φορτίο. Αντίστοιχα προβλήματα ισχύουν και στις περιπτώσεις των σιδηροδρομικών μεταφορών. Αντίθετα οι θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές δεν υπόκεινται σε τελωνειακούς ελέγχους παρά μόνο στις χώρες προέλευσης και προορισμού των εμπορευμάτων.

Ο τρόπος με τον οποίο η εφαρμογή λαμβάνει υπόψη τις καθυστερήσεις λόγω συνοριακών ελέγχων είναι ο εξής: Για κάθε συνοριακό σύνδεσμο του δικτύου (δηλαδή σύνδεσμο που ενώνει διαφορετικές χώρες) ορίζουμε έναν χρόνο καθυστέρησης. Επειδή η συλλογή στοιχείων για τον κάθε σύνδεσμο ή έστω ανά χώρα ξεχωριστά είναι χρονοβόρα διαδικασία οι καθυστερήσεις χωρίστηκαν σε δύο κατηγορίες (α) μεταξύ χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης και (β) μεταξύ χωρών που δεν ανήκουν σε αυτή, με τους συνδέσμους που ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία να "βαρύνονται" με μεγαλύτερες τιμές καθυστερήσεων. Είναι δυνατόν να υπάρξουν έλεγχοι κατά μήκος της διαδρομής όχι μόνο στους συνοριακούς σταθμούς, αλλά και σε ειδικούς για τον σκοπό αυτό σταθμούς ελέγχου πάρα την οδό. Οι έλεγχοι αυτοί αφορούν κυρίως στην κατάσταση του οχήματος από τεχνική άποψη καθώς επίσης και στο μέγεθος του συνολικού μεταφερόμενου φορτίου (καθαρό μεταφερόμενο βάρος + απόβαρο φορτηγού) το οποίο δεν πρέπει να ξεπερνά τους 40 τόνους για απλή οδική μεταφορά ενώ δίνεται το δικαίωμα στα φορτηγά που κινούνται στο αρχικό ή τελικό σκέλος συνδυσασμένης διαδρομής να έχουν συνολικό βάρος έως 44 τόνους. Έλεγχοι μεταξύ των συνοριακών σταθμών χωρών Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν διεξάγονται πάντα αλλά προσθέτουμε σε όλους μία μέση τιμή καθυστέρησης ώστε να συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς οι έλεγχοι κατά μήκος της διαδρομής (όπως περιγράφηκαν παραπάνω) οι οποίοι διενεργούνται συστηματικά. Για την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας απαιτείται να κατηγοριοποιηθούν οι σύνδεσμοι ως Ευρωπαϊκοί ή μη ενέργεια την οποία εκτελεί η εφαρμογή αυτόματα.

Το σύστημα TIR - Transports Internationaux Routiers

Το σύστημα TIR αποτελεί μία προσπάθεια της (UNECE)EE να μειώσει τους ελέγχους κατά μήκος μίας διεθνούς οδικής μεταφοράς και να επιτρέψει την ελεύθερη κίνηση των φορτηγών μέσα στην Ευρώπη. Η κεντρική ιδέα της προσπάθειας είναι ο έλεγχος του εμπορεύματος στον τελωνειακό σταθμό του τόπου προέλευσης, "σφράγισμα" του φορτίου και άνοιγμά του μόνο στο τελωνείο της χώρας προορισμού.

Για την σωστή εφαρμογή του συστήματος απαιτούνται:

- Η μεταφορά των φορτίων με εγκεκριμένα μέσα (οχήματα ή κοντέινερ)
- Ένα αξιόπιστο σύστημα ασφάλισης και σφραγίσματος του φορτίου ώστε να εμποδίζεται η παραβίαση των περιεχομένων του και το λαθρεμπόριο.
- Ένα διεθνές εγγυητικό σύστημα που θα εξασφαλίζει την απόδοση των φόρων στα εμπλεκόμενα μέλη.
- Η πλήρης συμμόρφωση όλων των φορέων στις απαιτήσεις του συστήματος.

Αυτή τη στιγμή το πρόγραμμα TIR είναι το μόνο διεθνές τελωνειακό σύστημα διαθέσιμο και σύμφωνα με αυτό λειτουργούν πάνω από 50 χώρες⁽⁶⁴⁾.

3.3.5 Υπολογισμός χρόνου αναμονής φορτηγού σε τερματικούς σταθμούς.

Για τον υπολογισμό του χρόνου αναμονής ενός μέσου σε τερματικό σταθμό λιμάνι/αεροδρόμιο είναι απαραίτητη η γνώση της ώρας αναχώρησης του μέσου από τον αρχικό του προορισμό καθώς και τα ακριβή δρομολόγια των πλοίων που εξυπηρετούν την σύνδεση. Οι πληροφορίες αυτές σχετικά με τα δρομολόγια των πλοίων που εξυπηρετούν τον εκάστοτε θαλάσσιο σύνδεσμο όπως: η ώρα αναχώρησης και ώρα άφιξης στον προορισμό, το κόστος ναύλου, η ναυτιλιακή εταιρεία, πληροφορίες οι οποίες αντλούνται από τις ίδιες τις ναυτιλιακές εταιρείες για παράδειγμα μέσω των διαδικτυακών τους σελίδων. Ο χρήστης καταχωρεί σε μία ειδική φόρμα τύπου excel τις πληροφορίες και μέσω αυτής το πρόγραμμα ενημερώνει την βάση δεδομένων του. Όποτε υπάρχουν ακριβέστερα στοιχεία για το κόστος κάποιας διαδρομής (σε περιπτώσεις ναυτιλιακών συνδέσμων δηλαδή) το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις ενημερωμένες τιμές. Η διαδικασία αυτή μπορεί να αυτοματοποιηθεί (εργασία που θα υλοποιηθεί στο μέλλον). Η παραπάνω διαδικασία απαιτεί αρχικά την συμπλήρωση ενός ειδικά διαμορφωμένου υπολογιστικού φύλλου τύπου excel (Εικόνα 13) και την εξαγωγή του σε ειδικό format (.csv) αναγνώσιμο από το πρόγραμμα.

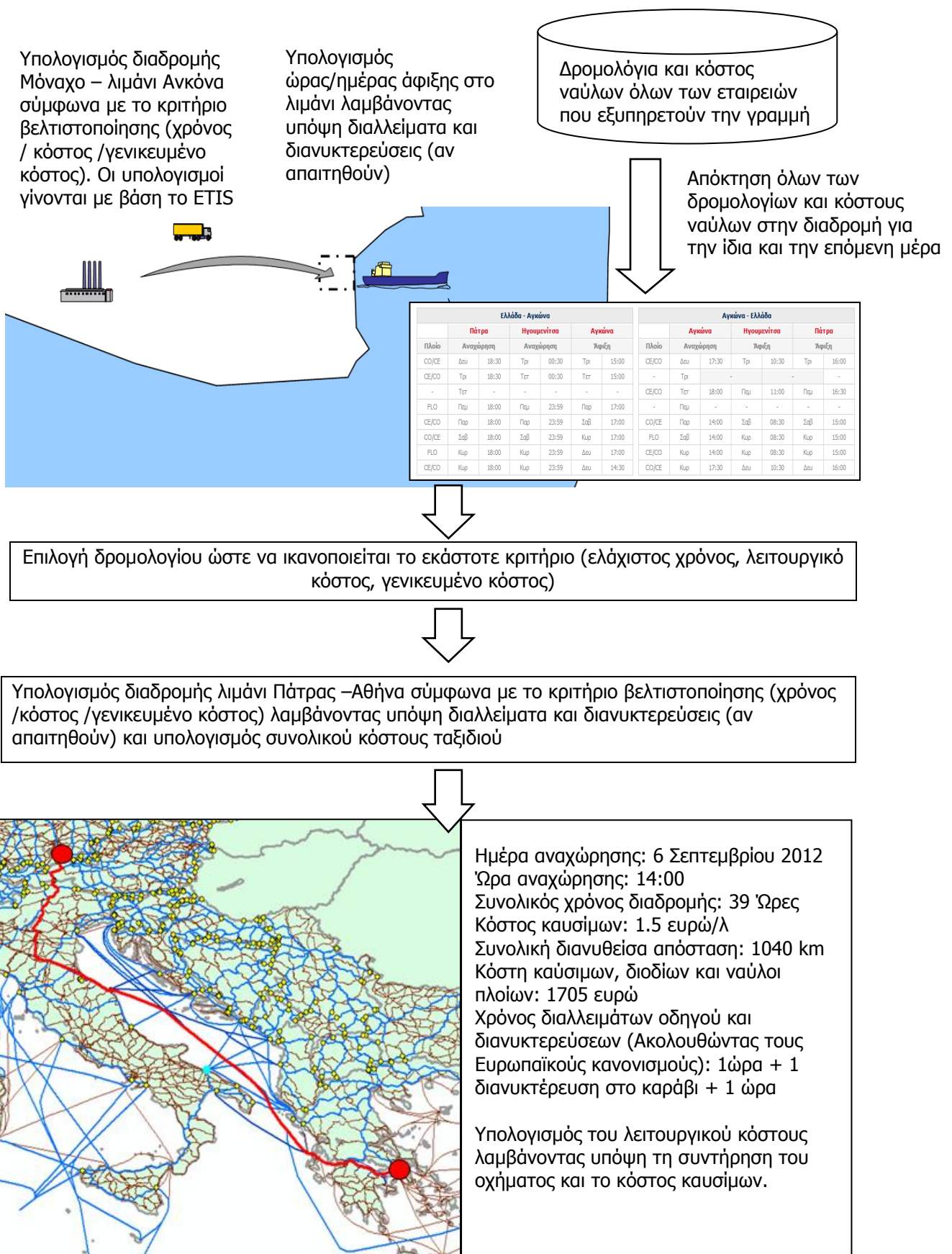
Στην περίπτωση όπου η προτεινόμενη από την εφαρμογή διαδρομή χρησιμοποιεί πλωτά μέσα για τα οποία διατίθενται στοιχεία σχετικά ενημερώνεται η βάση δεδομένων με τις ακριβέστερες τιμές σχετικά με τα δρομολόγια των πλοίων και τα κόστη των ναύλων (τιμές πολύ πιο ακριβείς σε σχέση με τις μέσες τιμές που εμπεριέχονται στην βάση του ETIS). Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο χρόνος που έχει απαιτηθεί από το φορτηγό μέχρι να προσεγγίσει το λιμάνι έναρξης του ακτοπλοϊκού του ταξιδιού. Στον υπολογισμό αυτό λαμβάνονται υπόψη οι χρόνοι ανάπαυσης του οδηγού ή καθυστερήσεις λόγω τελωνειακών ελέγχων στα σύνορα όπως (Κεφάλαια 3.3.3 και 3.3.4).

Συγκρίνοντας την ώρα άφιξης με την τις διαθέσιμες ώρες αναχώρησης δρομολογίων το πρόγραμμα αποκλείει τα δρομολόγια τα οποία δεν μπορεί να ακολουθήσει η διαδρομή (δηλαδή αυτά που έχουν αναχωρήσει πριν την άφιξη του φορτηγού στο λιμάνι) και ενημερώνει τον χρήστη για τα διαθέσιμα δρομολόγια και τον απαιτούμενο χρόνο αναμονής που αντιστοιχεί στο καθένα. Επειδή οι επιλογές που έχει ο χρήστης μπορεί να είναι πολλές (διαφορετικά δρομολόγια) αν δεν έχει προεπιλεγεί κάποιος κανόνας αυτόματης επιλογής δρομολογίου (πχ ελάχιστο κόστος ναύλου) το πρόγραμμα απαιτεί από τον χρήστη να επιλέξει με ποιο δρομολόγιο θα συνεχιστεί το ταξίδι. Σε αντίθετη περίπτωση η εφαρμογή προβαίνει αυτόματα στην επιλογή του κατάλληλου δρομολογίου σύμφωνα με τον κανόνα που έχει θέσει ο χρήστης.

Στην Εικόνα 14 γίνεται περιγραφή της παραπάνω διαδικασίας για το παράδειγμα της διαδρομής Μόναχο – λιμάνι Ανκόνας – λιμάνι Πάτρας – Αθήνα.

ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΑ							
Patra Ωρα αφίξης φορτηγού στο λιμάνι: 15:00 Πέμπτη, 6 Σεπτέμβριος 2012 Επιλογή από τον χρήστη Αναχώρηση Τιμή Εισιτηρίου Αναμονή στο λιμάνι Εταιρεία Κατάσταση 17:00 500 01:51 SUPERFAST Αναμένει 17:30 645 02:21 MINOAN Αναμένει 00:00 0 -0:00 Αναχώρησε Αναχωρήσεις την επόμενη ημέρα Αναχώρηση Τιμή Εισιτηρίου Αναμονή στο λιμάνι Εταιρεία Κατάσταση 17:00 500 25:51 SUPERFAST Αναμένει 17:30 635 26:21 MINOAN Αναμένει 00:00 0 -0:00 Αναχώρησε Αυτόματες επιλογές βάση κανόνων Επιλογή του 1ου διαθέσιμου πλοίου Επιλογή οικονομικότερου ναύλου Συνέχεια							
A	D	E	F	G	H	I	J
1	NAME	ACTUAL_DATE	No_ ITINERARIES	SHIPPING_1	DEPARTURE_1	DURATION_1	TICKET_1
2	Patra-Ancona	Δευτέρα, 3 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	680 /
3	Patra-Ancona	Τρίτη, 4 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	700 /
4	Patra-Ancona	Τετάρτη, 5 Σεπτέμβριος 2012	1	SUPERFAST	17	23	680 /
5	Patra-Ancona	Πέμπτη, 6 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	500 /
6	Patra-Ancona	Παρασκευή, 7 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	500 /
7	Patra-Ancona	Σάββατο, 8 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	700 /
8	Patra-Ancona	Κυριακή, 9 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	680 /
9	Patra-Ancona	Δευτέρα, 10 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	680 /
10	Patra-Ancona	Τρίτη, 11 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	700 /
11	Patra-Ancona	Τετάρτη, 12 Σεπτέμβριος 2012	1	SUPERFAST	17	23	680 /
12	Patra-Ancona	Πέμπτη, 13 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	500 /
13	Patra-Ancona	Παρασκευή, 14 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	500 /
14	Patra-Ancona	Σάββατο, 15 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	700 /
15	Patra-Ancona	Κυριακή, 16 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	680 /
16	Patra-Ancona	Δευτέρα, 17 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	680 /
17	Patra-Ancona	Τρίτη, 18 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	700 /
18	Patra-Ancona	Τετάρτη, 19 Σεπτέμβριος 2012	1	SUPERFAST	17	23	680 /
19	Patra-Ancona	Πέμπτη, 20 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	500 /
20	Patra-Ancona	Παρασκευή, 21 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	500 /
21	Patra-Ancona	Σάββατο, 22 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	700 /
22	Patra-Ancona	Κυριακή, 23 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	680 /
23	Patra-Ancona	Δευτέρα, 24 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	680 /
24	Patra-Ancona	Τρίτη, 25 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	700 /
25	Patra-Ancona	Τετάρτη, 26 Σεπτέμβριος 2012	1	SUPERFAST	17	23	680 /
26	Patra-Ancona	Πέμπτη, 27 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	500 /
27	Patra-Ancona	Παρασκευή, 28 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	500 /
28	Patra-Ancona	Σάββατο, 29 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	700 /
29	Patra-Ancona	Κυριακή, 30 Σεπτέμβριος 2012	2	SUPERFAST	17	23	680 /

Εικόνα 13: Φόρμα επιλογής διαθέσιμου δρομολογίου και σχέση με την πίνακα καταχώρησης πληροφοριών δρομολογίων



Εικόνα 14: Διαδρομή στον άξονα Μόναχο – Αθήνα μέσω των λιμένων της Πάτρα και της Ανκόνα: Στοιχεία της μεθοδολογίας

3.3.7 Υπολογισμός λειτουργικού κόστους οχημάτων (κόστος συντήρησης)

Το κόστος λειτουργίας των φορτηγών Δ.Χ μεταφοράς πετρελαϊκών προϊόντων αναλύεται σε 4 κατηγορίες κόστους:

- Σταθερές δαπάνες ανεξάρτητες από το βαθμό χρησιμοποίησης του οχήματος.
- Λειτουργικές δαπάνες λόγω κυκλοφορίας του οχήματος, ως συνάρτηση του βαθμού χρησιμοποίησης του οχήματος.
- Αξία χρόνου
- Κόστος ατυχημάτων

Οι δύο πρώτες κατηγορίες δαπανών εξετάζονται και αποτυπώνονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους. Η αξία χρόνου και το κόστος ατυχημάτων δεν εξετάζονται, καθώς η αξία χρόνου ουσιαστικά καλύπτεται από τις σταθερές δαπάνες, ενώ το κόστος ατυχημάτων εκτιμάται μέσω των ασφαλιστρών του οχήματος. Ο υπολογισμός του λειτουργικού κόστους της διαδρομής λαμβάνει υπόψη μόνο τις λειτουργικές δαπάνες λόγω κυκλοφορίας του οχήματος, ως συνάρτηση του βαθμού χρησιμοποίησης του οχήματος διότι θεωρούμε πως οι υπόλοιπες είναι σταθερές ανεξάρτητα από το δρομολόγιο που θα ακολουθηθεί τελικά.

- Σταθερές δαπάνες

Οι σταθερές δαπάνες είναι ανεξάρτητες από τις διανυόμενες αποστάσεις και καταβάλλονται σε σταθερή ημερολογιακή βάση προκειμένου το όχημα να πληροί τις προϋποθέσεις άσκησης της μεταφοράς σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία και τεχνικά πρότυπα ασφαλείας. Αναλύονται σε :

- Κόστος κεφαλαίου αγοράς
- Δαπάνες Απόσβεσης
- Δαπάνες προσωπικού κίνησης
- Ασφάλιστρα οχήματος
- Τέλη κυκλοφορίας οχήματος
- Δαπάνες πιστοποιητικών λειτουργίας, ασφαλείας και τεχνικών ελέγχων.
- Έξοδα διοίκησης και διαχείρισης
- Φορολογία εισοδήματος

Κάθε μία από τις ανωτέρω κατηγορίες δαπανών παρουσιάζεται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Κόστος κεφαλαίου αγοράς και δαπάνες απόσβεσης εξοπλισμού

Το κόστος κεφαλαίου αγοράς ορίζεται ως η δαπάνη που πραγματοποιείται για την κτήση της άδειας Δ.Χ, του οχήματος και του εξοπλισμού και επιμερίζεται στα παρακάτω κόστη:

- Κόστος άδειας δημοσίας χρήσης
- Κόστος οχήματος και αμαξώματος

Κόστος άδειας δημόσιας χρήσης

Το κόστος άδεια δημόσιας χρήσης αποτελούσε ακόμη και στο πρόσφατο παρελθόν ένα σημαντικό κονδύλι στον υπολογισμό του κόστους των οδικών μεταφορών. Η άδεια δημόσιας χρήσης παρείχε την αποκλειστική δυνατότητα μεταφοράς αλλότριων εμπορευμάτων από οποιοδήποτε χώρο φόρτωσης προς οποιοδήποτε τόπο παράδοσης. Οι άδειες αυτές αποτελούσαν περιουσιακό στοιχείο του μεταφορέα και είχαν πολύ υψηλή αξία μεταβίβασης αποτελώντας ένα εμπόδιο για την είσοδο νέων επαγγελματιών στην αγορά. Η κατάσταση αυτή έχει αλλάξει ουσιαστικά μετά την ψήφιση των σχετικών νόμων για την απελευθέρωση του επαγγέλματος του οδικού μεταφορέα.

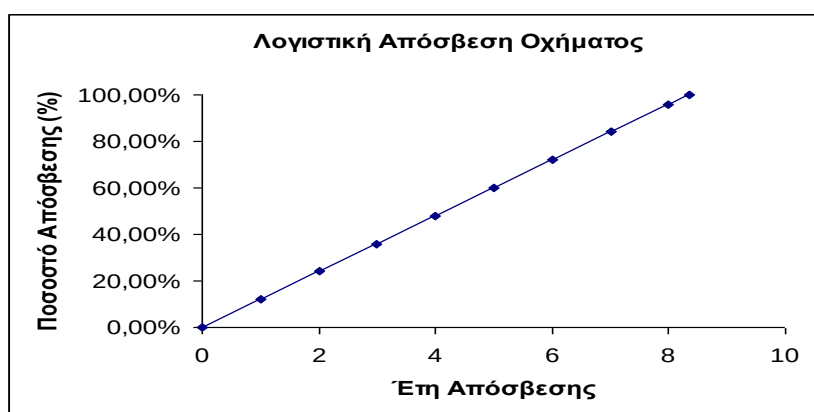
Κόστος Οχήματος

Το κόστος του φορτηγού οχήματος εξαρτάται από το εργοστάσιο κατασκευής και την τεχνολογία και ιπποδύναμη του κινητήρα όταν πρόκειται για καινούργιο, ενώ για τα μεταχειρισμένα το κύριο κριτήριο κόστους είναι η παλαιότητα. Η ενδεικτική τιμή ενός καινούργιου ρυμουλκού οχήματος ανέρχεται στις 70.000 – 90.000 € ενώ το κόστος αγοράς ενός ημιρυμουλκούμενου οχημάτος ανέρχεται στα 40.000 €.

