

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Κατασκευή Δικτύου Multimodal Μεταφορών και Βασική  
Μελέτη Επί Του Δικτύου**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Του

**ΦΟΡΑΙΑ ΙΩΑΝΝΗ - ΟΔΥΣΣΕΑ**





**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Κατασκευή Δικτύου Multimodal Μεταφορών και Βασική  
Μελέτη Επί Του Δικτύου**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Του

**ΦΟΡΛΙΔΑ ΙΩΑΝΝΗ – ΟΔΥΣΣΕΑ**

Βόλος, Απρίλιος 2015



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## **Κατασκευή Δικτύου Multimodal Μεταφορών και Βασική Μελέτη Επί Του Δικτύου**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Του

**ΦΟΡΑΙΔΑ ΙΩΑΝΝΗ - ΟΔΥΣΣΕΑ**

**Επιβλέποντες :**

**ΠΡΩΤΟΣ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

Καθηγητής κ.  
Ζηλιασκόπουλος Αθ.

**ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

Καθηγητής κ.  
Λυμπερόπουλος Γ.

**ΤΡΙΤΟΣ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

Επίκουρος Καθηγητής κ.  
Παντελής Δ.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24<sup>η</sup> Απριλίου 2015

*(Υπογραφή)*

.....  
ΠΡΩΤΟΣ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
Καθηγητής Π.Θ. Ζηλιασκόπουλος Αθ.

*(Υπογραφή)*

.....  
ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
Καθηγητής Π.Θ. Λιμπερόπουλος Γ.

*(Υπογραφή)*

.....  
ΤΡΙΤΟΣ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ. Παντελής Δ.

Βόλος, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2015

*(Υπογραφή)*

.....

**ΦΟΡΛΙΔΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ - ΟΔΥΣΣΕΑΣ**

Διπλωματούχος Χημικός Μηχανικός Α.Π.Θ

**© 2015 – All rights reserved**

## Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία έλαβε χώρα στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Συστημάτων Βελτιστοποίησης.

Πριν από την παρουσίαση αυτής της διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίησή της: Τον καθηγητή κ. Ζηλιασκόπουλο Αθανάσιο για το ενδιαφέρον θέμα που μου εμπιστεύθηκε και τον κ. Λόη Αθανάσιο για την καθοδήγηση και την αμέριστη συμπαράσταση του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Επιπλέον, θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω όλους όσους συμμετείχαν στην έρευνά μας μέσω της συμπλήρωσης των ερωτηματολογίων. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου καθώς και στις φίλες και συναδέλφους Ματίνα και Σταυρούλα Σούρλα για τη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία περιλαμβάνεται τόσο η διερεύνηση της χρησιμότητας των συνδυαστικών μεταφορών όσο και η ανάδειξη της αναγκαιότητας κατασκευής ενός τέτοιου δικτύου.

Πιο αναλυτικά, γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή και καταγράφονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των σιδηροδρομικών, οδικών και συνδυαστικών μεταφορών. Ακολουθεί εκτενής αναφορά στη σχέση των μεταφορών με το περιβάλλον, αναλύονται τα ποσοστά ενέργειας που ξοδεύονται για τον τομέα των μεταφορών τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη, οι επιπτώσεις των μεταφορών στο περιβάλλον, η ισχύουσα νομοθεσία για την αντιμετώπιση αυτών, αλλά και το πως η κατασκευή ενός δικτύου multimodal μεταφορών μπορεί να κάνει τις μετακινήσεις πιο εύκολες και οικολογικές.

Στη συνέχεια εξετάζεται η θεωρία των γράφων που χρησιμοποιείται για τη μαθηματικοποίηση και την μοντελοποίηση ενός δικτύου συνδυαστικών μεταφορών και γίνεται αναφορά σε αλγόριθμους που επιλύουν ένα τέτοιο πρόβλημα εύρεσης της βέλτιστης διαδρομής σε δίκτυο πολλαπλών μεταφορών.