Λογιστική δαπάνη απόσβεσης

Η αξία του οχήματος συμπεριλαμβανομένου του εξοπλισμού και αμαξώματος λογιστικά αποσβένεται κάθε έτος με σταθερό ποσοστό 12% επί της αρχικής αξίας κτήσης (Π.Δ 100/1998). Ως δαπάνη απόσβεσης ορίζεται η διαφορά μεταξύ της αρχικής αξίας του οχήματος και της τρέχουσας του αξίας. Σύμφωνα με το ως άνω ποσοστό απόσβεσης ένα όχημα αποσβένεται πλήρως σε περίοδο 8½ ετών περίπου. Σημειώνεται πως η λογιστική προς απόσβεση αξία του οχήματος, αν και φθίνει με την πάροδο των ετών, μπορεί να αυξηθεί όταν γίνονται δαπάνες αναβάθμισης και βελτίωσης του κινητήρα ή/και του σταθερού εξοπλισμού. Οι δαπάνες αυτές προστίθενται στην αρχική αξία κτήσης και το νέο σύνολο αποσβένεται από κοινού κατά το ίδιο σταθερό ποσοστό. Η λογιστική απόσβεση εκφράζεται από το γινόμενο της αξίας κτήσης, του σταθερού ποσοστού (12%) και του έτους απόσβεσης "i". Η ετήσια δαπάνη απόσβεσης δίδεται από την ίδια σχέση για i = 1

*Λογιστική δαπάνη απόσβεσης = Αξία κτήσης * (12%) * i*



Εικόνα 15: Λογιστική απόσβεση οχήματος

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα η απόσβεση της αρχικής επένδυσης διαρκεί 8,5 χρόνια. Με την παραδοχή πως ο οδηγός κατέχει την άδεια δημόσιας χρήσης και πως η αρχική επένδυση είναι περίπου 120.000€ (80.000€ για το ρυμουλκό όχημα + 40.000 για το ημιρυμουλκούμενο = 120.000 €).

Άρα το αρχικό κόστος κεφαλαίου ανέρχεται στα $120.000/8,5 \approx 14.100 \text{ € / έτος}$

Δαπάνες προσωπικού

Οι δαπάνες του προσωπικού κίνησης περιλαμβάνουν τη μισθοδοσία που αποτελεί την κύρια δαπάνη προσωπικού, προσαυξάνονται από τις ασφαλιστικές εισφορές υπέρ ΙΚΑ, σύμφωνα με την ισχύουσα ασφαλιστική νομοθεσία, και συμπληρώνονται από το κόστος υποχρεωτικών ειδών ιματισμού βάσει της συλλογικής σύμβασης εργασίας.

Μισθοδοσία

Γενικά, η μισθοδοσία των εργαζομένων οδηγών σε φορτηγά οχήματα διαμορφώνεται από συλλογικές συμβάσεις εργασίας. Οι οδηγοί πάσης φύσεως φορτηγών αυτοκινήτων (κατηγορία στην οποία ανήκουν τα φορτηγά που εκτελούν τις διεθνείς μεταφορές) υπάγονται στην Εθνική ομοιοεπαγγελματική σύμβαση εργασίας. Οι όροι της σύμβασης αυτής καθορίζουν τον συνολικό βασικό μισθό ως μηνιαίο μισθό βάσει προϋπηρεσίας που προσαυξάνεται από επιδόματα οικογενειακής κατάστασης, οδήγησης ειδικού οχήματος και ειδικών συνθηκών εργασίας. Στην Εθνική σύμβαση οδηγών φορτηγών ορίζεται κατώτατος βασικός μισθός (χωρίς προϋπηρεσία 763,00 € και επαυξάνεται από επιδόματα τριετιών, για κάθε συμπληρωμένη τριετία υπηρεσίας.

Μηνιαίος βασικός μισθός βάσει προϋπηρεσίας

Ο βασικός μηνιαίος μισθός διαμορφώνεται από τα έτη συνολικής υπηρεσίας του εργαζομένου με την ιδιότητα του οδηγού. Με την από Εθνική συλλογική σύμβαση (1-9-2005) οδηγού πάσης φύσεως φορτηγού, ισχύουν⁽⁶⁵⁾.

Έτη Υπηρεσίας	Υπαγόμενος στη σύμβαση-Πάσης Φύσεως	Έτη Υπηρεσίας	Υπαγόμενος στη σύμβαση-Πάσης Φύσεως Φορτηγών
0 – 3	763,00	18 – 21	953,75
3 – 6	839,30	21 – 24	969,01
6 – 9	862,19	24 – 27	999,53
9 – 12	885,08	27 – 30	1022,42
12 – 15	900,34	30 – 33	1037,68
15 – 18	930,86	33 – 35	1083,46

Πίνακας 2: Βασικός μηνιαίος μισθός βάση συνολικής υπηρεσίας εργαζομένου με την ιδιότητα οδηγού

Επιδόματα

Βάσει της Εθνικής συλλογικής σύμβασης εργασίας οι οδηγοί φορτηγών δικαιούνται τα παρακάτω δικαιώματα:

Μηνιαίο Επίδομα	
Επίδομα γάμου	10%
Επίδομα τέκνων	5% για κάθε τέκνο
Επίδομα εξομάλυνσης αγάμων	25 €
Επίδομα εξομάλυνσης εγγάμων	15 €
Επίδομα ζεύξης ή απόζευξης	15 €
Επίδομα ανθυγιεινής εργασίας	21 €

Πίνακας 3: Επίδοματα οδηγών πάσης φύσεως φορτηγών αυτοκινήτων

Επίσης οι υπαγόμενοι οδηγοί στην Εθνική συλλογική σύμβαση εργασίας λαμβάνουν επιπλέον επιδόματα πολυετίας στον ίδιο εργοδότη και επικίνδυνης εργασίας. Ο αναλυτικός πίνακας δίνεται στο παράρτημα.

Ασφαλιστικές Εισφορές ΙΚΑ

Οι ασφαλιστικές εισφορές είναι ποσοστιαίες επί του συνόλου των αποδοχών, συμπεριλαμβανομένων μισθών και επιδομάτων. Οι οδηγοί βυτιοφόρων ασφαλίζονται σε κλάδο ασφάλισης του ΙΚΑ που αντιστοιχεί σε βαρέα-ΕΤΕΑΜ ένσημα με επαγγελματικό κίνδυνο. Οι ασφαλιστικές εισφορές ανέρχονται σε ποσοστό 50,66 % επί των συνολικών μηνιαίων αποδοχών που αναλύονται σε εισφορές εργοδότη 31,21% και ασφαλισμένου 19,45 %.⁶⁶

Δαπάνη πρόσληψης αντικαταστάτη οδηγού

Σύμφωνα με την ισχύουσα εργατική νομοθεσία ο εργαζόμενος οδηγός δικαιούται στην διάρκεια ενός έτους συνολικά 14 μισθούς που αναλύονται σε 12 μηνιαίους μισθούς, δώρο Χριστουγέννων (1 μισθός), δώρο Πάσχα (½ μισθού) και επίδομα αδειάς (½ μισθού). Επιπλέον βάσει της συλλογικής σύμβασης εργασίας οι εργαζόμενοι οδηγοί δικαιούνται ετησίως άδεια 25 εργάσιμων ημερών με αποδοχές. Λόγω των αναγκών της απρόσκοπτης μεταφορικής δραστηριότητας, κατά την περίοδο που ο οδηγός θα απουσιάσει λόγω της μηνιαίας άδειάς του, θα πρέπει να προσληφθεί προσωρινός αντικαταστάτης. Συνεπώς προστίθεται ένας ακόμη μισθός στη μισθοδοσία και το συνολικό ετήσιο κόστος του οχήματος ανέρχεται σε 15 μισθούς προσαυξανόμενοι από τις αντίστοιχες ασφαλιστικές εισφορές.

Υπολογισμός συνολικής ετήσιας δαπάνης προσωπικού

Από τις επιμέρους δαπάνες που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, προκύπτει πως οι συνολικές δαπάνες θα πρέπει να υπολογιστούν στη χρονική βάση ενός έτους, ώστε να συμπεριληφθούν τα δώρα μισθοδοσίας και οι πρόσθετες δαπάνες. Ο υπολογισμός αναλύεται στα ακόλουθα βήματα:

Για τους ως άνω λόγους, σε αυτό το σημείο θεωρείται σκόπιμο να γίνει σύγκριση των μηνιαίων αποδοχών του συνηθέστερου τύπου εργαζόμενου οδηγού. Οι αποδοχές του εργαζόμενου που υπάγεται στην Εθνική ομοιοεπαγγελματική συλλογική σύμβασης εργασίας οδηγών πάσης φύσεως φορτηγών παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.8 με την παραδοχή συμπλήρωσης 5 ετών στον ίδιο εργοδότη, έγγαμου και με ένα τέκνο.

Μηνιαίες αποδοχές Εθνικής συλλογικής σύμβασης	Ποσό
Βασικός μηνιαίος μισθός	763,00
Επίδομα τριετιών (6-9 ετών)	99,19
Επίδομα γάμου (10%)	76,30
Επίδομα ενός τέκνου (5%)	38,15
Επίδομα εξομάλυνσης εγγάμων	15,00
Επίδομα πολυετίας στον ίδιο εργοδότη (5 ετών)	40,00
Επίδομα ανθυπαινετικής εργασίας	21,00
Σύνολο	1050,64

Πίνακας 4: Μηνιαίες αποδοχές συνήθη τύπου οδηγού πάσης φύσεως φορτηγού οχήματος

Οι ασφαλιστικές εισφορές για τον συγκεκριμένο εργαζόμενο ανέρχονται στα 532 €/μήνα και συνολικό κόστος μισθοδοσίας 1580 €/μήνα. Με τη θεώρηση 15 μισθών ανά έτος (12 μήνες συνεχούς λειτουργίας της μεταφορικής υπηρεσίας) οι συνολικές ετήσιες δαπάνες προσωπικού φθάνουν τις 24.000 € ανά οδηγό.

Ασφάλιστρα οχήματος

Γενικά τα ασφάλιστρα των φορτηγών οχημάτων εξαρτώνται από: (1) Βασικές καλύψεις που απαιτούνται από το νόμο (2) Φορολογήσιμους ίππους του φορτηγού οχήματος (3) Παλαιότητα του οχήματος (4) Συνολικό αριθμό των αξόνων του οχήματος (5) 'BONUS MALUS' (6) Τύπος μεταφορών, Εθνικών ή Διεθνών (7) Τύπος αμαξώματος (βυτιοφόρο, γερανοφόρο, κτλ.) (8) Σύνθεση του φορτηγού οχήματος (επικαθήμενο ή συρόμενο) (9) Τύπος μεταφερόμενου εμπορεύματος (καύσιμο, ξηρό φορτίο, Ε/Κ) (10) Χρήση του οχήματος (Δημόσια ή Ιδιωτική).

Συνεπώς ένα βυτιοφόρο όχημα, δημοσίας χρήσης, Εθνικών Μεταφορών, δέκα ετών κυκλοφορίας, 5 αξόνων, με BONUS MALUS 3 θα πρέπει να καταβάλλει μέσω ετήσιο ποσό ασφαλίσεων 1232 € (τιμολόγιο ασφαλίσεων της General Union).

Τέλη κυκλοφορίας οχήματος

Το ετήσιο ποσό των τελών κυκλοφορίας εξαρτάται από το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος του φορτηγού οχήματος και καταβάλλεται στην δημόσια οικονομική υπηρεσία που υπάγεται ο ιδιοκτήτης-μεταφορέας. Για τα βαρέα οχήματα επιτρεπόμενου βάρους έως 40.000 χιλιόγραμμων τα τέλη κυκλοφορίας ανέρχονται στα 1320 €/έτος (τιμές 2012).

Δαπάνες πιστοποιητικών λειτουργίας, ασφαλείας και τεχνικών ελέγχων

Οι δαπάνες αυτές πραγματοποιούνται προκειμένου να αποκτηθούν όλα τα απαιτούμενα από το νόμο πιστοποιητικά καλής λειτουργίας και ασφάλειας. Αποτελούνται από:

- Πιστοποιητικό Κρατικού Τεχνικού Ελέγχου Οχημάτων 'ΚΤΕΟ' : 70,50 €/έτος
- Κάρτα Εκπομπής Ρύπων: 17,50 €/έτος

Δαπάνες έδρας

Ως δαπάνες έδρας ορίζονται όλα τα έξοδα που γίνονται με σκοπό το συντονισμό και διατήρηση της μεταφορικής δραστηριότητας.

- Έξοδα λογιστηρίου: 1800 €/έτος
- Έξοδα έδρας: 3000 €/έτος
- Έξοδα στάθμευσης οχήματος: 705 €/έτος
- Εργοδοτικές εισφορές Ταμείου Συντάξεως Αυτοκινητιστών (Τ.Σ.Α): 205 €/έτος

Φορολογία εισοδήματος

Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία προβλέπεται η καταβολή συγκεκριμένων ποσών φόρου για τις επιχειρήσεις που εκμεταλλεύονται φορτηγά αυτοκίνητα δημοσίας χρήσης. Τα ποσά του φόρου καταβάλλονται ετησίως και εξαντλούν πλήρως τη φορολογική υποχρέωση για τη δραστηριότητα αυτή. Για φορτηγά πάνω των 16,5 τόνων (σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όλα τα φορτηγά που εκτελούν διεθνείς μεταφορές) ο φόρος αντιστοιχεί σε 1765 € για οδηγό ιδιοκτήτη και 1180 € για τρίτο οδηγό⁽⁶⁷⁾.

Αθροίζοντας τα παραπάνω κόστη καταλήγουμε πως οι σταθερές δαπάνες για επιχείρηση με αυτοαπασχολούμενο οδηγό με 8 έτη προϋπηρεσία, έγγαμο με ένα τέκνο ανέρχονται στα 47.000 €/έτος.

Για έναν οδικό μεταφορέα που εκτελεί κατά μέσο όρο 25 ταξίδια μεταξύ Ελλάδας και κεντρικής/βόρειας Ευρώπης τα σταθερά έξοδα αποτελούν περίπου το 1/3 των συνολικών εξόδων της επιχείρησης.

- **Λειτουργικές δαπάνες**

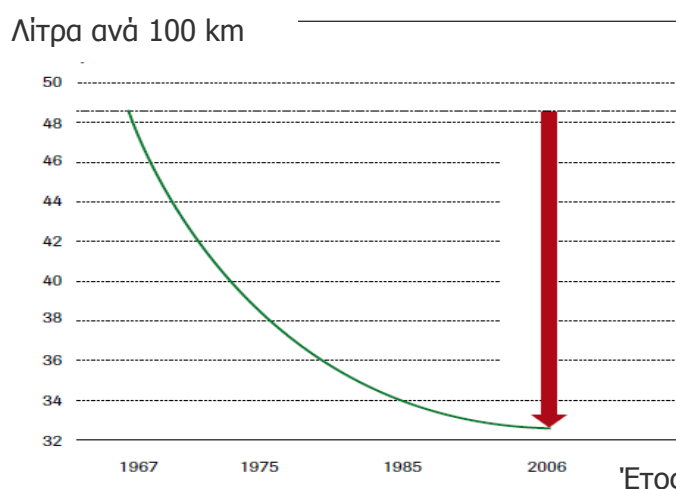
Ως λειτουργικές δαπάνες ορίζονται εκείνες που εξαρτώνται από την κυκλοφορία του οχήματος και είναι συνάρτηση του βαθμού χρησιμοποίησης του οχήματος. Οι δαπάνες αυτές εκφράζονται κατά κανόνα σε χιλιομετρική βάση, ή γενικότερα ανά μονάδα διανυόμενης απόστασης και αναλύονται στις επιμέρους δαπάνες:

- Καυσίμων
- Λιπαντικών
- Ελαστικών
- Συντήρησης-επισκευών

Η μέση ηλικία και η αντίστοιχη τεχνολογία κατασκευής των φορτηγών οχημάτων καθορίζουν ουσιαστικά τις λειτουργικές δαπάνες. Σύμφωνα με κλαδική μελέτη που αφορά την αγορά των επαγγελματικών οχημάτων στην Ελλάδα⁽⁶⁸⁾, το 2000 ο μέσος όρος ηλικίας των επαγγελματικών βαρέων οχημάτων δημοσίας χρήσης βρέθηκε να είναι αρκετά υψηλός. Συγκεκριμένα σχεδόν τα μισά (46,6%) βαρέα φορτηγά ήταν άνω των 20 ετών, το 81,6% ήταν ηλικίας άνω των 11 ετών και μόλις το 3,1% κάτω των 5 ετών. Γενικά εμφανίζεται ιδιαίτερα αυξημένη η μέση ηλικία του στόλου των κυκλοφορούντων βαρέων φορτηγών, η οποία επιβαρύνει το κόστος κατανάλωσης καυσίμων και λιπαντικών και το βαθμό συντήρησης τους.

Δαπάνη Καυσίμων

Η δαπάνη των καυσίμων αποτελεί τον κύριο παράγοντα διαμόρφωσης του λειτουργικού κόστους οχήματος. Σύμφωνα με σχετική μελέτη του Γερμανικού Συνδέσμου Βιομηχανίας Αυτοκινήτου (VDA)⁽⁶⁹⁾ η μέση κατανάλωση των φορτηγών οχημάτων είναι περίπου ίση με 33 L/ 100 km υπό κανονικές συνθήκες οδήγησης και χωρίς στάσεις.



Εικόνα 16: Διαχρονική εξέλιξη της κατανάλωσης καυσίμου των φορτηγών διεθνών μεταφορών

Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιήθηκε αυτή η τιμή ως μέση τιμή κατανάλωσης και κόστος καυσίμων το 1.5 €/L

Δαπάνη Λιπαντικών

Τα λιπαντικά έχουν κόστος και διάρκεια ζωής ανάλογα με τη χημική τους σύσταση. Υπάρχουν τα πρωτογενή-απλά, τα ημισυνθετικά και τα πλήρως συνθετικά, που προτιμώνται για επαγγελματική χρήση αφού οι αλλαγές είναι αραιότερες μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο συντήρησης. Η συχνότητα αλλαγής των λιπαντικών ελαίων εξαρτάται επίσης από την παλαιότητα και τεχνολογία των κινητήρων των οχημάτων. Τα οχήματα νέας τεχνολογίας πραγματοποιούν ταυτόχρονη αλλαγή λιπαντικών ελαίων και φίλτρων κάθε 45.000 km και κατά τον χρόνο του βασικού service. Σύμφωνα με τη μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ⁽⁷⁰⁾, το κόστος λιπαντικών ενός φορτηγού νέας τεχνολογίας ανέρχεται στα 0,00459 €/km.

Δαπάνες Ελαστικών - Ανακατασκευής

Οι κατασκευαστές ελαστικών ορίζουν τη διάρκεια ζωής σε 80.000 km για επίπεδο ασφαλτοστρωμένο οδόστρωμα. Υπάρχει η δυνατότητα ανακατασκευής του πέλματος του ελαστικού όταν αυτό φθαρεί. Οι δύο βασικές τεχνικές αναγόμωσης που χρησιμοποιούνται είναι η αναγόμωση και η επαναχάραξη νέου πέλματος. RETREADING και REGROOVING. Οι τεχνικές αυτές αυξάνουν την διάρκεια ζωής του ελαστικού με μειωμένο κόστος σε σχέση με την αγορά νέου ελαστικού δεν είναι όμως πάντα εφαρμόσιμες σε όλα τα ελαστικά του οχήματος.

Στα πλαίσια της προτεινόμενης μεθοδολογίας θεωρείται σκόπιμο να επιχειρηθεί να συμπεριληφθεί το όφελος που προκύπτει από τη χρησιμοποίηση αναγομωμένων ελαστικών στο συνολικό κόστος ελαστικών του οχήματος. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ένας *συντελεστής χρησιμοποίησης ελαστικών 'N'*, ως ο λόγος των τροχών που μπορούν να εφαρμοστούν αναγομωμένα ελαστικά, προς το συνολικό αριθμό τροχών του οχήματος.

Ο συνήθης τύπος συρμών βαρέων οχημάτων αποτελείται από 5 άξονες. Τα αναγομωμένα ελαστικά μπορούν να τοποθετηθούν στους τροχούς του κατευθυντήριου άξονα του ρυμουλκούμενου οχήματος και στους άξονες ελεύθερης κύλισης. Συνεπώς 12 αναγομωμένα ελαστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σύνολο των 18 τροχών. Ο λόγος 12/18 (= 0,67) εκφράζει τον συντελεστή χρησιμοποίησης των αναγομωμένων ελαστικών 'N' σε φορτηγό όχημα 5 αξόνων.

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα συμπεράσματα και παραδοχές ότι:

- Πρακτικά οι αλλαγές των ελαστικών πραγματοποιούνται κάθε 70.000 km.
- Το κόστος ενός ελαστικού καλής ποιότητας ανέρχεται στα 520 €.
- Το κόστος της αναγόμωσης ανέρχεται στο μισό της αγοράς του καινούργιου ελαστικού με την ίδια διάρκεια ζωής - κόστος 260 €.
- Το αναγομωμένο ελαστικό χρησιμοποιείται σε όλους τους τροχούς με μέσο όρο ίσο με τον συντελεστή χρησιμοποίησης.

Είναι δυνατό να θεωρηθεί ένα «*μέσο κόστος ελαστικών*» για να συμπεριληφθεί το όφελος της αναγόμωσης ελαστικών σε ποσοστό ίσο με τον συντελεστή χρησιμοποίησης. Το μέσο κόστος ελαστικού προκύπτει ως ο λόγος του αθροίσματος

της αξίας ενός καινούργιου και ενός αναγομωμένου επί τον συντελεστή χρησιμοποίησης, προς τη διπλάσια χιλιομετρική διάρκεια. Συγκεκριμένα για τους δύο τύπους φορτηγών ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων:

- Μέσο κόστος ελαστικών φορτηγών οχημάτων 5 αξόνων (18 τροχών) με συντελεστή χρησιμοποίησης 0,67.

Μέσο Κόστος Ελαστικών = $18 * (520 + (0.67 * 260) / (2 * 70000)) = 0,08925 \text{ €/km}$

Δαπάνες συντήρησης – επισκευών οχήματος

Το κόστος συντήρησης και η συχνότητα των επισκευών ενός οχήματος εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος, την παλαιότητα, τον τρόπο οδήγησης και τις ετήσιες διανυόμενες χιλιομετρικές αποστάσεις. Για τον υπολογισμό των δαπανών συντήρησης θα πρέπει να καθοριστεί ένα αντιπροσωπευτικό όχημα ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά, την ηλικία και τη μέση ετήσια χρήση.

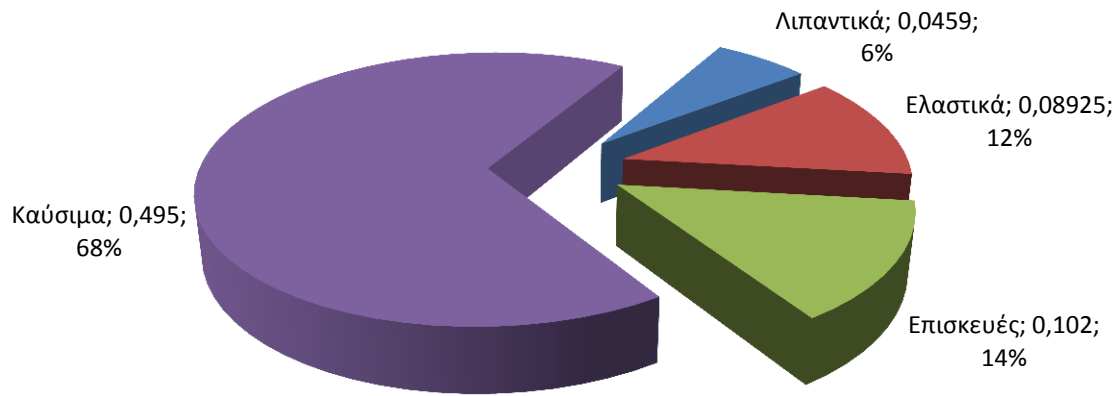
Στην μελέτη του ΥΠΕΧΩΔΕ⁽⁶²⁾ ως αντιπροσωπευτικό όχημα για τις κατηγορίες ελκυστήρων και ρυμουλκών μετά ρυμουλκουμένων, προκύπτει το VOLVO FH 12, μέσης ηλικίας 12 ετών, που διανύει ετησίως 60.000 km και δίδεται λεπτομερής περιγραφή της χιλιομετρικής συχνότητας εργασιών και κόστους συντήρησης. Σημειώνεται ότι η επιλογή του αντιπροσωπευτικού οχήματος, η μέση ετήσια χρήση και ηλικία έγινε βάσει στοιχείων και παραδοχών που αφορούν όλα τα φορτηγά οχήματα σε κυκλοφορία στην Ελλάδα ανεξαρτήτως επαγγελματικού αντικειμένου και μεταφερόμενων εμπορευμάτων.

Το κόστος εργασιών χιλιομετρικής συντήρησης βασίζεται σε πίνακα της μελέτης του ΥΠΕΧΩΔΕ (Αναλυτικός πίνακας 3.4 στο παράρτημα) με τιμές του 2002 και έκφραση κόστους σε [δραχμές/100.000 km]. Τα ποσά αυτά μετατράπηκαν σε ευρώ [€] και προέκυψε έκφραση χιλιομετρικού κόστους σε [€/km]. Ο Πίνακας 4.13 παραθέτει για το VOLVO FH 12 αναλυτικά τα κόστη των επιμέρους εργασιών, υποθέτει απρόβλεπτα κόστη συντήρησης ως το 10% του συνόλου των εργασιών και καταλήγει στο γενικό συνολικό κόστος ανά χιλιόμετρο.

Το ολικό κόστος συντήρησης ανέρχεται στα: 0,102040 €/km.

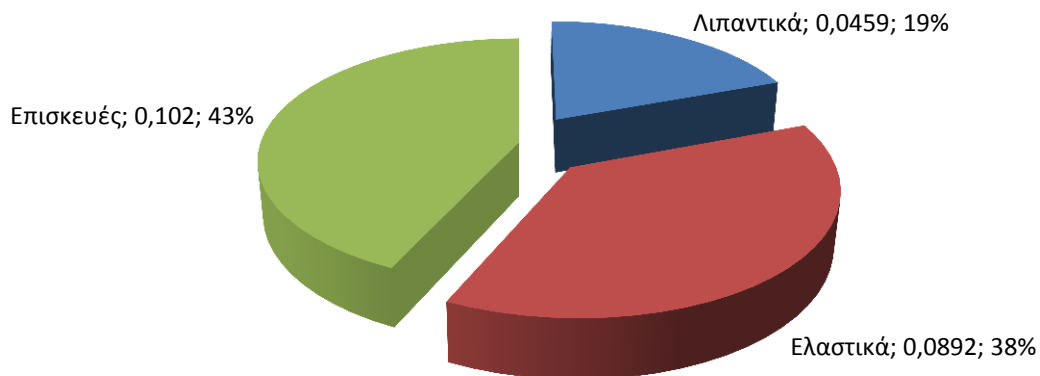
Μαζί με το κόστος της δαπάνης και ανακατασκευής των ελαστικών σε φορτηγό όχημα 5 αξόνων (0,08925 €/km) το τελικό λειτουργικό κόστος ανέρχεται στα 0,19113 €/km. Η Εικόνα 18 παρουσιάζει την κατανομή του λειτουργικού κόστους στις επιμέρους συνιστώσες στην περίπτωση που συμπεριλαμβάνεται το κόστος καυσίμου (πάνω) ή όχι (κάτω).

Λειτουργικά Έξοδα €/km



Σύνολο: 0,6861 €/km

Λειτουργικά έξοδα χωρίς το κόστος καυσίμων €/km



Σύνολο: 0,1911 €/km

Εικόνα 18: Κατανομή του λειτουργικού κόστους στις επιμέρους συνιστώσες στην περίπτωση που συμπεριλαμβάνεται το κόστος καυσίμου ή όχι

3.3.8 Σύγκριση εναλλακτικών διαδρομών

Έχει ήδη αναφερθεί πως η εύρεση των κ-βέλτιστων διαδρομών (k-best paths) σ' ένα πολύ πυκνό δίκτυο μπορεί να οδηγήσει σε λύσεις όπου η (κ+1)-ιοστή λύση διαφέρει ελάχιστα σε σχέση με την κ-ιοστή. Στο απλοποιημένο δίκτυο που παράγει η εφαρμογή όμως κάτι τέτοιο δεν ισχύει. Αν και η εύρεση των κ-βέλτιστων διαδρομών δεν γίνεται αυτόματα (μέχρι στιγμής) το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί διαφορετικά. Η εφαρμογή δίνει την δυνατότητα αναγνώρισης των κ-βέλτιστων διαδρομών με 2 τρόπους καθώς και συνδυασμούς αυτών:

1. Μέσω της υποχρεωτικής διέλευσης της βέλτιστης διαδρομής από συγκεκριμένους κόμβους.
2. Μέσω του αποκλεισμού κόμβων που δεν επιθυμείται η χρησιμοποίησή τους κατά την διαδικασία εύρεσης ελάχιστης διαδρομής. Επίσης ο χρήστης μπορεί εύκολα να απομονώσει από την διαδικασία ολόκληρες χώρες από τις οποίες δεν επιθυμεί να διέλθει η προτεινόμενη διαδρομή.

Επειδή η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής γίνεται με βάση το απλοποιημένο δίκτυο (το οποίο απαρτίζεται μόνο από διαδρομές ελάχιστου κόστους μεταξύ συνοριακών κόμβων και τερματικών μεταφορών), αποκλεισμός ή υποχρεωτική διέλευση από συγκεκριμένους κόμβους οδηγεί σε προτεινόμενες διαδρομές οι οποίες διαφέρουν με ουσιώδη τρόπο μεταξύ τους. Η Εικόνα 19 παρουσιάζει τρεις εναλλακτικές διαδρομές που εξάγονται μέσω εξαγωγής συγκεκριμένων κόμβων ή χωρών από την διαδικασία εύρεσης ελάχιστης διαδρομής.



Εικόνα 19: Εναλλακτικές διαδρομές μεταξύ Αθήνας – Μονάχου που δημιουργούνται βάση επιλογών του χρήστη του προγράμματος

3.3.9 Συνοπτική παρουσίαση της διαδικασίας χρήσης της εφαρμογής

Όπως έχει προαναφερθεί η εφαρμογή είναι σε θέση να εξάγει την βέλτιστη διαδρομή σύμφωνα με κριτήρια χρόνου, κόστους και λειτουργικού κόστους. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα επιλογής του είδους της βελτιστοποίησης μέσω μίας φόρμας στην οποία παρατίθενται όλες οι δυνατές επιλογές (Εικόνα 20α). Μετά την επιλογή του είδους της βελτιστοποίησης εμφανίζεται μία δεύτερη φόρμα (Εικόνα 20β) στην οποία ζητείται η ημερομηνία και η ώρα έναρξης της διαδρομής. Ο καθορισμός της ημέρας και ώρας έναρξης της διαδρομής απαιτείται ώστε να υπολογιστούν οι χρόνοι αναμονής στα λιμάνια/αεροδρόμια του δικτύου. Μέσω μίας τρίτης φόρμας (Εικόνα 20γ) ζητείται η επιλογή των κόμβων από τους οποίους θα διέλθει η προτεινόμενη διαδρομή (συγκεκριμένα λιμάνια/σιδ. σταθμοί ή τελωνεία-συννοριακοί σταθμοί). Καθώς ο χρήστης επιλέγει τους κόμβους εμφανίζονται τα διαθέσιμα για αυτούς στοιχεία όπως το όνομα, η χώρα και ο κωδικός τους. Το πρόγραμμα δίνει επίσης την δυνατότητα στον χρήστη να αποκλείσει ορισμένους κόμβους από την διαδρομή ή και όλους τους κόμβους συγκεκριμένων χωρών. Μετά την οριστικοποίηση των κόμβων υποχρεωτικής διέλευσης ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κόμβους οι οποίοι δεν θέλει να συμπεριληφθούν στον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής. Η διαδικασία γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και στο προηγούμενο βήμα μέσω μιας φόρμας παρόμοιας με την προηγούμενη. Η επιλογή των κόμβων μπορεί να γίνει μεμονωμένα ή με την επιλογή αποκλεισμού όλων των συνόρων συγκεκριμένων χωρών. Ανάλογα με τους διαδοχικούς κόμβους που θα επιλέξει ο χρήστης (ή αντίστοιχα με τους κόμβους που θα αποκλείσει από μία διαδρομή) η προτεινόμενη διαδρομή διαφοροποιείται σημαντικά.

Επιπλέον επιλογές δίνονται στον χρήστη όταν η προτεινόμενη διαδρομή χρησιμοποιήσει θαλάσσιους συνδέσμους για τους οποίους υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με τα ακριβή χαρακτηριστικά τους. Αφού πραγματοποιηθεί ο έλεγχος των διαθέσιμων δρομολογίων (κεφάλαιο 3.3.5), ο χρήστης ενημερώνεται μέσω μίας ειδικής φόρμας (Εικόνα 20δ) για τις διαθέσιμες επιλογές συνέχισης του δρομολογίου καθώς και όλα τα απαραίτητα στοιχεία για αυτές όπως η ώρα αναχώρησης τους, ο απαιτούμενος χρόνος αναμονής του φορτηγού, το κόστος του ναύλου και η ναυτιλιακή εταιρεία που εξυπηρετεί την διαδρομή. Σε περίπτωση που έχει οριστεί, πριν της εκτέλεσης του προγράμματος, κάποιος συγκεκριμένος κανόνας για τον τρόπο επιλογής διαθέσιμου δρομολογίου (πχ μικρότερος χρόνος αναμονής στο λιμάνι ή ελάχιστο κόστος ναύλου) η εφαρμογή προτείνει στον χρήστη την κατάλληλη επιλογή δρομολογίου (Εικόνα 20δ). Αφού γίνει η επιλογή του δρομολογίου, το πεδίο της βάσης δεδομένων που αντιστοιχεί στον θαλάσσιο σύνδεσμο ενημερώνεται με τις ακριβείς τιμές κόστους και χρόνου. Οι τιμές αυτές έχουν ληφθεί από την ναυτιλιακή εταιρεία και είναι σαφώς ακριβέστερες από τις τιμές που βρίσκονται στην βάση του ETIS. Μετά τον υπολογισμό όλων των παραπάνω παραγόντων το πρόγραμμα είναι σε θέση να υπολογίσει όλα τα χαρακτηριστικά της διαδρομής όπως την ώρα άφιξης στον τελικό προορισμό, την συνολική χρονική διάρκεια και χιλιομετρική απόσταση της διαδρομής, τις ώρες που απαιτούνται για την ανάπαυση του οδηγού, τα κόστη καυσίμων, ναύλων και διοδίων, τον χρόνο καθυστέρησης στα σύνορα λόγω ελέγχων καθώς και τον αριθμό. Τελικά τα παρουσιάζει συνοπτικά σε ειδική φόρμα και τα εξάγει σε μορφή (.txt) για την εύκολη αποθήκευσή τους.

ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

☒ 1. Ελαχιστοποίηση συνολικού χρόνου ταξιδιού.
☐ 2. Ελαχιστοποίηση λειτουργικού κόστους ταξιδιού.
☐ 3. Ελαχιστοποίηση γενικευμένου κόστους ταξιδιού

☐ Διαγραφή του τελευταίου σεναρίου

ΟΔΗΓΙΕΣ Συνέχεια

ΕΝΑΡΞΗ ΤΑΞΙΔΙΟΥ

Ημέρα: Μήνας: Χρονιά:

Εισάγετε την ώρα έναρξης του ταξιδιού:

Συνέχεια

ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

Κατάλογος διαδοχικών κόμβων

Athens Centre	Country: Greece	/ ID Κόμβου: 214
Port of Patra	Country: Greece	/ ID Κόμβου: 273
Munich Centre	Country: Germany	/ ID Κόμβου: 696

Έναρξη επιλογής κόμβων από τον χάρτη

Οδηγίες Συνέχεια

ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΙΑ

Port of Patra

Ωρα αφίξης φορτηγού στο λιμάνι: 21:00

Τετάρτη, 5 Σεπτέμβριος 2012

Επιλογή από τον χρήστη

Αναχωρήσεις την ημέρα άφιξης

Αναχώρηση	Τμή Εισιτηρίου	Αναμονή στο λιμάνι	Εταιρεία	Κατάσταση
17:00	680	-0:00	SUPERFAST	Αναχωρεί
00:00	0	-0:00	MINOAN	Αναχωρεί
00:00	0	-0:00		Αναχωρεί

Αναχωρήσεις την επόμενη ημέρα

Αναχώρηση	μή Εισιτηρίου	Αναμονή στο λιμάνι	Εταιρεία	Κατάσταση
17:00	500	19:54	SUPERFAST	Αναμένει
17:30	645	20:24	MINOAN	Αναμένει
00:00	0	-0:00		Αναχωρεί

Αυτόματες επιλογές βάσει κανόνων

☒ Επιλογή του 1ου διαθέσιμου πλοίου
☐ Επιλογή οικονομικότερου ναύλου

Συνέχεια

Εικόνα 20: Φόρμες δεδομένων εισόδου του προγράμματος: α) Επιλογή κριτηρίου βελτιστοποίησης β) Ώρα και ημερομηνία έναρξης ταξιδιού γ) επιλογή κόμβων υποχρεωτικής διέλευσης ή αποκλεισμού δ) παρουσίαση διαθέσιμων δρομολογίων από το λιμμένα

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΡΟΜΩΝ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΕΛΛΑΔΑ-ΓΕΡΜΑΝΙΑ

4.1 Οι εμπορευματικές ροές μεταξύ Ελλάδας και Γερμανίας

Οι εμπορικές σχέσεις μεταξύ Ελλάδας και Γερμανίας ήταν από το παρελθόν και εξακολουθούν να είναι πολύ ισχυρές ⁽⁷¹⁾. Το 2010 Οι ελληνικές εξαγωγές στην Γερμανία αποτελούσαν το 10,9% του συνόλου των ελληνικών εξαγωγών, έναντι 10,8% και 7,1% αντιστοίχως των εξαγωγών μας προς την Ιταλία και την Κύπρο. Αντίστοιχα οι εισαγωγές της Ελλάδας από την Γερμανία αποτελούσαν το 2010 το 10,5% του συνόλου των ελληνικών εισαγωγών και ακολουθούσαν οι εισαγωγές από την Ιταλία με 9,9% και την Ρωσία με 9,8%. Το 2011 και 2012 (Πίνακας 5) η Ιταλία ξεπέρασε τα νούμερα της Γερμανίας στις εξαγωγές, η οποία όμως παραμένει πρώτη ως προς τις εισαγωγές⁽⁷²⁾.

Οι Οδικές Εμπορευματικές Μεταφορές στην Ελλάδα αποτελούν το πιο ανταγωνιστικό μέσο μεταφοράς για τις μεταφορές εσωτερικού και το δεύτερο κατά σειρά για τις μεταφορές εξωτερικού. Το μερίδιο τους στην αγορά των μεταφορών και η σημασία τους αυξάνουν διαχρονικά⁽⁷³⁾.