Το ερευνητικό κομμάτι της διπλωματικής περιλαμβάνει την ανάλυση και επεξεργασία ερωτηματολογίων, τα οποία διανεμήθηκαν με σκοπό την άντληση χρήσιμων πληροφοριών για τον οικολογικό τρόπο μεταφορών. Γίνεται στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και παρουσίασή τους με γραφήματα. Επιπρόσθετα, δημιουργήθηκε κώδικας ο οποίος βρίσκει την βέλτιστη διαδρομή με βάση την εκπομπή CO<sub>2</sub> και ο οποίος χρησιμοποιεί μέρος δικτύου που εμείς κατασκευάσαμε. Το συνολικό δίκτυο περιλαμβάνει δρομολόγια υπεραστικών ΚΤΕΛ και τραίνων. Κατόπιν, δημιουργήθηκαν γραφήματα που συσχετίζουν τις συνδυασμένες μετακινήσεις με την εκπομπή CO<sub>2</sub>. Τα γραφήματα αυτά σχολιάζονται και τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της έρευνας.

## Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	10
1.1	Περιγραφή του προβλήματος .....	11
1.2	Μεθοδολογία .....	12
2	Μεταφορές .....	13
2.1	Γενικά Στοιχεία.....	13
2.2	Βασικοί Τύποι Μεταφοράς.....	14
2.3	Σιδηροδρομικές Μεταφορές.....	15
2.3.1	Το σιδηροδρομικό μεταφορικό έργο.....	15
2.3.2	Ιστορική Αναδρομή.....	18
2.3.3	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του σιδηροδρόμου.....	20
2.3.4	Η Ελληνική περίπτωση .....	22
2.3.5	Ο ρόλος των ελληνικών σιδηροδρόμων στο νέο σύστημα .....	24
2.4	Οδικές Μεταφορές.....	25
2.4.1	Χαρακτηριστικά των οδικών μεταφορών .....	26
	Πλεονεκτήματα οδικών μεταφορών .....	26
	Μειονεκτήματα οδικών μεταφορών.....	28
	Η απελευθέρωση των Οδικών μεταφορών στην Ευρώπη.....	31
	Επενδύσεις στις οδικές μεταφορές.....	37
	Το ελληνικό οδικό δίκτυο .....	39
	Οι οδικές μεταφορές στην Ελλάδα .....	40
2.5	Διεθνείς μεταφορές.....	41
2.5.1	Διεθνείς οδικές επιβατικές μεταφορές.....	42
2.5.2	Διεθνείς οδικές εμπορευματικές μεταφορές.....	43
2.6	Συνδυαστικές Μεταφορές .....	45
2.6.1	Πλεονεκτήματα.....	46
2.6.2	Ιστορική εξέλιξη των συνδυασμένων μεταφορών.....	47
2.6.3	Οργάνωση της αλυσίδας των συνδυασμένων μεταφορών.....	49
	Γενική οργάνωση.....	49
	Οι συνδυασμένες μεταφορές στον Ελλαδικό χώρο .....	51
2.7	Μέσα Μαζικής Μεταφοράς και Περιβάλλον .....	52
2.7.1	Κατανάλωση ενέργειας σε κόσμο και Ελλάδα.....	52
2.7.2	Ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών – τι λέει για το περιβάλλον, την ενέργεια και τις μεταφορές; .....	58
2.7.3	Η Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα .....	60
2.7.4	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών.....	65
2.7.5	Ρυπογόνες Ουσίες.....	67
2.7.6	Μέθοδοι υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπής ρύπων.....	68
2.7.7	Πως τα μέσα μαζικής μεταφοράς βοηθούν στη μείωση της εκπομπής ρύπων.....	69
2.8	Αλγόριθμοι εύρεσης βέλτιστης διαδρομής.....	71
2.8.1	Βασικοί ορισμοί – Εννοιολογικό πλαίσιο .....	73
	Τύποι Γράφων.....	74
	Ιδιότητες Γράφων.....	79
	Δομές Δεδομένων για την Αναπαράσταση Γράφων .....	81
	Μοντελοποίηση Προβλημάτων με Γράφους.....	84



2.9	Δρομολόγηση.....	86
2.9.1	Δημοφιλή προβλήματα δρομολόγησης.....	87
2.9.2	Αλγόριθμοι Δρομολόγησης.....	90
2.9.3	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Αλγορίθμων.....	92
2.10	Μηχανές Αναζήτησης Δρομολογίων.....	94
3	Πειράματα και Ανάλυση Δεδομένων.....	99
3.1	Κατασκευή Δικτύου.....	99
3.2	Παρουσίαση του ερωτηματολογίου.....	103
3.2.1	Δειγματοληψία.....	105
	Δειγματοληπτικές έρευνες.....	105
3.3	Ανάλυση Ερωτήσεων Ερωτηματολογίου για Μεταφορές πολλαπλών μέσων και χαμηλών εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	107
3.4	Συσχέτιση Μεταφορών και Εκπομπών CO <sub>2</sub> για τον ελλαδικό χώρο.....	113
4	Συμπεράσματα.....	122
4.1	Προοπτικές.....	123
5	Βιβλιογραφία.....	125
6	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	128
	Ερωτηματολόγιο.....	128
	Κώδικας.....	130