Εικόνα 21: Γερμανικές και Ελληνικές εξαγωγές προς Ελλάδα και Γερμανία αντίστοιχα

α/α	ΧΩΡΕΣ	ΕΞΑΓΩΓΕΣ (χωρίς πετρελαιοειδή)			ΕΙΣΑΓΩΓΕΣ (χωρίς πετρελαιοειδή)		
		α' εξάμηνο 2012	α' εξάμηνο 2011	Μεταβολή 2012/2011 %	α' εξάμηνο 2012	α' εξάμηνο 2011	Μεταβολή 2012/2011 %
1	ΙΤΑΛΙΑ	909.053.151	1.016.216.270	-10,55%	1.657.358.543	1.974.651.397	-16,07%
2	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	855.378.935	904.301.953	-5,41%	2.153.473.890	2.357.339.825	-8,65%
3	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	522.035.599	557.734.718	-6,40%	523.631.128	505.031.672	3,68%
4	ΚΥΠΡΟΣ	484.273.058	521.251.606	-7,09%	268.313.130	311.217.173	-13,79%
5	ΗΝΩΜΕΝΟ ΒΑΣΙΛΕΙΟ	401.118.091	389.725.870	2,92%	540.650.254	617.802.907	-12,49%
6	ΤΟΥΡΚΙΑ	386.945.313	318.434.460	21,51%	402.383.373	495.356.928	-18,77%
7	Η Π Α	377.605.539	252.640.563	49,46%	305.931.702	333.770.220	-8,34%
8	ΓΑΛΛΙΑ	301.973.536	327.767.408	-7,87%	994.646.896	1.185.855.129	-16,12%
9	ΡΟΥΜΑΝΙΑ	276.623.857	290.758.516	-4,86%	220.647.553	224.094.461	-1,54%
10	ΡΩΣΙΑ	219.325.602	162.933.091	34,61%	155.900.583	191.114.700	-18,43%

Πίνακας 5: Εξωτερικό εμπόριο Ελλάδας α' εξάμηνο 2012

4.2 Συνήθειες διαδρομές και χρησιμοποιούμενοι τύποι οχημάτων

Οι κυριότερες διαδρομές που χρησιμοποιούνται σήμερα για την εκτέλεση εμπορευματικών μεταφορών μεταξύ Ελλάδας και Κ. Ευρώπης είναι οι εξής:

- Αθήνα/Θεσσαλονίκη - Σκόπια - Σερβία - Κροατία - Αυστρία - Γερμανία
- Αθήνα/Θεσσαλονίκη - Σκόπια-Σερβία - Ουγγαρία - Αυστρία - Γερμανία
- Αθήνα/Θεσσαλονίκη - Σκόπια-Βουλγαρία - Κροατία - Αυστρία - Γερμανία
- Αθήνα/Θεσσαλονίκη - Σκόπια-Βουλγαρία- Ουγγαρία - Αυστρία - Γερμανία
- Πάτρα/Ηγουμενίτσα - Ιταλία (Μπρίντζι) - Αυστρία - Γερμανία
- Πάτρα/Ηγουμενίτσα - Ιταλία (Βενετία)- Αυστρία - Γερμανία
- Πάτρα/Ηγουμενίτσα - Ιταλία (Μπάρι) - Αυστρία - Γερμανία
- Πάτρα/Ηγουμενίτσα - Ιταλία (Ανκόνα) - Αυστρία - Γερμανία
- Πάτρα/Ηγουμενίτσα - Ιταλία (Ανκόνα) - Γαλλία- Γερμανία

Στο παρελθόν όταν λόγο του πολέμου η διέλευση από τις χώρες της πρώην Γιουγκοσλαβίας δεν ήταν δυνατή είχαν χρησιμοποιηθεί και διαδρομές μέσω Γιουγκοσλαβίας⁽⁷⁴⁾ οι οποίες ήταν πολύ πιο γρήγορες καθώς διέσχιζαν λιγότερες χώρες και υπόκειντο σε λιγότερους τελωνειακούς ελέγχους.

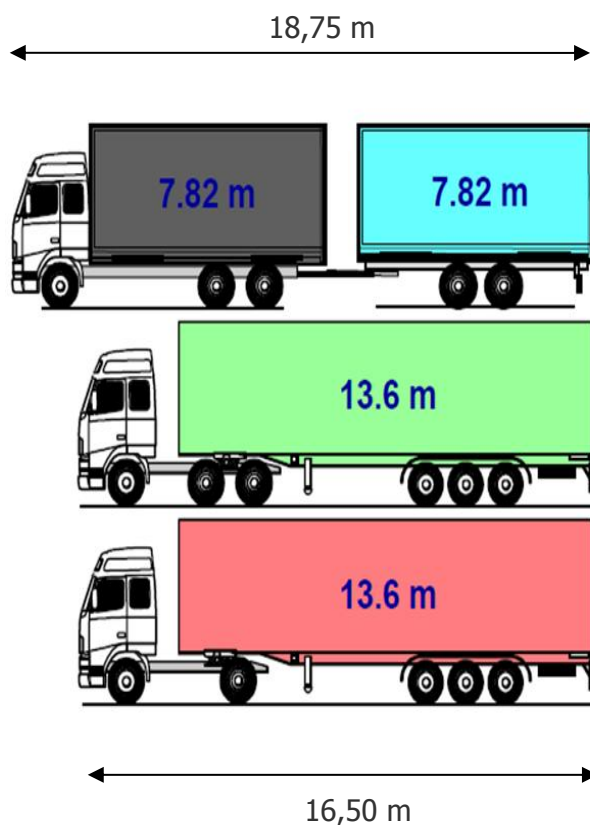


Εικόνα 22: Εναλλακτικές οδικές και συνδυασμένες διαδρομές από Αθήνα και Θεσσαλονίκη προς προορισμούς στην Γερμανία

4.3 Τύποι οχημάτων μεταφοράς φορτίου

Στις διεθνείς Ευρωπαϊκές μεταφορές χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι φορτηγών οχημάτων. Σύμφωνα με την Οδηγία 96/53/EK του Συμβουλίου της 25ης Ιουλίου 1996 για τα οδικά οχήματα που κυκλοφορούν στην Κοινότητα, οι μέγιστες επιτρεπόμενες διαστάσεις είναι 16,5 m για τον συνδυασμό ελκυστήρας – ημιρυμουλκούμενου και 18,75 m για τον συνδυασμό φορτηγό – συρόμενο όχημα (Βλ. εικόνα 23).

Οι ελληνικές εταιρείες διεθνών μεταφορών χρησιμοποιούν κυρίως επικαθήμενα φορτηγά (Εικόνα 23 ελκυστήρας/ρυμουλκό) με ικανότητα μεταφοράς 40 τόνων μικτό φορτίο. Αυτό σημαίνει πως μπορούν να μεταφερθούν εμπορεύματα 40 τόνων μείον το απόβαρο του φορτηγού. Το απόβαρο σε μία σύγχρονη μονάδα είναι της τάξης των 7 τόνων για το ρυμουλκό και 6,5 για το επικαθήμενο, άρα το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο είναι περίπου 26 τόνοι. Αξίζει να σημειωθεί πως για τα οχήματα που κινούνται υπό το καθεστώς συνδυασμένων μεταφορών το ανώτατο φορτίο για τις αρχικές και τελικές διαδρομές είναι 44 τόνοι (ΠΔ 237/21.6.1991 ΦΕΚ 90 τεύχος πρώτο).



Εικόνα 23: (Αριστερά) Συμβατικό όχημα διεθνών μεταφορών
(Δεξιά) Τύποι και αντίστοιχες μέγιστες διαστάσεις οδικών οχημάτων σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 96/53/EK

4.4 Διατύπωση σεναρίων

Οι εμπορευματικές μεταφορές Ελλάδας Γερμανίας αποτέλεσαν το αντικείμενο της εφαρμογής που έγινε για τον έλεγχο εγκυρότητας και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας και του λογισμικού που αναπτύχθηκαν στην παρούσα εργασία (τα στοιχεία των λύσεων που πρόέκυψαν συγκρίθηκαν με πραγματικά στοιχεία ελλήνων μεταφορέων που εκτελούν μεταφορές στον άξονα Ελλάδα-Γερμανία.) Εξεταστήκαν 36 σενάρια: Τα σενάρια 1-10 αφορούσαν στην μεταφορά από Αθήνα και Θεσσαλονίκη προς Μόναχο για 10 αμιγώς οδικές (διαδρομές ΟΔ) διαδρομές με κριτήριο κόστους τον ελάχιστο χρόνο διαδρομής ενώ τα σενάρια 20-29 με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του κόστους διαδρομής. Οι οδικές διαδρομές που εξετάστηκαν ήταν οι:

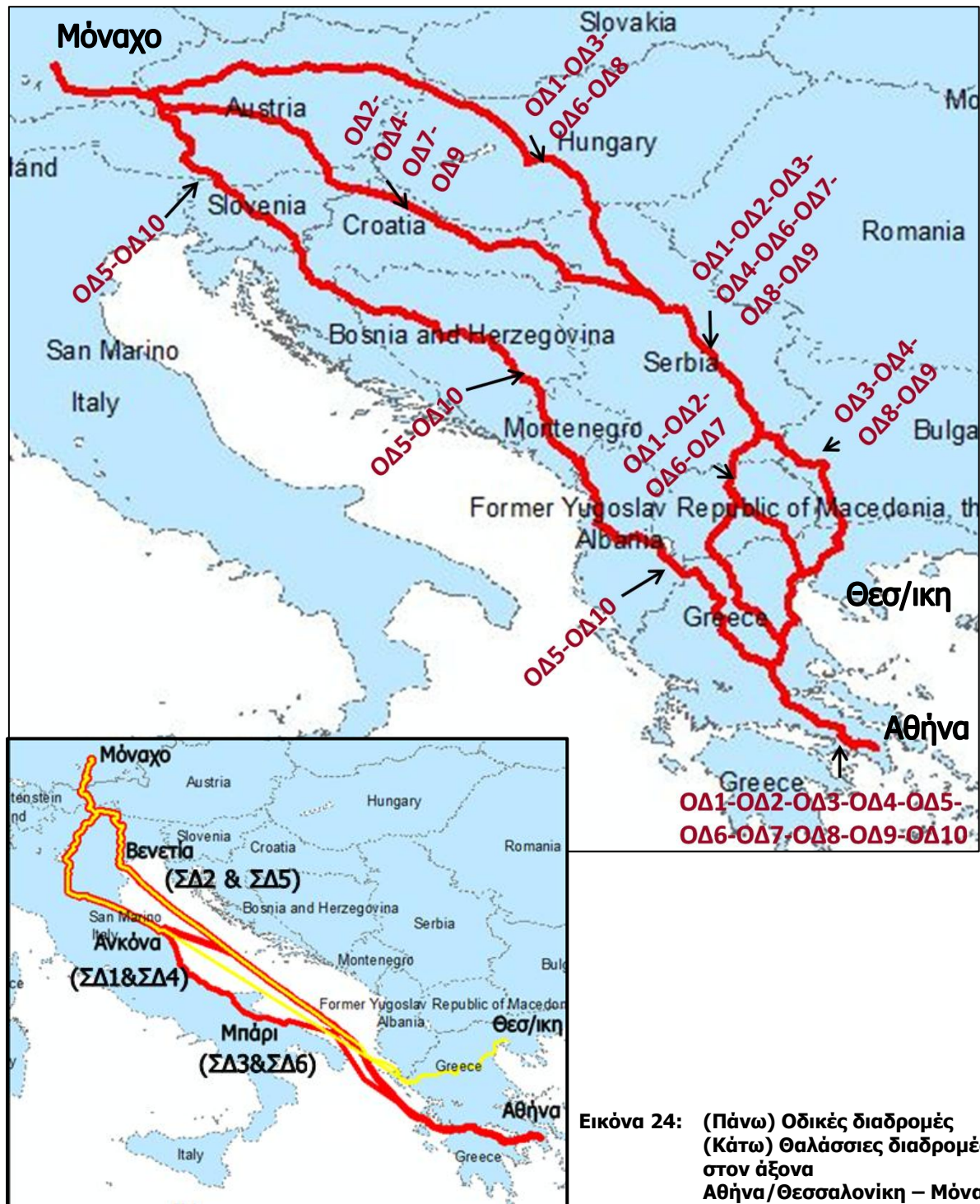
- ΟΔ1. Αθήνα–Σκόπια–Σερβία–Ουγγαρία–Αυστρία–Μόναχο
- ΟΔ2. Αθήνα–Σκόπια–Σερβία–Κροατία–Αυστρία–Μόναχο
- ΟΔ3. Αθήνα–Βουλγαρία–Ουγγαρία–Αυστρία– Μόναχο
- ΟΔ4. Αθήνα–Βουλγαρία–Κροατία–Αυστρία–Μόναχο
- ΟΔ5. Αθήνα–Αλβανία–Μαυροβούνιο–Βοσνία–Κροατία–Σλοβενία–Αυστρία–Μόναχο
- ΟΔ6. Θεσσαλονίκη–Σκόπια–Σερβία–Ουγγαρία–Αυστρία–Μόναχο
- ΟΔ7. Θεσσαλονίκη–Σκόπια–Σερβία–Κροατία–Αυστρία–Μόναχο
- ΟΔ8. Θεσσαλονίκη–Βουλγαρία–Ουγγαρία–Αυστρία–Μόναχο
- ΟΔ9. Θεσσαλονίκη–Βουλγαρία–Κροατία–Αυστρία–Μόναχο
- ΟΔ10. Θεσ/κη–Αλβανία–Μαυροβούνιο–Βοσνία–Κροατία–Σλοβενία–Αυστρία–Μόναχο

Εξεταστήκαν ακόμη 9 σενάρια συνδυασμένων διαδρομών (διαδρομές ΣΔ) από Αθήνα μέσω Πάτρας και λιμένων της Ιταλίας (Ανκόνα/Βενετία/Μπάρι) και από Θεσσαλονίκη μέσω Ηγουμενίτσας και των ίδιων με προηγουμένως λιμένων της Ιταλίας πλην του Μπάρι διότι δεν διαπιστώθηκε κάποιο ιδιαίτερο όφελος από την επιλογή αυτού το δρομολογίου στον υπό μελέτη άξονα. Τα σενάρια 11-15 (κριτήριο η ελαχιστοποίηση της διάρκειας της διαδρομής) και 30-34 (κριτήριο η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους) εκτελέστηκαν με της διαδρομής και με τέτοιο τρόπο ώστε τα φορτηγά να βρίσκονται στον λιμένα 1 ώρα πριν την προγραμματισμένη αναχώρηση (περιθώριο ασφαλείας) ενώ η μέρα έναρξης της διαδρομής ώστε να μπορεί να επιλεγεί το δρομολόγιο με τον χαμηλότερο μηνιαίο ναύλο. Αντίθετα στα σενάρια 16-19 (κριτήριο η ελαχιστοποίηση της διάρκειας της διαδρομής) η ημέρα έναρξης της διαδρομής επιλέχθηκε έτσι ώστε να ακολουθείται η διαδρομή με τον υψηλότερο ναύλο εντός του μήνα ενώ για την ώρα έναρξης της διαδρομής ισχύει και πάλι ο κανόνας της άφιξης στο λιμάνι 1 ώρα νωρίτερα. Οι συνδυασμένες διαδρομές (ΣΔ) που μελετήθηκαν ήταν οι εξής:

- ΣΔ1. Αθήνα–Πάτρα–Ανκόνα–Μόναχο
- ΣΔ2. Αθήνα–Πάτρα–Βενετία–Μόναχο
- ΣΔ3. Αθήνα–Πάτρα–Μπάρι–Μόναχο
- ΣΔ4. Θεσσαλονίκη–Ηγουμενίτσα–Ανκόνα–Μόναχο
- ΣΔ5. Θεσσαλονίκη–Ηγουμενίτσα–Βενετία–Μόναχο

Στο σενάριο 35 εξετάζεται η επιρροή της ημέρας έναρξης της διαδρομής στο τελικό κόστος των συνδυασμένων μεταφορών (ΣΔ 1,2,3). Με σταθερή ώρα έναρξης του ταξιδιού κάθε μέρα υπολογίζεται το κόστος της διαδρομής για μία εβδομάδα (οι τιμές ναύλων οι οποίες τελικά επηρεάζουν το αποτέλεσμα επαναλαμβάνονται ανά εβδομάδα).

Τέλος εξετάστηκε και ένα σενάριο (σενάριο 36) με κριτήριο βελτιστοποίησης το γενικευμένο κόστος διαδρομής ώστε να γίνει εμφανής η δυνατότητα εύρεσης "ενδιάμεσων" εναλλακτικών λύσεων με την χρήση αυτής της τεχνικής.



Ο Πίνακας 8 παρουσιάζει τα σενάρια που διατυπώθηκαν και επιλύθηκαν. Οι ομαδοποιήσεις και οι μεταβλητές εισόδου παρουσιάζονται αναλυτικά στα επόμενα:

Σενάριο – ομάδα σεναρίων – κωδικός διαδρομής:

Οποιαδήποτε αλλαγή σε κάποια μεταβλητή εισόδου του μοντέλου οδηγεί σε νέο σενάριο. Τα διάφορα σενάρια επίλυσης που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά ομαδοποιούνται. Για παράδειγμα τα σενάρια της ομάδας Ο1 και Ο2 αφορούν αμιγώς οδικές μεταφορές με προέλευση την Αθήνα και Θεσσαλονίκη αντίστοιχα, της ομάδας Ο3 συνδυασμένες μεταφορές με προέλευση την Αθήνα κτλ. Ο κωδικός της διαδρομής ξεκινά με το πρόθεμα ΟΔ για τις αμιγώς οδικές και το ΣΔ για τις συνδυασμένες διαδρομές.

Χρόνος αναχώρησης / ημερομηνία αναχώρησης:

Καθορισμός της ώρας και της ημερομηνίας έναρξης του ταξιδιού. Αποτελεί απαραίτητη πληροφορία για τον υπολογισμό του χρόνου αναμονής στα λιμάνια και την εξακρίβωση των διαθέσιμων δρομολογίων κατά την ώρα και ημέρα άφιξης του φορτηγού στο λιμάνι. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας τα στοιχεία για δρομολόγια αφορούν μόνο στον μήνα Σεπτέμβριο. Στα σενάρια που εμπλέκουν συνδυασμένες μεταφορές η επιλογή του χρόνου αναχώρησης έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε να μειώνεται ο χρόνος αναμονής στο λιμάνι λαμβάνοντας υπόψη και ένα χρονικό περιθώριο της τάξης της μίας ώρας.

Κριτήριο βελτιστοποίησης - τιμή ναύλου πλοίου:

Οι επιλύσεις και στα επόμενα 36 σενάρια έγιναν για 3 διαφορετικά σενάρια βελτιστοποίησης: (α) Ελαχιστοποίηση χρόνου ταξιδιού: Στόχος είναι η άφιξη στον τελικό προορισμό ανεξαρτήτου του κόστους (β) Ελαχιστοποίηση λειτουργικού κόστους: Στόχος η ελαχιστοποίηση του κόστους από καύσιμα και διόδια (γ) Ελαχιστοποίηση γενικευμένου κόστους (για διαφορετικές τιμές του κόστους χρόνου). Ανάλογα με το κριτήριο βελτιστοποίησης που έχει επιλεγεί, η εφαρμογή αποφασίζει αυτόματα για το δρομολόγιο που θα ακολουθηθεί σε περίπτωση θαλάσσιας διαδρομής για την οποία υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία. Στην περίπτωση βελτιστοποίησης του συνολικού χρόνου ταξιδιού επιλέγεται το δρομολόγιο με την μικρότερη αναμονή στο λιμάνι, ενώ στην περίπτωση ελαχιστοποίησης του κόστους το δρομολόγιο με τον χαμηλότερο ναύλο. Τέλος στην περίπτωση βελτιστοποίησης βάσει του γενικευμένου κόστους η εφαρμογή παρουσιάζει όλες τις δυνατές επιλογές δρομολογίων μέσα στη μέρα (και την επόμενη) και επιτρέπει στον χρήστη να διαλέξει αυτή που επιθυμεί. Στο πεδίο “τιμή ναύλου” αποτυπώνεται η επιλογή χαμηλού (Χ) ή υψηλού (Υ) ναύλου της θαλάσσιας διαδρομής.

Στον ίδιο Πίνακα 8 παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα της ανάλυσης που αφορούν στις ακόλουθες παραμέτρους:

Συνολική απόσταση (km):

Η συνολική διανυόμενη απόσταση μεταξύ πόλεων προέλευσης και προορισμού. Περιλαμβάνει τόσο το μήκος των χερσαίων όσο και το μήκος των θαλάσσιων διαδρομών.

Οδική απόσταση (km):

Η συνολική διανυόμενη απόσταση χερσαίων διαδρομών. Χρησιμοποιείται στον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους. Στην περίπτωση αμιγώς χερσαίων διαδρομών συμπίπτει με την συνολική απόσταση.

Χρόνος διαδρομής (h):

Είναι η χρονική διάρκεια κατά την οποία εκτελείται μεταφορικό έργο και χρησιμοποιείται για να διαχωριστεί ο χρόνος διάνυσης της διαδρομής από τον χρόνο ανάπαυσης των οδηγών ή τους χρόνους αναμονής στα λιμάνια.

Αριθμός συνοριακών ελέγχων:

Ο αριθμός των συνοριακών ελέγχων κατά μήκος της διαδρομής. Ο αριθμός στην παρένθεση είναι ο αριθμός των συνοριακών ελέγχων μεταξύ χωρών που δεν ανήκουν αμφότερες στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Διάρκεια ελέγχων (h):

Είναι η συνολική διάρκεια των καθυστερήσεων λόγω τελωνειακών ελέγχων και αναμονών στους λιμένες. Επειδή στην βάση του ETIS δεν δίνονται στοιχεία σχετικά με τις καθυστερήσεις λόγω ελέγχων στα σύνορα υποτέθηκε ένας μέσος χρόνος καθυστέρησης 1,5 ώρας μεταξύ χωρών που δεν ανήκουν και οι 2 στην ΕΕ. Παρότι οι συνοριακοί έλεγχοι μεταξύ κρατών που ανήκουν στην ΕΕ δεν διεξάγονται πάντα προστίθεται ένας χρόνος 30 λεπτών για να συνεκτιμηθούν στους υπολογισμούς οι χρόνοι λόγω άλλου είδους ελέγχων (πχ έλεγχος βάρους οχήματος) που δεν λαμβάνουν χώρα υποχρεωτικά στους συνοριακούς σταθμούς της κάθε χώρας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί πως δεν μπορεί να προσδιοριστεί ένας σταθερός χρόνος καθυστέρησης ανά έλεγχο αφού εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως η ουρά αναμονής, η αυστηρότητα του ελέγχου κτλ. Οι τιμές των καθυστερήσεων μπορούν να διορθωθούν με "καταλληλότερες" αν το επιθυμεί ο χρήστης ή ακόμη καλύτερα να προκύψουν μέσω στατιστικών κατανομών.

Χρόνος ανάπαυσης οδηγού (h):

Ο απαιτούμενος χρόνος ανάπαυσης των οδηγών σύμφωνα με τους κανονισμούς της ΕΕ.

Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h):

Είναι η συνολική διάρκεια του ταξιδιού δηλαδή αποτελεί το άθροισμα του χρόνου διαδρομής, των καθυστερήσεων και της ανάπαυσης του οδηγού.

Συνολικό λειτουργικό κόστος (€):

Απαρτίζεται από το κόστος καυσίμων και διοδίων κατά τη διαδρομή, το κόστος των ναύλων των πλοίων καθώς επίσης και από το κόστος λόγω φθοράς του οχήματος (όπως υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 3.3.7) κατά την διάνυση της οδικής απόστασης της διαδρομής.

Σε όσους πίνακες υπολογίζονται ποσοστιαίες διαφορές η διαδρομή που χρησιμοποιείται ως βάση είναι με έντονα γράμματα μέσα στον πίνακα.

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Χρόνος – ημέρα αναχώρησης	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Κριτήριο βελτιστοποίησης	Συνολική Απόσταση (km)	Οδική απόσταση (km)	Χρόνος διαδρομής (h)	Αριθμός συν. ελέγχων (**)	Διάρκεια ελέγχων (h)	Χρόνος ανάπαυσης (h)	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	Συνολικό λειτουργ. κόστος (€)
O1	1	ΟΔ1	12:00-1/9		Χρόνος	2520	2520	38,95	5(3)	5,5	32,25	71.2	1857
O1	2	ΟΔ2	12:00-1/9		Χρόνος	2483	2483	39,82	6(4)	7	32,25	72.07	1773
O1	3	ΟΔ3	12:00-1/9		Χρόνος	2582	2582	38,72	5(2)	4,5	32,25	70,97	1908
O1	4	ΟΔ4	12:00-1/9		Χρόνος	2491	2491	40,44	6(4)	7	32,25	72.69	1837
O1	5	ΟΔ5	12:00-1/9		Χρόνος	2397	2397	38,62	7(5)	8,5	32,25	70.87	1832
O2	6	ΟΔ6	12:00-1/9		Χρόνος	2046	2046	33,09	5(3)	5,5	21,8	54.89	1542
O2	7	ΟΔ7	12:00-1/9		Χρόνος	2009	2009	33,96	6(4)	7	21,8	55,76	1442
O2	8	ΟΔ8	12:00-1/9		Χρόνος	2070	2070	32,4	5(2)	5	21,8	54,2	1547
O2	9	ΟΔ9	12:00-1/9		Χρόνος	2032	2032	33,27	6(3)	6	21,8	55,07	1466
O2	10	ΟΔ10	12:00-1/9		Χρόνος	2070	2070	34,53	7(5)	8,5	31,8	66,33	1490
O3	11	ΣΔ1	13:00-6/9	X	Χρόνος	2312	1175	38,19	3(0)	1,5	0,9	39,09	1385
O3	12	ΣΔ2	20:00-6/9	X	Χρόνος	2190	831	34,91	3(0)	1,5	0,45	35,36	1314
O3	13	ΣΔ3	14:00-7/9	X	Χρόνος	2312	1712	34,58	3(0)	1,5	0,9	45,48	1674
O4	14	ΣΔ4	16:30-6/9	X	Χρόνος	2146	1346	33,74	3(0)	1,5	0,9	34,64	1695
O4	15	ΣΔ5	00:00-7/9	X	Χρόνος	2130	1002	39,3	3(0)	1,5	11,35	40,2	1305
O5	16	ΣΔ1	13:00-11/9	Y	Χρόνος	2312	1175	38,19	3(0)	1,5	0,9	39,09	1705
O5	17	ΣΔ2	20:00-14/9	Y	Χρόνος	2190	831	34,91	3(0)	1,5	0,45	35,36	1444
O5	18	ΣΔ3	14:00-6/9	Y	Χρόνος	2312	1712	34,58	3(0)	1,5	10,9	45,48	1739
O5	19	ΣΔ5	00:00-7/9	Y	Χρόνος	2130	1002	39,3	3(0)	1,5	0,9	40,2	1485
O6	20	ΟΔ1	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2519	2519	40,39	5(3)	5,5	32,25	72.64	1736
O6	21	ΟΔ2	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2516	2516	41	6(4)	7	32,25	73,25	1718
O6	22	ΟΔ3	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2580	2580	40,16	5(2)	4,5	32,25	72,41	1789
O6	23	ΟΔ4	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2576	2576	40,76	6(3)	6	32,25	73,01	1769
O6	24	ΟΔ5	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2394	2394	40,28	7(5)	8,5	32,25	72,53	1644
O7	25	ΟΔ6	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2023	2023	34,66	5(3)	5,5	31,8	66,46	1400
O7	26	ΟΔ7	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2020	2020	35,26	6(4)	7	31,8	67,06	1382
O7	27	ΟΔ8	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2063	2063	33,81	5(2)	4,5	31,8	65,61	1427
O7	28	ΟΔ9	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2060	2060	34,4	6(3)	6	31,8	66,2	1409
O7	29	ΟΔ10	12:00-1/9		Λ.Κόστο	2063	2063	36,16	5(5)	7,5	31,8	67,96	1419
O8	30	ΣΔ1	13:00-6/9	X	Λ.Κόστο	2283	1146	38,84	3(0)	1,5	0,9	39,74	1299
O8	31	ΣΔ2	20:00-6/9	X	Λ.Κόστο	2186	826	34,65	3(0)	1,5	0,45	35,1	1289
O8	32	ΣΔ3	14:00-7/9	X	Λ.Κόστο	2270	1670	36,54	3(0)	1,5	10,9	47,44	1604
O9	33	ΣΔ4	16:30-6/9	X	Λ.Κόστο	2135	1007	50,21	3(0)	1,5	0,9	34,79	1412
O9	34	ΣΔ5	16:30-6/9	X	Λ.Κόστο	2127	1327	33,89	3(0)	1,5	0,9	51,11	1482
O10	35	ΣΔ 1,2,3	13:00- (3-9)/9		Χρόνος	2301	1165	37,19	3(0)	1,5	10,9 - 0,45	38-47	1361-1161
O11	36	ΟΔ1	12:00-1/9		Γ.Κόστο	2507	2507	39,34	5(3)	5,5	32,25	71,59	1322

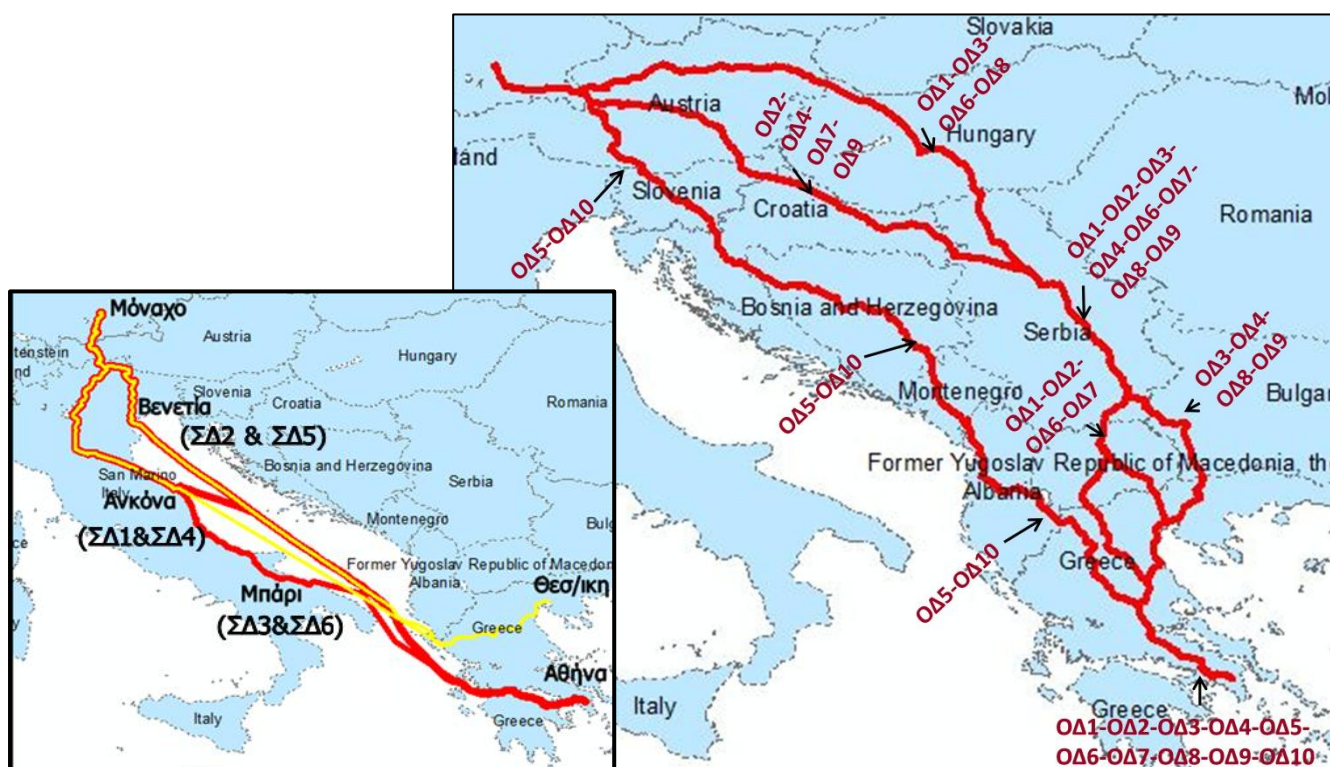
(*) Το σύμβολο X αφορά στην χαμηλότερη τιμή ναύλου της εβδομάδας, το σύμβολο Y στην υψηλότερη

(**) Ο αριθμός στην παρένθεση δηλώνει τον αριθμό συνοριακών ελέγχων σε χώρες που δεν ανήκουν στην ΕΕ

4.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Πίνακας 8.1: Εναλλακτικές διαδρομές (αμιγώς οδικές και συνδυασμένες) από Αθήνα προς Μόναχο και κριτήριο βελτιστοποίησης τον ελάχιστο χρόνο διαδρομής

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Χρόνος - ημέρα αναχώρησης	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Κριτήριο βελτιστοποίησης	Συνολική Απόσταση (km)	Οδική απόσταση (km)	Χρόνος διαδρομής (h)	Αριθμός συν. ελέγχων (**)	Διάρκεια ελέγχων (h)	Χρόνος ανάπαυσης (h)	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	Συνολικό λειτουργ. κόστος (€)
O1	1	ΟΔ1	12:00-1/9		Χρόνος	2520	2520	38,95	5(3)	5,5	32,25	71,2	1857
O1	2	ΟΔ2	12:00-1/9		Χρόνος	2483	2483	39,82	6(4)	7	32,25	72,07	1773
O1	3	ΟΔ3	12:00-1/9		Χρόνος	2582	2582	38,72	5(2)	4,5	32,25	70,97	1908
O1	4	ΟΔ4	12:00-1/9		Χρόνος	2491	2491	40,44	6(4)	7	32,25	72,69	1837
O1	5	ΟΔ5	12:00-1/9		Χρόνος	2397	2397	38,62	7(5)	8,5	32,25	70,87	1832
O3	11	ΣΔ1	13:00-6/9	X	Χρόνος	2312	1175	38,19	3(0)	1,5	0,9	39,09	1385
O3	12	ΣΔ2	20:00-6/9	X	Χρόνος	2190	831	34,91	3(0)	1,5	0,45	35,36	1314
O3	13	ΣΔ3	14:00-7/9	X	Χρόνος	2312	1712	34,58	3(0)	1,5	0,9	45,48	1674
O5	16	ΣΔ1	13:00-	Y	Χρόνος	2312	1175	38,19	3(0)	1,5	0,9	39,09	1705
O5	17	ΣΔ2	20:00-	Y	Χρόνος	2190	831	34,91	3(0)	1,5	0,45	35,36	1444
O5	18	ΣΔ3	14:00-6/9	Y	Χρόνος	2312	1712	34,58	3(0)	1,5	10,9	45,48	1739



Εικόνα 25: Οδικές και συνδυασμένες διαδρομές στον άξονα Αθήνα - Μόναχο

Πίνακας 8.1.1: Σύγκριση λειτουργικού κόστους και χρόνου διαδρομής από Αθήνα προς Μόναχο μεταξύ των εναλλακτικών διαδρομών της ίδιας ομάδας.

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Χρόνος ταξιδιού (h)	% Διαφορά χρόνου ταξιδιού	Λειτουργικό Κόστος ταξιδιού (€)	% Διαφορά λειτουργικού κόστους
O1	1	ΟΔ1		71.20	0.47%	1857	1.36%
O1	2	ΟΔ2		72.07	1.69%	1773	-3.18%
O1	3	ΟΔ3		70.97	0.14%	1908	4.15%
O1	4	ΟΔ4		72.69	2.57%	1837	0.30%
O1	5	ΟΔ5		70.87	0.00%	1832	0.00%
O3	11	ΣΔ1	X	39.09	10.55%	1385	5.46%
O3	12	ΣΔ2	X	35.36	0.00%	1314	0.00%
O3	13	ΣΔ3	X	45.48	28.62%	1674	27.44%
O5	16	ΣΔ1	Y	39.74	10.08%	1705	18.06%
O5	17	ΣΔ2	Y	36.10	0.00%	1444	0.00%
O5	18	ΣΔ3	Y	47.44	31.41%	1739	20.46%

(*) Το σύμβολο X αφορά στην χαμηλότερη τιμή ναύλου της εβδομάδας, το σύμβολο Y στην υψηλότερη

(**) Ο αριθμός στην παρένθεση δηλώνει τον αριθμό συνοριακών ελέγχων σε χώρες που δεν ανήκουν στην ΕΕ

Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 8.2 και σχετικά με την ομάδα σεναρίων O1 η οικονομικότερη διαδρομή είναι η διαδρομή μέσω Σκοπίων και Κροατίας (ΟΔ2) ενώ η ταχύτερη αυτή μέσω Αλβανίας (ΟΔ5). Εντούτοις η οδική διαδρομή που χρησιμοποιούν οι μεταφορείς σήμερα είναι η διαδρομή μέσω Σκοπίων και Ουγγαρίας (ΟΔ1). Στον πίνακα 4.6 φαίνεται πως η συγκεκριμένη διαδρομή δεν είναι ούτε η οικονομικότερη αλλά ούτε και η ταχύτερη. Το γεγονός της χρησιμοποίησης της από το μεγαλύτερο ποσοστό οδηγών έγκειται στην αξιοπιστία που προσφέρει ως προς την τήρηση του χρονοδιαγράμματος του μεταφορέα. Επειδή υπόκειται σε λιγότερους τελωνειακούς ελέγχους η πιθανότητα καθυστερήσεων λόγω αυστηρών ελέγχων ή ουρών αναμονής στα τελωνεία μειώνεται. Τα λειτουργικά έξοδα μεταξύ όλων των εναλλακτικών κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα κάτι που ενισχύει την ΟΔ1 ως βέλτιστη διαδρομή.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός πως η διαδρομή ΟΔ5 είναι κατά 150 km περίπου μικρότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες αλλά υπόκειται σε πολλούς συνοριακούς ελέγχους. Λαμβάνοντας υπόψη το λειτουργικό κόστος ανά χιλιόμετρο (0,6861 €/km κεφάλαιο 3.3.7) σε μία διαδρομή μετ' επιστροφής οι οδηγοί επιβαρύνονται με ένα κόστος της τάξης των 100 € ανά διαδρομή και με 20 ταξίδια (μετ' επιστροφής) ανά έτος 4000 €. Αυτό είναι ένα απλό παράδειγμα για να κατανοήσουμε την εξοικονόμηση πόρων που μπορεί να επιτευχθεί στην Ευρώπη με την κατάργηση των συνόρων στις μεταφορές (πχ TIR).

Μία τρίτη παρατήρηση είναι το μεγάλο ποσοστό που λαμβάνει ο χρόνος ανάπαυσης των οδηγών στην συνολική διάρκεια του ταξιδιού (σύμφωνα πάντα με τους επίσημους κανονισμούς της ΕΕ και όχι με τις πραγματικές τακτικές που ίσως ακολουθούνται) το οποίο είναι περίπου 45%.

Πίνακας 8.1.2: Σύγκριση λειτουργικού κόστους και χρόνου διαδρομής μεταξύ όλων των εναλλακτικών διαδρομών από Αθήνα προς Μόναχο

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Χρόνος ταξιδιού (h)	% Διαφορά χρόνου ταξιδιού	Λειτουργικό Κόστος ταξιδιού (€)	% Διαφορά λειτουργικού κόστους
O1	1	ΟΔ1		71.20	101.36%	1857	41,33%
O1	2	ΟΔ2		72.07	103.82%	1773	34,99%
O1	3	ΟΔ3		70.97	100.71%	1908	45,21%
O1	4	ΟΔ4		72.69	105.57%	1837	39,85%
O1	5	ΟΔ5		70.87	100.42%	1832	39,43%
O3	11	ΣΔ1	X	39.09	10.55%	1385	5,46%
O3	12	ΣΔ2	X	35,36	0,00%	1314	0,00%
O3	13	ΣΔ3	X	45.48	28.62%	1674	27,44%
O5	16	ΣΔ1	Y	39.09	10.55%	1705	29,75%
O5	17	ΣΔ2	Y	35.36	0.00%	1444	9,90%
O5	18	ΣΔ3	Y	45.48	28.62%	1739	32,39%

(*) Το σύμβολο X αφορά στην χαμηλότερη τιμή ναύλου της εβδομάδας, το σύμβολο Y στην υψηλότερη

Από τον Πίνακα 8.1.2 φαίνεται η υπεροχή της συνδυασμένης μεταφοράς έναντι της αμιγώς οδικής στον άξονα Αθήνα – Μόναχο. Τα λειτουργικά έξοδα στην αμιγώς οδική μεταφορά (δρομολόγια ΟΔ1 έως ΟΔ5) είναι 35-40% μεγαλύτερα από αυτά της συνδυασμένης μεταφοράς μέσω Ανκόνας ή Βενετίας. Το ίδιο ισχύει και για τον χρόνο ταξιδιού που είναι περίπου μία φορά μεγαλύτερος (με την παραδοχή ότι οι αναπαύσεις των οδηγών γίνονται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς). Το όφελος από την μείωση του λειτουργικού κόστους (καύσιμα, διόδια, συντήρηση) υπερκαλύπτει τον ναυτιλιακό ναύλο. Αυτό ισχύει και για την περίπτωση του υψηλού θαλάσσιου ναύλου (ομάδα σεναρίων O5) Για παράδειγμα, η συνδυασμένη διαφορά μέσω Βενετίας ακόμη και στην περίπτωση υψηλού ναύλου είναι 25% φθηνότερη από την αμιγώς οδική και χαμηλότερου κόστους οδική διαδρομή ΟΔ2.