# 1 Εισαγωγή

Η ύπαρξη ενός αποδοτικού μεταφορικού συστήματος αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ανταγωνιστικότητα της Ε.Ε. Με την αναμενόμενη ανάπτυξη του διεθνούς εμπορίου, την πιθανή επέκταση της Ένωσης προς τις κεντρικές και ανατολικές χώρες και την συνεργασία με τις Μεσογειακές χώρες, ο ρόλος των μεταφορών θα γίνει ακόμη πιο σημαντικός.

Εξαιτίας της αύξησης των εμπορευματικών μεταφορών και της αυξανόμενης ανισορροπίας στη χρήση των διαφόρων μέσων μεταφοράς και της μεταφορικής υποδομής, το ευρωπαϊκό μεταφορικό σύστημα παρουσιάζει σημάδια αναποτελεσματικότητας από οικονομική και κοινωνική άποψη. Με στόχο την απόκτηση κοινωνικοοικονομικής και περιβαλλοντικής ανάπτυξης, η αποτελεσματική και ισορροπημένη χρήση της υπάρχουσας χωρητικότητας του Ευρωπαϊκού, και κατά συνέπεια του ελληνικού μεταφορικού συστήματος έχει εξελιχθεί σε σημαντική πρόκληση.

Η συνήθης πρακτική που στηρίζεται σε κάθε μέσο και τις πολιτικές που αφορούν αυτό δεν φαίνεται να καλύπτει τις σημερινές και μελλοντικές ανάγκες του τομέα. Έτσι λοιπόν προωθείται μία νέα προσέγγιση που αφορά ολόκληρο το μεταφορικό σύστημα και όχι μεμονωμένα τμήματα αυτού (overall systems approach). Η προώθηση των συνδυασμένων μεταφορών αποτελεί μία νέα καινοτόμα πολιτική που στηρίζει την ολιστική προσέγγιση του μεταφορικού συστήματος καθώς στοχεύει στην ισορροπημένη και αποδοτική χρήση της μεταφορικής χωρητικότητας (υποδομή, μέσα, εξοπλισμό διαχείρισης), αλλά και στη δημιουργία πιο φιλικών προς το περιβάλλον μεταφορών.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση οι διατροπικές μεταφορές (Intermodal transport) αφορούν ένα μεταφορικό σύστημα το οποίο επιτρέπει την χρήση τουλάχιστον δύο μέσων μεταφοράς με ένα ολοκληρωμένο τρόπο σε μία μεταφορική αλυσίδα από μέσο σε μέσο. Η Ευρωπαϊκή Διάσκεψη των Υπουργών Μεταφορών (ECMT) έχει δώσει μία στενότερη έννοια στις συνδυασμένες μεταφορές (combined transport) δίνοντας του εξής ορισμούς :

- **Πολυτροπικές μεταφορές (Multimodal transport):** Μεταφορά εμπορευμάτων-επιβατών με τουλάχιστον δύο διαφορετικά μέσα μεταφοράς.
- **Διατροπικές μεταφορές (Intermodal transport):** η μεταφορά φορτίου σε μία και μόνη μεταφορική μονάδα ή όχημα χρησιμοποιώντας σταδιακά διάφορα μέσα μεταφοράς

ενώ το πραγματικό φορτίο δεν υπόκειται σε χειρισμό κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.

- **Συνδυασμένες μεταφορές (Combined transport):** είναι η διατροπική μεταφορά όπου όμως το μεγαλύτερο τμήμα του ταξιδιού γίνεται σιδηροδρομικώς ή μέσω θαλάσσιας ή ποτάμιας οδού και κάθε αρχικό ή τελικό τμήμα του που γίνεται με οδικά μέσα είναι όσο το δυνατόν μικρότερο.

Σε αυτή την εργασία, θα παρουσιάσουμε την κατασκευή δικτύου multimodal μεταφορών στην ελληνική επικράτεια, και θα πραγματοποιήσουμε βασική μελέτη επί του δικτύου. Το δίκτυο περιλαμβάνει δύο είδη μεταφορών, των σιδηροδρομικών και των οδικών με υπεραστικό λεωφορείο.