Εντυπωσιακή είναι η διαφορά που απαιτούν σε χρόνο οι συνδυασμένες και αμιγώς οδικές διαδρομές μεταξύ τους. Με την παραδοχή πως οι οδηγοί ακολουθούν πιστά τις οδηγίες του κανονισμού σχετικά με τις ώρες ανάπαυσης τους ο χρόνος διαδρομής φαίνεται να διπλασιάζεται εξαιτίας των χρονοβόρων (αλλά αναγκαίων φυσικά) διαλλειμάτων των οδηγών. Στην περίπτωση της χρησιμοποίησης πλοίου στη διαδρομή οι οδηγοί έχουν την δυνατότητα να αναπαυθούν κατά τη διάρκεια της διαδρομής χωρίς να αυξάνουν την συνολική διάρκεια της διαδρομής.

Αξίζει να σημειωθεί πως η φθορά των φορτηγών που κινούνται μέσω των λιμένων της Ιταλίας είναι πολύ μικρότερη διότι διανύουν 3000 km λιγότερα σε κάθε πλήρες ταξίδι το οποίο εκφράζεται σε λειτουργικά έξοδα της τάξης των 2000 €. Από το ποσό αυτό πρέπει να αφαιρεθεί το κόστος των ναύλων (1700 €). Ο οδηγός έχει ένα άμεσο κέρδος περίπου 300 € σε κάθε ταξίδι μετ' επιστροφής συν τα οφέλη από το μειωμένο κόστος συντήρησης του οχήματός του.

Πίνακας 8.2: Συνδυασμένες διαδρομές από Αθήνα με κριτήρια βελτιστοποίησης τον χρόνο και το κόστος

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Χρόνος - ημέρα αναχώρησης	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Κριτήριο βελτιστοποίησης	Συνολική Απόσταση (km)	Οδική απόσταση (km)	Χρόνος διαδρομής (h)	Αριθμός συν. ελέγχων (**)	Διάρκεια ελέγχων (h)	Χρόνος ανάπαυσης (h)	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	Συνολικό λειοτ. κόστος (€)
O3	11	ΣΔ1	13:00-6/9	X	Χρόνος	2312	1175	38,19	3(0)	1,5	0,9	39,09	1385
O3	12	ΣΔ2	20:00-6/9	X	Χρόνος	2190	831	34,91	3(0)	1,5	0,45	35,36	1314
O3	13	ΣΔ3	14:00-7/9	X	Χρόνος	2312	1712	34,58	3(0)	1,5	0,9	45,48	1674
O8	30	ΣΔ1	13:00-6/9	X	Λ.Κόστος	2283	1146	38,84	3(0)	1,5	0,9	39,74	1299
O8	31	ΣΔ2	20:00-6/9	X	Λ.Κόστος	2186	826	34,65	3(0)	1,5	0,45	36,10	1289
O8	32	ΣΔ3	14:00-7/9	X	Λ.Κόστος	2270	1670	36,54	3(0)	1,5	10,9	47,44	1604

(*) Το σύμβολο X αφορά στην χαμηλότερη τιμή ναύλου της εβδομάδας, το σύμβολο Y στην υψηλότερη

(**) Ο αριθμός στην παρένθεση δηλώνει τον αριθμό συνοριακών ελέγχων σε χώρες που δεν ανήκουν στην ΕΕ

Πίνακας 8.2.1: Συγκριτική ανάλυση συνδυασμένων διαδρομών από Αθήνα με κριτήρια βελτιστοποίησης τον χρόνο και το κόστος (ανά ομάδα)

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Κριτήριο βελτιστ/ης	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	% Διαφορά συνολικού χρόνου ταξιδιού	Συνολικό Λειτουργικό Κόστος (€)	% Διαφορά λειτουργικού κόστους
O3	11	ΣΔ1	X	Χρόνος	39.09	10.55%	1385	5.46%
O3	12	ΣΔ2	X	Χρόνος	35.36	0.00%	1314	0.00%
O3	13	ΣΔ3	X	Χρόνος	45.48	28.62%	1674	27.44%
O8	30	ΣΔ1	X	Λ.Κόστος	39.74	10.08%	1299	0.77%
O8	31	ΣΔ2	X	Λ.Κόστος	36.10	0.00%	1289	0.00%
O8	32	ΣΔ3	X	Λ.Κόστος	47.44	31.41%	1604	24.40%

Πίνακας 8.2.2: Συγκριτική ανάλυση συνδυασμένων διαδρομών από Αθήνα με κριτήρια βελτιστοποίησης τον χρόνο και το κόστος (όλων των διαδρομών)

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Κριτήριο βελτιστ/ης	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	% Διαφορά συνολικού χρόνου ταξιδιού	Συνολικό Λειτουργικό Κόστος (€)	% Διαφορά λειτουργικού κόστους
O3	11	ΣΔ1	X	Χρόνος	39,09	8,28%	1385	7,48%
O3	12	ΣΔ2	X	Χρόνος	35.36	-2.05%	1314	1,91%
O3	13	ΣΔ3	X	Χρόνος	45,48	25.98%	1674	29,88%
O8	30	ΣΔ1	X	Λ.Κόστος	39.74	10.08%	1299	0,77%
O8	31	ΣΔ2	X	Λ.Κόστος	36,10	0.00%	1289	0,00%
O8	32	ΣΔ3	X	Λ.Κόστος	47,44	31.41%	1604	24,40%

Σύμφωνα με τον Πίνακα 8.2.1 η διαδρομή μέσω Βενετίας (ΣΔ2) φαίνεται να είναι η πιο ελκυστική επιλογή αφού διαθέτει το μικρότερο κόστος και χρονική διάρκεια ταξιδιού από τις άλλες 2 εναλλακτικές, τόσο στην περίπτωση με κριτήριο βελτιστοποίησης τον χρόνο όσο και το κόστος διαδρομής. Η κύρια ανταγωνιστική διαδρομή είναι αυτή μέσω Ανκόνας (ΣΔ1) όπου όμως στην περίπτωση βελτιστοποίησης με κριτήριο τον χρόνο είναι 5,5% ακριβότερη και 10% βραδύτερη από αυτή μέσω Βενετίας (ΣΔ2) ενώ στην περίπτωση βελτιστοποίησης με κριτήριο το κόστος, 10% ακριβότερη και 1% βραδύτερη. Η διαδρομή μέσω Μπάρι υστερεί τόσο ως προς τον χρόνο όσο και ως προς το κόστος σε σχέση με τις διαδρομές μέσω Ανκόνας ή Βενετίας. Ενδεχόμενα είναι κατάλληλη για προορισμούς στην κεντρική και νότια Ιταλία αλλά και ως εναλλακτική σε περίπτωση κορεσμού των άλλων ναυτιλιακών γραμμών.

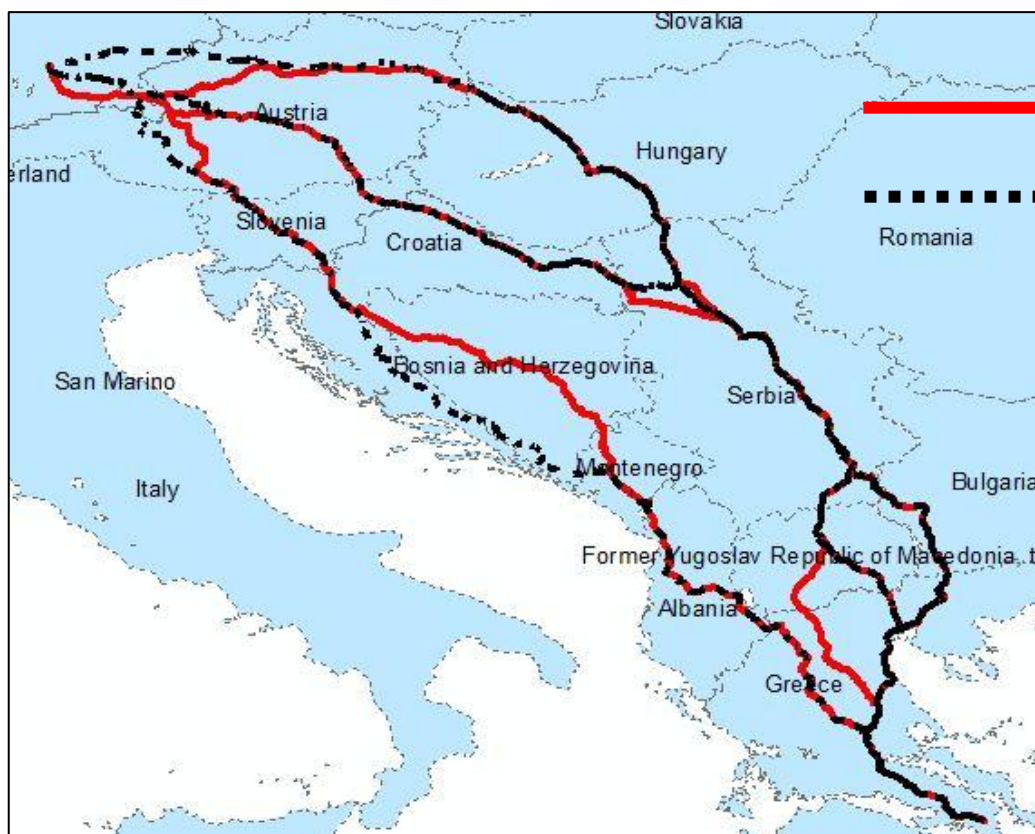
Επίσης χρησιμοποιώντας την (ΣΔ2) το οδικό κομμάτι της διαδρομής μειώνεται σημαντικά (340 km λιγότερα σε σχέση με τη διαδρομή μέσω Ανκόνας) κάτι το οποίο μειώνει τα λειτουργικά (συντήρηση, καύσιμα). Η διαφορά στην τιμή του εισιτηρίου κυμαίνεται από 50-210 € η οποία αντισταθμίζεται από την οικονομία στα καύσιμα και στις δαπάνες συντήρησης του οχήματος. Τα μακροπρόθεσμα οφέλη όμως από την μεγαλύτερης διάρκειας εκμετάλλευσης του οχήματος λόγω μειωμένης φθοράς μπορεί να είναι σημαντικά. Το μόνο μειονέκτημα της διαδρομής μέσω Βενετίας αυτή τη στιγμή είναι ίσως η έλλειψη καθημερινών δρομολογίων κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με τις διαδρομές μέσω Ανκόνας ή Μπάρι.

Πίνακας 8.3: Αμιγώς Οδικές διαδρομές από Αθήνα με κριτήρια βελτιστοποίησης τον χρόνο και το κόστος

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Χρόνος - ημέρα αναχώρησης	Κριτήριο βελτιστοποίησης	Συνολική Απόσταση (km)	Οδική απόσταση (km)	Χρόνος διαδρομής (h)	Αριθμός συν. ελέγχων (**)	Διάρκεια ελέγχων (h)	Χρόνος ανάπαυσης (h)	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	Συνολικό λειπουρ. κόστος (€)
O1	1	ΟΔ1	12:00-1/9	Χρόνος	2520	2520	38,95	5(3)	5,5	32,25	71.20	1857
O1	2	ΟΔ2	12:00-1/9	Χρόνος	2483	2483	39,82	6(4)	7	32,25	72.07	1773
O1	3	ΟΔ3	12:00-1/9	Χρόνος	2582	2582	38,72	5(2)	4,5	32,25	70.97	1908
O1	4	ΟΔ4	12:00-1/9	Χρόνος	2491	2491	40,44	6(4)	7	32,25	72.69	1837
O1	5	ΟΔ5	12:00-1/9	Χρόνος	2397	2397	38,62	7(5)	8,5	32,25	70.87	1832
O6	20	ΟΔ1	12:00-1/9	Λ.Κόστος	2519	2519	40,39	5(3)	5,5	32,25	72.64	1736
O6	21	ΟΔ2	12:00-1/9	Λ.Κόστος	2516	2516	41	6(4)	7	32,25	73.25	1718
O6	22	ΟΔ3	12:00-1/9	Λ.Κόστος	2580	2580	40,16	5(2)	4,5	32,25	72.41	1789
O6	23	ΟΔ4	12:00-1/9	Λ.Κόστος	2576	2576	40,76	6(3)	6	32,25	73.01	1769
O6	24	ΟΔ5	12:00-1/9	Λ.Κόστος	2394	2394	40,28	7(5)	8,5	32,25	72.53	1644

(*) Το σύμβολο Χ αφορά στην χαμηλότερη τιμή ναύλου της εβδομάδας, το σύμβολο Υ στην υψηλότερη

(**) Ο αριθμός στην παρένθεση δηλώνει τον αριθμό συννοριακών ελέγχων σε χώρες που δεν ανήκουν στην ΕΕ



Διαδρομές
ελαχίστου χρόνου
Διαδρομές
ελαχίστου κόστους

Εικόνα 26: (Αριστερά) Ελάχιστες διαδρομές με βάση το κριτήριο ελαχίστου χρόνου (O1)
(Δεξιά) Ελάχιστες διαδρομές με βάση το κριτήριο ελαχίστου κόστους (O6)

Πίνακας 8.3.1: Σύγκριση χρονικής διάρκειας και κόστους διαδρομής με κριτήρια βελτιστοποίησης τον χρόνο και το κόστος

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Κριτήριο βελτιστοποίησης	Χρόνος ταξιδιού (h)	Διαφορά χρόνου ταξιδιού (%)	Λειτουργικό Κόστος (€)	Διαφορά λειτουργικού κόστους (%)
O1	1	ΟΔ1	Χρόνος	71,20		1857	
O6	6	ΟΔ1	Λ.Κόστος	72,64	-2,02%	1736	6,47%
O1	2	ΟΔ2	Χρόνος	72,07		1773	
O6	7	ΟΔ2	Λ.Κόστος	73,25	-1,64%	1718	3,13%
O1	3	ΟΔ3	Χρόνος	70,97		1908	
O6	8	ΟΔ3	Λ.Κόστος	72,41	-2,03%	1789	6,22%
O1	4	ΟΔ4	Χρόνος	72,69		1837	
O6	9	ΟΔ4	Λ.Κόστος	73,01	-0,44%	1769	3,70%
O1	5	ΟΔ5	Χρόνος	70,87		1832	
O6	10	ΟΔ5	Λ.Κόστος	72,53	-2,34%	1644	10,27%

Στον Πίνακα 8.3.1 γίνεται σύγκριση της ίδιας διαδρομής βελτιστοποιημένης κατά χρόνο και λειτουργικό κόστος αντίστοιχα. Για την διαδρομή ΟΔ1 για παράδειγμα η επιλογή του οδηγού να ακολουθήσει ταχύτερους οδικούς άξονες (οι οποίοι συνήθως εμφανίζουν πρόσθετο κόστος λόγω διοδίων) έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του λειτουργικού κόστους κατά 6,5% δηλαδή 120 € (σε σχέση με την διαδρομή ελαχίστου κόστους) και μείωση του χρόνου ταξιδιού κατά 2% που μεταφράζεται σε 1,5 ώρα περίπου μικρότερης χρονικής διάρκειας διαδρομής. Στις συνεντεύξεις με τους επαγγελματίες μεταφορείς έγινε σαφές πως παρόλα αυτά προτιμώνται οι διαδρομές ελαχίστου χρόνου. Η μικρή μείωση του χρόνου ταξιδιού (ειδικά σε σχέση με το υψηλό κόστος που συνεπάγεται) δεν δικαιολογεί από μόνη της αυτή την επιλογή των οδηγών. Πρέπει όμως να λάβουμε υπόψη μας πως όταν ο οδηγός κινείται σε οδούς με υψηλότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά απολαμβάνει άλλου είδους οφέλη όπως η μειωμένη φθορά του οχήματος και η αύξηση της ασφάλειας τόσο του ίδιου όσο και του εμπορεύματός του (καλύτερη ποιότητα οδοστρώματος, μεγαλύτερος αριθμός λωρίδων, πιο άνετη οδήγηση, μείωση ατυχημάτων κτλ). Αν ληφθούν υπόψη λοιπόν και τέτοιου είδους παράγοντες δικαιολογείται η παραπάνω επιλογή διαδρομής από τους οδηγούς.

Πίνακας 8.4: Σύγκριση όλων των εναλλακτικών διαδρομών από Θεσσαλονίκη προς Μόναχο με κριτήριο βελτιστοποίησης τον ελάχιστο χρόνο

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Χρόνος – ημέρα αναχώρησης	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Κριτήριο βελτιστοποίησης	Συνολική Απόσταση (km)	Οδική Απόσταση (km)	Χρόνος Διαδρομής (h)	Αριθμός συν. Ελέγχων (**)	Χρονική διάρκεια καθυστερήσεων (h)	Χρόνος Ανάπαυσης (h)	Συνολικός Χρόνος Ταξιδιού (h)	Συν. λειπ. κόστος (€)
O2	6	ΟΔ6	12:00-1/9		Χρόνος	2046	2046	33,09	5(3)	5,5	21,8	54,89	1542
O2	7	ΟΔ7	12:00-1/9		Χρόνος	2009	2009	33,96	6(4)	7	21,8	55,76	1442
O2	8	ΟΔ8	12:00-1/9		Χρόνος	2070	2070	32,4	5(2)	5	21,8	54,20	1547
O2	9	ΟΔ9	12:00-1/9		Χρόνος	2032	2032	33,27	6(3)	6	21,8	55,07	1466
O2	10	ΟΔ10	12:00-1/9		Χρόνος	2070	2070	34,53	7(5)	8,5	31,8	66,33	1490
O4	14	ΣΔ4	16:30-6/9	X	Χρόνος	2146	1346	33,74	3(0)	1,5	0,9	38,09	1160
O4	15	ΣΔ5	00:00-7/9	X	Χρόνος	2130	1002	39,3	3(0)	1,5	11,35	40,20	1305
O5	19	ΣΔ5	00:00-7/9	Y	Χρόνος	2130	1002	39,3	3(0)	1,5	0,9	40,20	1485

(*) Το σύμβολο X αφορά στην χαμηλότερη τιμή ναύλου της εβδομάδας, το σύμβολο Y στην υψηλότερη

(**) Ο αριθμός στην παρένθεση δηλώνει τον αριθμό συνοριακών ελέγχων σε χώρες που δεν ανήκουν στην ΕΕ

Πίνακας 8.4.1: Συγκριτική ανάλυση των εναλλακτικών διαδρομών από Θεσ/ικη προς Μόναχο

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Κριτήριο βελτιστ/ης	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	% Διαφορά συνολικού χρόνου ταξιδιού	Συνολικό Λειτουργικό Κόστος (€)	% Διαφορά λειτουργικού κόστους
O2	6	ΟΔ6	X	Χρόνος	54,89	36,54%	1542	18,21%
O2	7	ΟΔ7	X	Χρόνος	55,76	38,71%	1442	10,53%
O2	8	ΟΔ8	X	Χρόνος	54,20	34,83%	1547	18,55%
O2	9	ΟΔ9	X	Χρόνος	55,07	36,99%	1466	12,37%
O2	10	ΟΔ10	X	Χρόνος	66,33	65,00%	1490	14,25%
O4	14	ΣΔ4	X	Χρόνος	34,64	-13,83%	1160	-11,08%
O4	15	ΣΔ5	X	Χρόνος	40,20	0,00%	1305	0,00%
O5	19	ΣΔ5	Y	Χρόνος	40,20	0,00%	1485	13,80%

Πίνακας 8.4.2: Ανάλυση μεταξύ των αμιγώς οδικών διαδρομών από Θεσ/ικη προς Μόναχο

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Τιμή ναύλου πλοίου (*)	Κριτήριο βελτιστ/ης	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	% Διαφορά συνολικού χρόνου ταξιδιού	Συνολικό Λειτουργικό Κόστος (€)	% Διαφορά λειτουργικού κόστους
O2	6	ΟΔ6	X	Χρόνος	54,89	1,27%	1542	-0,29%
O2	7	ΟΔ7	X	Χρόνος	55,76	2,88%	1442	-6,77%
O2	8	ΟΔ8	X	Χρόνος	54,20	0,00%	1547	0,00%
O2	9	ΟΔ9	X	Χρόνος	55,07	1,61%	1466	-5,22%
O2	10	ΟΔ10	X	Χρόνος	66,33	22,38%	1490	-3,63%

Η ομάδα Ο2 σεναρίων αφορά αμιγώς οδικές διαδρομές με πόλη εκκίνησης την Θεσσαλονίκη ενώ οι ομάδες Ο4 και Ο5 (με χαμηλό και υψηλό ναύλο πλοίου αντίστοιχα) τις συνδυασμένες μεταφορές από την πόλη της Θεσσαλονίκης στο Μόναχο μέσω λιμένων της Ιταλίας, όλες βελτιστοποιημένες με βάση τον ελάχιστο χρόνο διαδρομής.

Οι μεταφορείς με έδρα στην Βόρεια Ελλάδα γενικά προτιμούν να κινούνται οδικά για την εκτέλεση των δρομολογίων προς την κεντρική Ευρώπη. Η κύρια οδική διαδρομή που χρησιμοποιούν οι μεταφορείς σήμερα είναι η διαδρομή ΟΔ8. Η εναλλακτική συνδυασμένη διαδρομή μέσω Βενετίας όμως φαίνεται από τον Πίνακα 8.4.1 να συμφέρει από άποψη λειτουργικού κόστους ενώ από άποψη χρόνου συμφέρει η διαδρομή μέσω Ανκόνας (ΣΔ4). Στην περίπτωση όπου ο οδηγός μπορεί να κινηθεί στην διαδρομή ΣΔ5 (μέσω Βενετίας) την ημέρα με τον χαμηλότερο ναύλο, η διαφορά στα έξοδα του λειτουργικού κόστους είναι περίπου 18% λιγότερα από την οδική διαδρομή ΟΔ6 (Σκόπια – Ουγγαρία). Ακόμη και στην περίπτωση όπου ο οδηγός ταξιδέψει με τον υψηλότερο ναύλο έχει ένα κέρδος της τάξης του $(18-14=)$ 4%, άρα η διαδρομή μέσω Βενετίας (ΣΔ5) είναι οικονομικότερη από 4 έως 18 %. Αν συνυπολογίσει κανείς πως η ΟΔ6 διαδρομή είναι κατά 35% βραδύτερη από την προηγούμενη καθώς και τις μειωμένες φθορές στο όχημα η ΣΔ5 (λόγω λιγότερων χιλιομέτρων οδικής διαδρομής) φαίνεται να υπερτερεί ως επιλογή. Μειονέκτημα της όμως είναι η αραιή πυκνότητα δρομολογίων με 4 δρομολόγιο ανά εβδομάδα. Από το γεγονός αυτό φαίνεται πόσο σημαντικός παράγοντας είναι για τους μεταφορείς η ευελιξία στην διαμόρφωση του δρομολογίου τους.

Σε περίπτωση που επιλεγεί τελικά η οδική διαδρομή οι εναλλακτικές μέσω Θεσσαλονίκης δεν διαφέρουν ουσιαστικά (Πίνακας 8.4.2). Η συνήθης διαδρομή που ακολουθείται είναι αυτή μέσω Σκοπίων-Ουγγαρίας (ΟΔ8) η οποία μάλιστα δεν φαίνεται να υπερτερεί ως προς τον συνολικό χρόνο ή κόστος διαδρομής. Πλεονέκτημά της είναι οι λιγότεροι συνοριακοί έλεγχοι στους οποίους υπόκεινται οι οδηγοί που την ακολουθούν διότι διασχίζει περισσότερες χώρες που ανήκουν στην ΕΕ από τις εναλλακτικές. Οι καθυστερήσεις που οφείλονται σε συνοριακούς ελέγχους χωρών εκτός της ΕΕ (αλλά και εντός αυτής) μπορούν να κυμαίνονται εντός ενός εύρους πολλών ωρών. Οι οδηγοί σαφώς και προτιμούν μία διαδρομή ίσως πιο ακριβή ή μεγαλύτερης χιλιομετρικής απόστασης που μπορεί να τους παρέχει μία μεγαλύτερη βεβαιότητα ως προς τον συνολικό χρόνο ταξιδιού τους.

Μία δεύτερη εξίσου σημαντική παρατήρηση είναι το μεγάλο ποσοστό που λαμβάνει ο αναγκαίος χρόνος ανάπαυσης των οδηγών στην συνολική διάρκεια του ταξιδιού (σύμφωνα πάντα με τους επίσημους κανονισμούς της ΕΕ και όχι ίσως με τις πραγματικές τακτικές που ακολουθούνται) το οποίο είναι περίπου 40%.

Πίνακας 8.5: Επιρροή της ημέρας αναχώρησης στο συνολικό λειτουργικό κόστος ταξιδιού

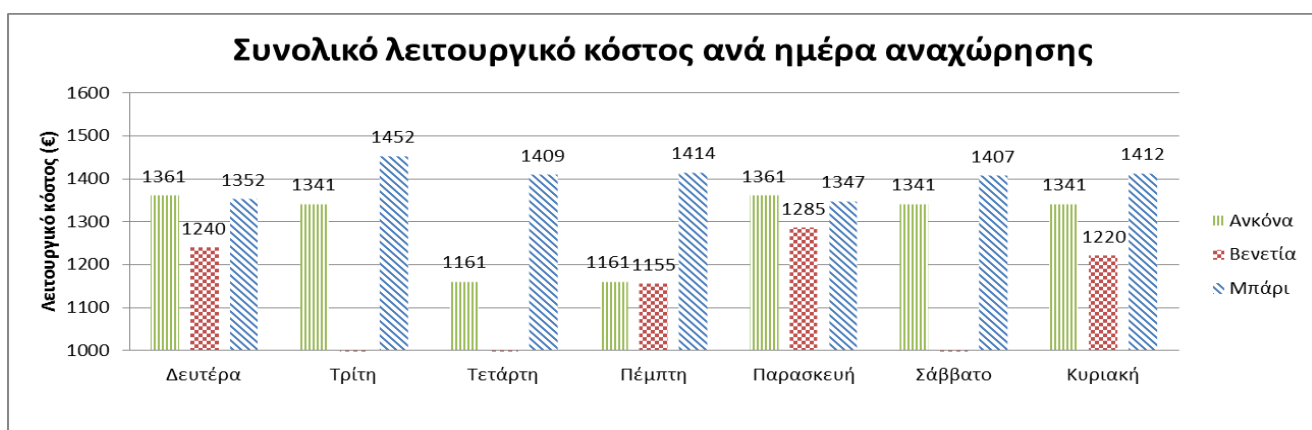
Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Χρόνος – ημέρα αναχώρησης	Κριτήριο βελτιστοποίησης	Συνολική Απόσταση (km)	Χρόνος Διαδρομής (h)	Αριθμός συν. ελέγχων (**)	Χρονική διάρκεια καθυστερήσεων (h)	Χρόνος Ανάπαυσης (h)	Χρόνος Ταξιδιού (h)	Λειτουργικό κόστος (€)
Ο10	35	ΣΔ 1,2,3	13:00- (3-9)/9	Χρόνος	2301	37,19	3(0)	1,5	10,9-0,45	38-47	1361-1161

(**) Ο αριθμός στην παρένθεση δηλώνει τον αριθμό συνοριακών ελέγχων σε χώρες που δεν ανήκουν στην ΕΕ

Εικόνα 8.5.1: Κόστος διαδρομής μέσω Ανκόνας, Βενετίας και Μπάρι σε σχέση με την ημέρα αναχώρησης: Πίνακας (κάτω) και γράφημα (άνω)

Κωδικός διαδρομής	Ώρα αναχώρησης από Αθήνα	Δευτέρα	Τρίτη	Τετάρτη	Πέμπτη	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή
ΣΔ1 (ΑΝΚΟΝΑ)	13:00	1361	1341	1161	1161	1361	1341	1341
ΣΔ2 (ΒΕΝΕΤΙΑ)	20:00	1240	-	-	1155	1285	-	1220
ΣΔ3 (ΜΠΑΡΙ)	14:00	1352	1452	1409	1414	1347	1407	1412

Το σύμβολο (-) υποδεικνύει την μη ύπαρξη δρομολογίου την συγκεκριμένη ημέρα .

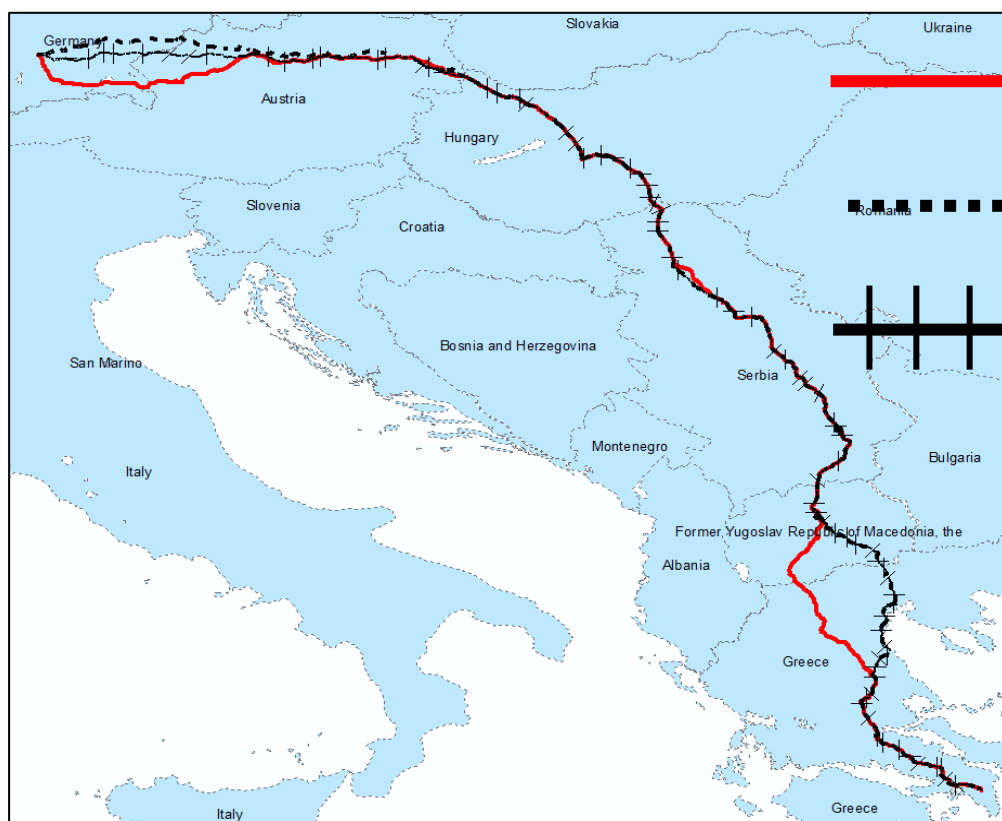


Πίνακας 8.6: Βέλτιστες διαδρομές με κριτήριο τον χρόνο, το λειτουργικό κόστος και το γενικευμένο κόστος στην οδική διαδρομή Αθήνα – Μόναχο μέσω Σκοπίων και Ουγγαρίας

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Χρόνος – ημέρα αναχώρησης	Κριτήριο βελτιστοποίησης	Συνολική Απόσταση (km)	Οδική απόσταση (km)	Χρόνος διαδρομής (h)	Αριθμός συν. ελέγχων (**)	Διάρκεια ελέγχων (h)	Χρόνος ανάπαυσης (h)	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	Συνολικό λειτουργ. κόστος (€)
O1	1	ΟΔ1	12:00-1/9	Χρόνος	2520	2520	38,95	5(3)	5,5	32,25	71,20	1857
O6	2	ΟΔ1	12:00-1/9	Λ.Κόστος	2519	2519	40,39	5(3)	5,5	32,25	72,64	1736
O11	3	ΟΔ1	12:00-1/9	Γ.Κόστος	2507	2507	39,34	5(3)	5,5	32,25	71,59	1322

Πίνακας 8.6.1: Διαφορές χρόνου και λειτουργικού κόστους μεταξύ των βέλτιστων διαδρομών του Πίνακα 8.6

Ομάδα	Σενάριο	Κωδικός διαδρομής	Κριτήριο βελτιστ/ης	Συνολικός χρόνος ταξιδιού (h)	Διαφορές χρόνων ταξιδιού (h)	Συνολικό λειτουργικό Κόστος (€)	Διαφορά λειτουργικού κόστους (€)
O1	11	ΟΔ1	Χρόνος	71,20	0	1857	0
O6	20	ΟΔ1	Λ.Κόστος	72,64	+1,44	1736	121
O11	36	ΟΔ1	Γ.Κόστος	71,59	+0,39	1801	56



Διαδρομή ελαχίστου χρόνου

Διαδρομή ελαχίστου λειτουργικού κόστους

Διαδρομές ελαχίστου γενικευμένου κόστους

Εικόνα 27: Σύγκριση διαδρομών ελαχίστου χρόνου λειτουργικού κόστους και γενικευμένου κόστους

Από τον πίνακα 8.5.1 παρατηρείται πως η ημέρα αναχώρησης επηρεάζει σημαντικά το συνολικό κόστος της διαδρομής στην περίπτωση των συνδυασμένων μεταφορών. Αυτό που επηρεάζεται ουσιαστικά είναι η τιμή του ναύλου στην κάθε διαδρομή σε σχέση με την ημέρα αναχώρησης. Ειδικότερα στην γραμμή τη Πάτρα - Ανκόνα όπου η ζήτηση από τους μεταφορείς είναι κυμαινόμενη παρουσιάζεται διαφορά στην τιμή του ναύλου μέχρι και 200 € μέσα στην εβδομάδα. Όσον αφορά την γραμμή μέσω Βενετίας η μέγιστη διαφορά που εμφανίζεται είναι 130 € ενώ στο δρομολόγιο μέσω Μπάρι η διαφορά στα συνολικά έξοδα του δρομολογίου δεν ξεπερνά τα 100 €.

Στον Πίνακα 8.6.1 φαίνεται πως επηρεάζοντας την τιμή της αξίας του χρόνου και βελτιστοποιώντας το δίκτυο ως προς το γενικευμένο κόστος είναι δυνατή η “παραγωγή ενδιάμεσων” λύσεων από άποψη χρόνου και λειτουργικού κόστους. Όντως η επίλυση με βάση το γενικευμένο κόστος έδωσε διαδρομή με χρόνο 0,39 ώρες (20 λεπτά) μεγαλύτερο από την διαδρομή ελαχίστου χρόνου και 65 € ακριβότερη από την ελαχίστου γενικευμένου κόστους. Μέσω μίας επαναληπτικής διαδικασίας και μεταβάλλοντας την τιμή της αξίας του χρόνου σε κάθε επανάληψη μπορούμε να εξάγουμε εναλλακτικές λύσεις. Επιδίωξη είναι ο εντοπισμός διαδρομών οι οποίες φτάνουν στον προορισμό πριν από την προκαθορισμένη ημερομηνία και ώρα άφιξης (σύμφωνα με τη συμφωνία/συμβόλαιο του μεταφορέα με τον πελάτη) και έχουν λειτουργικό κόστος χαμηλότερο από αυτό της διαδρομής ελαχίστου χρόνου (βλ. Κεφάλαιο 3.3.2 για τον τρόπο επιλογής της βέλτιστης λύσης σε σχέση με την δυνατότητα του οδικού μεταφορέα να αξιοποιήσει τον χρόνο του σε περίπτωση που φθάνει νωρίτερα στον προορισμό).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορούν σε 3 κατηγορίες θεμάτων:

1. Τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν στην ανάπτυξη εφαρμογών λογισμικού σε περιβάλλον GIS για συγκοινωνιακά δίκτυα μεγάλου μεγέθους και τις τεχνικές που προτείνονται για την αντιμετώπισή τους
 2. την αξιολόγηση των συγκοινωνιακών δικτύων του προγράμματος ETIS
 3. τα αποτελέσματα από διερεύνηση των εναλλακτικών διαδρομών στον άξονα Αθήνα/Θεσσαλονίκη – Μόναχο
- Η ανάπτυξη εφαρμογών λογισμικού για μεγάλα δίκτυα σε περιβάλλον GIS εμφανίζει προβλήματα καθώς επιβάλλει απαιτήσεις για σημαντική υπολογιστική ισχύ και πολύ μεγάλους χρόνους επίλυσης. Ένα ακόμη πρόβλημα που παρουσιάζεται στα μεγάλα δίκτυα είναι ο εντοπισμός των κ-βέλτιστων διαδρομών μεταξύ κόμβων προέλευσης/προορισμού: οι κ-προτεινόμενες διαδρομές είναι σχεδόν ταυτόσημες μεταξύ τους και δεν αποτελούν ουσιαστικές εναλλακτικές λύσεις.
 - Μία αποτελεσματική τεχνική στην αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος είναι ο κατακερματισμός του δικτύου σε μικρότερα τμήματα σε καθένα από τα οποία δημιουργείται το δίκτυο ελαχίστων διαδρομών μεταξύ των συνόριακών του κόμβων. Από την σύνθεση αυτών των επιμέρους τμημάτων προκύπτει ένα πολύ μικρότερου μεγέθους δίκτυο που μειώνει σε σημαντικό βαθμό τα ανωτέρω προβλήματα. Για παράδειγμα, η εφαρμογή της τεχνικής δημιουργίας δικτύου ελαχίστων διαδρομών στο οδικό δίκτυο του ETIS κατέληξε σ' ένα δίκτυο με μέγεθος 4% του αρχικού, το οποίο δίνει τις ίδιες βέλτιστες λύσεις με το αρχικό.
 - Η διαδικασία εύρεσης εναλλακτικών λύσεων διευκολύνονται όταν το λογισμικό δίνει δυνατότητα υποχρεωτικής διέλευσης ή αποκλεισμού συγκεκριμένων κόμβων της διαδρομής. Με τον τρόπο αυτό οι προτεινόμενες διαδρομές τότε χρησιμοποιούν διαφορετικό σύνολο συνδέσμων για να προσεγγίσουν τον κόμβο προορισμού και η προτεινόμενη διαδρομή διαφέρει ουσιαστικά. Έτσι μπορούν να αποκλειστούν και διαδρομές όπου αν και εμφανίζουν ικανοποιητικά χαρακτηριστικά κόστους/χρόνου δεν επιλέγονται από τους οδικούς μεταφορείς λόγω άλλων παραγόντων (ασφάλεια, κακή κατάσταση οδοστρώματος κλπ).
 - Ο αλγόριθμος Dijkstra αποτελεί μία αποτελεσματική τεχνική για την εύρεση ελάχιστης διαδρομής σε δίκτυο. Λόγω της σχετικής απλότητας του ο αλγόριθμος μπορεί να τροποποιηθεί για να καλύψει προγραμματιστικές ανάγκες (στην παρούσα εφαρμογή η τροποποίηση του αλγορίθμου αφορούσε στην καταγραφή του χρόνου και του κόστους διαδρομής ανεξάρτητα από το ποιο από τα 2 αποτελούσε το κριτήριο βελτιστοποίησης). Ο αλγόριθμος του Dijkstra αποτέλεσε τμήμα προγράμματος το οποίο μπορούσε να λάβει υπόψη στον υπολογισμό του βέλτιστου δρομολογίου παράγοντες όπως: i) οι χρονικές καθυστερήσεις λόγω ανάπαυσης των οδηγών, ii) ο ακριβής χρόνος αναμονής (σε

περίπτωση συνδυασμένης μεταφοράς) όταν ένα μέσο αναμένει την αναχώρηση του επόμενου για την συνέχιση του ταξιδιού και iii) καθυστερήσεις λόγω συνοριακών ελέγχων.

- Είναι δυνατό μέσω του αλγόριθμου Dijkstra (πλην των ελαχίστων διαδρομών κόστους και χρόνου) να εντοπιστούν και εναλλακτικές διαδρομές οι οποίες έχουν αυξημένη χρονική διάρκεια δρομολογίου σε σχέση με την διαδρομή ελαχίστου χρόνου αλλά μικρότερο κόστος από αυτήν. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας με κριτήριο βελτιστοποίησης τη συνάρτηση γενικευμένου κόστους στην οποία η τιμή του κόστους χρόνου μεταβάλλεται σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας. Η εφαρμογή της διαδικασίας στις αμιγώς οδικές μεταφορές Αθήνας-Μονάχου έδωσε ένα σύνολο διαδρομών με χαρακτηριστικά κόστους/χρόνου ενδιάμεσα των βέλτιστων διαδρομών κόστους και χρόνου, οι οποίες αξιοποιούνται στην εύρεση ελάχιστης διαδρομής με κριτήριο το γενικευμένο κόστος.
- Η βέλτιστη διαδρομή εξαρτάται από την δυνατότητα του οδικού μεταφορέα να αξιοποιήσει τον χρόνο ταχύτερης άφιξης στον προορισμό του. Διακρίνονται 3 περιπτώσεις: (i) η διαδρομή του ελαχίστου κόστους φτάνει στον προορισμό πριν από τον επιθυμητό χρόνο άφιξης (ii) η διαδρομή ελαχίστου χρόνου είναι εντός των χρονικών περιθωρίων αλλά η ελαχίστου κόστους όχι (iii) καμία διαδρομή δεν αφικνείται πριν από τον επιθυμητό χρόνο άφιξης. Αν ο οδηγός δεν μπορεί να αξιοποιήσει τον χρόνο που κερδίζει ακολουθώντας την ταχύτερη διαδρομή (πχ δεν έχει δυνατότητα εκφόρτωσης ή παράδοσης του φορτίου πριν από τον προγραμματισμένο χρόνο) βέλτιστη επιλογή δρομολογίου είναι αυτή με το ελάχιστο δυνατό κόστος η οποία όμως βρίσκεται εντός των χρονικών ορίων της παράδοσης. Αντίθετα όταν ο μεταφορέας μπορεί να αξιοποιήσει τον χρόνο που κερδίζει μετακινούμενος στην διαδρομή ελαχίστου κόστους για άλλο μεταφορικό έργο (πχ έχει δυνατότητα να παραδώσει το φορτίο αμέσως μετά την άφιξη του και να επιστρέψει νωρίτερα στην έδρα του) ισχύουν τα εξής: τόσο στην περίπτωση (i) όσο και στην (ii) για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής κόστους θα πρέπει να αναζητηθούν όλες οι "ενδιάμεσες" εναλλακτικές λύσεις και να συμπεριληφθεί στο συνολικό κόστος διαδρομής το όφελος από την πιθανή ανάληψη άλλου μεταφορικού έργου στο διάστημα αυτό.
- Τα δίκτυα του προγράμματος ETIS περιλαμβάνουν το οδικό, θαλάσσιο, σιδηροδρομικό και εναέριο δίκτυο μεταφορών και περιέχουν για τον κάθε σύνδεσμο του δικτύου πληροφορίες σχετικά με τη γεωγραφική του θέση, το μήκος, το κόστος, τον χρόνο διάνυσής του, την ετήσια μέση ημερήσια κυκλοφορία, κτλ. Η δομή των δικτύων και η κωδικοποίηση επιτρέπει την αναγνώριση συνοριακών σταθμών, λιμένων, σιδηροδρομικών εγκαταστάσεων και τα καθιστά κατάλληλα ως υπόβαθρο για την ανάπτυξη εφαρμογών για διερεύνηση θεμάτων στην επιστημονική περιοχή των μεταφορών.
- Η εφαρμογή της ανωτέρω εφαρμογής στον άξονα Ελλάδας-Γερμανίας έδειξε ότι για τις διαδρομές με προέλευση/προορισμό την Αθήνα οι συνδυασμένες πολυτροπική μεταφορά (μέσω των λιμένων Πάτρας-Ανκόνας/Βενετίας) πλεονεκτεί έναντι των αμιγώς

οδικών τόσο από άποψη λειτουργικού κόστους όσο και διάρκειας διαδρομής. Η διαδρομή μέσω Πάτρας-Μπάρι ήταν συγκρίσιμη με την αμιγώς οδική μεταφορά. Αντίθετα με κόμβο προέλευσης/προορισμού την Θεσσαλονίκη μέσω Ηγουμενίτσας μόνο η πολυτροπική διαδρομή μέσω Βενετίας πλεονεκτεί έναντι των οδικών, όμως τα δρομολόγια των πλοίων δεν είναι καθημερινά. Οι αμιγώς οδικές μεταφορές δεν διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους και οι οδηγοί επιλέγουν αυτή με τους λιγότερους συννοριακούς ελέγχους.

- Η ημέρα αναχώρησης στις πολυτροπικές μεταφορές έχει επιπτώσεις στο συνολικό κόστος διαδρομής καθώς οι τιμές της θαλάσσιας διαδρομής μεταβάλλονται ανάλογα με την ημέρα της εβδομάδας. Οι διαφορές αυτές είναι της τάξεως των 100-200 € ανάλογα με την γραμμή (μέσω Ανκόνας/Βενετίας/Μπάρι).

6. ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Οι χρονικοί περιορισμοί μιας διπλωματικής εργασίας αναπόφευκτα αφήνουν ανοικτά θέματα προς περαιτέρω διερεύνηση. Οι εισηγήσεις για περεταίρω ερευνά της παρούσας εργασίας είναι:

Ο χρόνος δημιουργίας του δικτύου ελαχίστων διαδρομών (απλοποιημένου δικτύου) αποτελεί χρονοβόρα διαδικασία (π.χ. για το υποδίκτυο των 20 χωρών του ETIS στον άξονα Ελλάδα-Γερμανία η διαδικασία διαρκεί περίπου 1,5 ώρες). Αυτό αποτελεί πρόβλημα στην περίπτωση όπου αναζητείται η βέλτιστη διαδρομή με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του γενικευμένου κόστους μεταβάλλοντας την τιμή της αξίας χρόνου. Για το και Προτείνεται η ανάπτυξη ενός ταχύτερου αλγορίθμου.

Η επικαιροποίηση των πληροφοριών για τα δρομολόγια των πλοίων και τραίνων μπορεί να αυτοματοποιηθεί μέσω ενός internet agent.

Ο τρόπος που έχουν δομηθεί τα επιμέρους δίκτυα οδικών και σιδηροδρομικών μεταφορών του ETIS δεν επιτρέπει την συνδυασμένη μεταφορά με φορτηγό και τρένο διότι δεν υπάρχουν κόμβοι που να ανήκουν ταυτόχρονα στο οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο. Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα ίσως είναι η ανάπτυξη εφαρμογής στο περιβάλλον του GIS που να αναγνωρίζει τους κοινούς κόμβους και να δημιουργεί ένα ενιαίο δίκτυο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 European Commission, 2009, Panorama of Transport, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities διαθέσιμο στη σελίδα:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DA-09-001/EN/KS-DA-09-001-EN.PDF
- 2 Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2007, Freight transport - a rapidly expanding economic sector, Directorate-General for Energy and transport διαθέσιμο στη σελίδα:
<http://www.eubusiness.com/topics/transport/freight-transport-eu/>
- 3 Τσαμπούλας Δ., (2010), Ο Αναπτυξιακός Ρόλος των Μεταφορών για την Ελλάδα, 12η Πανελλήνια Επιμελητηριακή Συνδιάσκεψη Μεταφορών με Θέμα «Μεταφορές – Μοχλός ανάπτυξης της Ελληνικής Οικονομίας και της Περιφέρειας: Προβληματισμοί και προκλήσεις», Κέρκυρα: 26 Ιουνίου 2010, ανακτήθηκε από την ιστοσελίδα: <http://www.eesym.gr/portal/images/ker-26062010-d.tsamboulas.pdf>.
- 4 Απόφαση αριθ. 1692/96/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Ιουλίου 1996 περί των κοινοτικών προσανατολισμών για την ανάπτυξη του διευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών Επίσημη Εφημερίδα αριθ. L 228 της 09/09/1996 σ. 0001 – 0104
- 5 Πρόταση κανονισμού του ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του συμβουλίου σχετικά με τους προσανατολισμούς της Ένωσης για την ανάπτυξη του διευρωπαϊκού δικτύου μεταφορών διαθέσιμο στη σελίδα:
<http://register.consilium.europa.eu/pdf/el/12/st08/st08047.el12.pdf#page=2>
- 6 Ευρωπαϊκά Δίκτυα Μεταφοράς (TEN-T-Trans-European Transport Networks) Ιστοσελίδα , Κυρ, 14/08/2011 διαθέσιμη στην διεύθυνση: <http://euractiv.gr/eyropaika-diktya-metaforas-ten-t-trans-european-transport-networks>
- 7 Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2009. Panorama of Transport, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. Available at: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>
- 8 European Commission, 2006, "Keep Europe moving - Sustainable mobility for our continent Mid-term review of the European Commission's 2001 Transport White Paper", Brussels COM(2006) 314 final
- 9 Γκαϊτατζή Ν. Ξανθίππη, 2009, Διπλωματική εργασία: Οι σταθμοί διαλογής στο σύστημα των εμπορευματικών μεταφορών βασικές αρχές σχεδιασμού και λειτουργίας οι σταθμοί διαλογής στο ελληνικό σιδηροδρομικό δίκτυο, Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- 10 Υπουργείο Ανάπτυξης, Ανταγωνιστικότητας, Υποδομών, Μεταφορών και δικτύων/Invest In Greece Agency, Εμπόριο: Εξαγωγές – Εισαγωγές προϊόντων, διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:
<http://www.investingreece.gov.gr/default.asp?pid=56&la=2>
- 11 Αιτ. Έκθεση (2010), Αιτιολογική Έκθεση στο σχέδιο νόμου «Οδικές εμπορευματικές μεταφορές», Υπουργοί «Οικονομικών», «Προστασίας του Πολίτη», «Οικονομίας, Ανταγωνιστικότητας και Ναυτιλίας», «Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων», Ανατύπωση 15.9.2010, Αθήνα, 8 Σεπτεμβρίου 2010, ανακτήθηκε από την ιστοσελίδα:
<http://www.hellenicparliament.gr/UserFiles/2f026f42-950c-4efcb950-340c4fb76a24/o-empomet-is.pdf>.

-
- 12 Στοιχεία της ομιλίας του υμε κ. Ευριπίδη Στυλιανίδη στην ανοικτή γενική συνέλευση των μελών του συνδέσμου εξαγωγέων βορείου Ελλάδος – ΣΕΒΕ, 2009, Θέμα: «Στρατηγική Συνδυασμένων Μεταφορών στη Βόρεια Ελλάδα και οι Νέες Εμπορευματικές Υπηρεσίες του ΟΣΕ»
 - 13 Επίσημη ιστοσελίδα του προγράμματος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ETIS: <http://www.etisplus.eu/default.aspx>
 - 14 Rahman, S. A., 2005. An introduction to policy information systems and ETIS, Towards a European Transport Policy Information System. Ed. Liana Giorgi, Lisa Klautzer, Adnan Rahman and Michael Schmidt, pp. 79-92
 - 15 A.Ballis, I. Lagou, 2010, Past, present and potential of the European Transport Information System, 5th International congress on transport research Greece
 - 16 Επίσημη ιστοσελίδα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής σχετικά με το πρόγραμμα TEN-T http://ec.europa.eu/transport/themes/infrastructure/index_en.htm
 - 17 Εφαρμογές βελτιστοποίησης και επιχειρησιακής έρευνας σε προβλήματα μηχανικών http://users.teiath.gr/vmouss/ebooks/optimee/sections/section30_netanal_intro.html
 - 18 S. Pallottino, M.G. Scutella, 1998, Equilibrium and advanced transportation modeling
 - 19 L. Fu, D. Sun, L.R. Rilett, 2006, Computers & Operations Research, Elsevier
 - 20 Time depending shortest-path problems with applications to railway networks K. Nachtigall, *European Journal of Operational Research* 83 (1995) 154-166
 - 21 Z. Wang, J. Crowcroft, 1992, Analysis of Shortest-Path Routing Algorithms in a Dynamic Network Environment, ACM Computer Communication Review
 - 22 Discrete Dynamic Shortest Path Problems in Transportation Applications: Complexity and Algorithms with Optimal Run Time Journal Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board Publisher Transportation Research Board of the National Academies ISSN 0361-1981 Issue Volume 1645 / 1998 Category Planning and Administration Pages 170-175 DOI 10.3141/1645-21
 - 23 Andre de Palma, P. Hansen, M. Labbe, Computer's paths with penalties for early or late arrival time 1987
 - 24 Z. Wang, J. Crowcroft Analysis of Shortest-Path Routing Algorithms in a Dynamic Network Environment (1992ey)
 - 25 Yu-Li Chou, H. E. Romeijn, and R. L. Smith, 1998, Approximating Shortest Paths in Large-Scale Networks with an Application to Intelligent Transportation Systems, INFORMS Journal on Computing Spring 1998 10:163-179;
 - 26 Derek O'Connor, 2012, Notes for Algorithms & Data Structures, University of Dublin
 - 27 Narsingh Lko and Chi-yin Pang, 1983, Shortest-Path Algorithms: Taxonomy and Annotation, Pullman, Washington 99 164
 - 28 Erickson J., Algorithms Course Materials- - Single Source shortest paths, University of Illinois, Urbana-Champaign

-
- 29 Shimbel,A., "Structure in communication nets", in: proceedings of the Symposium on Information Networks New York , 1954
 - 30 Ford,L RAND Economics of Transportation (August 1956)
 - 31 Combat Development Dept. of the Army Electronic Proving Ground
 - 32 Dantzig, 1958, Simplex method for linear programming
 - 33 R.Bellman, 1958, Dynamic programming
 - 34 A. Moore, 1959, Routing long-distance telephone calls for Bell Labs
 - 35 Dijkstra, E. W., 1959, "A note on two problems in connexion with graphs", *Numerische Mathematik*1: 269–271
 - 36 Some Experimental Results of Applying Heuristic Search to Route Finding John Pearson and H. W. Guesgen ,1998
 - 37 Ira Pohl, 1970, Heuristic Search Viewed as Path Finding in a Graph, *Artificial Intelligence* 1, 193-204
 - 38 Polh ,Ira, 1970, "Bi-directional Search", *Machine Intelligence*, 6, Edinburgh University Press, pp. 127–140.
 - 39 Hart, P. E., Nilsson, N. J., Raphael, B., 1968, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths". *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics* SSC4 4 (2): 100–107
 - 40 Faramroze Engineer , 2000, Fast Shortest Path Algorithms for Large Road Networks, Department of Engineering Science University of Auckland New Zealand
 - 41 F. Benjamin Zhan, Charles E, Noon, 1998, Shortest Path Algorithms: An Evaluation Using Real Road Networks, *Transportation Science*, February 1998 vol. 32 no. 1 65-73
 - 42 Dumitrescu, I. and Boland, N., 2003, Improved preprocessing, labeling and scaling algorithms for the Weight-Constrained Shortest Path Problem. *Networks*, 42: 135–153. doi: 10.1002/net.10090
 - 43 A. V. Goldberg, C. Harrelson, 2005, Computing the shortest path: A search meets graph theory, *SODA '05 Proceedings of the sixteenth annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms*
 - 44 Yoshef Sheffi, W.B Powel, 1980, An Algorithm for the Equilibrium Assignment Problem with Random Link Times
 - 45 Satoru Fujishige, 1980 , A Note on the Problem of Updating Shortest Paths
 - 46 L. Fu, D. Sunb, L.R. Rilett ,Heuristic shortest path algorithms for transportation applications: State of the art *Computers & Operations Research* 33 (2006) 3324–3343
 - 47 Stochastic Performance Evaluation of Hierarchical Routing for Large Networks, Farouk Kamoun, Leonard Kleinrock, *Computer Networks* 3 (1979) 337-353

-
- 48 Edward P. F. Chan, Ning Zhang, "Finding shortest paths in large network systems", Proceedings of the 9th ACM international symposium on Advances in geographic information systems, New York
- 49 M. Desrochres, A note on the partitioning shortest path algorithm, 1987
- 50 Ning Jing, Yun-Wu Huang, and Eike Rundenstener, Hierarchical Optimization of Optimal Path Finding for Transportation Applications, Proceeding of the Conference on Information and Knowledge Management, 1996. pp. 261-268.
- 51 Ning Jing, Yun-wu Huang and Elke A. Rundensteiner, Hierarchical Encoded Path Views for Path Query Processing: An Optimal Model and Its performance Evaluation, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 10, No. 3 May/June 1998.
- 52 Shashi Shekhar, Andrew Fetterer, and Brajesh Goyal, Materialization Trade-Offs in Hierarchical Shortest Path Algorithms, Proceeding of the International Symposium on Large Spatial Databases, Springer Verlag (Lecture Notes in Computer Science), 1997.
- 53 H. Wang, , P. V. Mieghem, Sampling networks by the union of m shortest path trees Computer Networks Volume 54, Issue 6, 29 April 2010, Pages 1042–1053 New Network Paradigms
- 54 D. R. Shier, On Algorithms for Finding the k Shortest Paths in a Network, (1977)
- 55 N. Katoh, T. Ibaraki, and H. Mine, 1980, An Efficient Algorithm for K Shortest Simple Paths
- 56 L. Fu, D. Sunb, L.R. Rilett ,Heuristic shortest path algorithms for transportation applications: State of the art Computers & Operations Research 33 (2006) 3324–3343
- 57 Στοιχεία που λήφθηκαν μέσω συνέντευξης με το επαγγελματία οδηγό διεθνών μεταφορών Α. Μουγκό στις 2/10/2012.
- 58 A. Stathopoulos, 2002, "A deterministic semi-dynamic network assignment model using transient o-d matrices"
- 59 Dimitriou, L., and A. Stathopoulos, "Modeling Dynamic Urban Road Networks Performance under Congestion Pricing Strategies", 17th IFAC World Congress, Seoul, Korea, 2008.
- 60 Emma Frejinger, 2008, Route Choice Analysis: Data, Models, Algorithms and Applications
- 61 Α. Σταθόπουλος, Συμβολή στην Διερεύνηση της Αξίας του Χρόνου στις Μεταφορές", Διατριβή στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, 1984
- 62 Ευρωπαϊκή νομοθεσία σχετικά με τα ωράρια επαγγελματιών οδηγών διαθέσιμη στην ιστοσελίδα: http://europa.eu/legislation_summaries/transport/road_transport/c00018_el.htm#key
- 63 European Comission, Joint Research Centre, Digital Tachograph διαθέσιμη ηλεκτρονικη σελίδα: <http://dtc.jrc.it/index.php>
- 64 Επίσημη σελίδα του προγράμματος TIR υπό την αιγίδα της UNECE <http://www.unece.org/trans/bcf/tir/>
- 65 Ελληνική Δημοκρατία, 2004, Συλλογική σύμβαση Εργασίας για τους όρους αμοιβής και εργασίας των οδηγών βυτιοφόρων αυτοκινήτων δημόσιας χρήσης, που απασχολούνται σε επιχειρήσεις

μεταφοράς πετρελαιοειδών προϊόντων και υγραερίων όλης της χώρας, Υπουργείο Απασχόλησης και Κοινωνικής Προστασίας.

- 66 Ιστοσελίδα, Ίδρυμα Κοινωνικών Ασφαλίσεων (ΙΚΑ), 2007, Ποσοστά ασφαλιστρων, διαθέσιμο στη σελίδα: <http://www.ika.gr/gr/infopages/ergo/pososta.cfm#m>
- 67 Ελληνική Δημοκρατία, 2005, Ποσά καθαρού εισοδήματος που αντιστοιχούν σε επιχειρήσεις που εκμεταλλεύονται φορτηγά αυτοκίνητα δημόσιας χρήσης, Υπουργείο Οικονομικών, Γενική Δνση Φορολογίας, Δνση Φορολογίας Εισοδήματος, Τμήμα Α'.
- 68 Ίδρυμα Οικονομικών και Βιομηχανικών Ερευνών (ΙΟΒΕ), 2002, Η Αγορά του Επαγγελματικού Αυτοκινήτου, Κλαδική μελέτη, <http://www.iobe.gr>
- 69 Μελέτη του Γερμανικού Συνδέσμου Βιομηχανίας Αυτοκινήτου σχετικά με την κατανάλωση φορτηγών οχημάτων.
- 70 Ν.Θ Ποριώτης – Ν.Μ. Βακιρτζίδης, 2001, Μελέτη υπολογισμού λειτουργικού κόστους οχημάτων, Αθήνα , Γενική Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε
- 71 Επίσημος ιστότοπος Υπουργείου Εξωτερικών, Θεματική κατηγορία: Διμερείς σχέσεις: Υποκατηγορία: Όγκος Εμπορικών Συναλλαγών-Εμπορικό Ισοζύγιο, διαθέσιμο στην διεύθυνση: <http://agora.mfa.gr/frontoffice/portal.asp?cpage=NODE&cnode=57&cid=175&mid=60>
- 72 Επίσημος ιστότοπος Υπουργείου Εξωτερικών, Εξωτερικό εμπόριο Ελλάδας. Διαθέσιμο στην διεύθυνση: http://www.agora.mfa.gr/appdata/documents/agora_semester.pdf
- 73 Νανιόπουλος Α., 2009 , Οργάνωση- Διαχείριση Οδικών Εμπορευματικών Μεταφορών, Σημειώσεις Μαθήματος «Σχεδιασμός, Οργάνωση και Διαχείριση Συστημάτων Εμπορευματικών Μεταφορών», Μεταπτυχιακό «Σχεδιασμός, Οργάνωση και Διαχείριση Συστημάτων Μεταφορών», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2009.
- 74 Γ. Γιαννάτος, Σ. Ανδριανόπουλος, Logistics Μεταφορές – Διανομή SOLE. ISBN 960-86339-6-6