## **1.1 Περιγραφή του προβλήματος**

Το πρόβλημα των μεταφορών έχει απασχολήσει κατά καιρούς τις εκάστοτε κυβερνήσεις. Είναι πλέον προφανές ότι η κατασκευή ενός αξιόπιστου δικτύου μεταφορών, και πόσο μάλλον συνδυαστικών μεταφορών, μπορεί να οδηγήσει σε πρώτο λόγο σε σημαντική αύξηση της χρήσης των μέσων μαζικής μεταφοράς. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα, τη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης, την εξοικονόμηση ενέργειας και την πιο οικολογική μετακίνηση.

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν κάποιες μηχανές αναζήτησης συνδυαστικών μεταφορών στο εξωτερικό, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για κάποιες κύριες διαδρομές εντός Ελλάδας. Οι σημαντικότερες από αυτές θα παρουσιαστούν αναλυτικά παρακάτω. Αξίζει να σημειωθεί, ότι μέχρι στιγμής δεν υπάρχουν συγκεντρωμένα και καταγεγραμμένα τα δρομολόγια, τοπικά και μη, των τρενών και των υπεραστικών λεωφορείων (ΚΤΕΛ) που αφορούν την ηπειρωτική Ελλάδα. Στην παρούσα μελέτη, εμπλεκόμενοι σαν εξωτερικοί συνεργάτες στο project “Multimodal Transportation” της ΤΡΑΙΝΟΣΣΕ, καταγράψαμε τα δρομολόγια όλων των νομών για όλους τους δυνατούς προορισμούς, σε ότι αφορά τα ΚΤΕΛ. Στα πλαίσια του παραπάνω project, έχει δημιουργηθεί μηχανή αναζήτησης συνδυαστικών μεταφορών, που χρησιμοποιεί τα προαναφερθέντα δεδομένα σε συνδυασμό με επιπρόσθετα που αφορούν τα δρομολόγια τρενών, και παρουσιάζει στο χρήστη όλες τις

πληροφορίες (π.χ. Δρομολόγια, μετεπιβιβάσεις, κόστος, εκπομπές CO<sub>2</sub>) που χρειάζεται για την διαδρομή που επιθυμεί.

Το βασικό κίνητρο που μας οδήγησε στη συγκεκριμένη μελέτη, είναι ότι ο ενεργειακός τομέας στην Ελλάδα σε σύγκριση με άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης κρίνεται λιγότερο αποδοτικός και με υψηλό επίπεδο εκπομπών CO<sub>2</sub>. Σημαντικά προβληματικός εμφανίζεται ο τομέας των μεταφορών, τόσο των αστικών όσο και των υπεραστικών. Διαπιστώνεται σειρά προβλημάτων, όπως ανεπάρκεια μέσων σταθερής τροχιάς, υπερβολική χρήση αεροπορικών μεταφορών, μειωμένη χρήση δημόσιων μεταφορών στις πόλεις, άναρχη και σπάταλη επέκταση των οδικών μεταφορών εμπορευμάτων, καθώς και η μη αξιοποίηση των συνδυαστικών επιβατικών μεταφορών. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε κώδικας βασισμένος στον αλγόριθμο Dijkstra, ο οποίος βρίσκει τη βέλτιστη διαδρομή με βάση την εκπομπή CO<sub>2</sub>. Ο κώδικας χρησιμοποιεί μέρος του δικτύου (για τραίνα και υπεραστικά λεωφορεία) που κατασκευάσαμε για την εξαγωγή αποτελεσμάτων και έχει ως στόχο την άντληση χρήσιμων πληροφοριών για την εκπομπή CO<sub>2</sub> στη συνδυασμένες και μη μεταφορές.

## 1.2 Μεθοδολογία

- **Βιβλιογραφική Μελέτη.** Η βιβλιογραφική μελέτη δίνει τη βάση για τα είδη των μεταφορών και την εξέλιξή τους μέσα στο χρόνο, τα κύρια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους και αναλύει την υπάρχουσα κατάσταση τόσο στον ευρωπαϊκό όσο και στον ελλαδικό χώρο. Επίσης, γίνεται αναφορά στους αλγορίθμους που χρησιμοποιούνται σε τέτοιου είδους προβλήματα και γίνεται ανάλυση της σπουδαιότητας των συνδυαστικών μεταφορών για το περιβάλλον. Η πλειοψηφία των σχετικών ευρημάτων από τη βιβλιογραφική δουλειά που χρησιμοποιήσαμε παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 2.
- **Πειράματα και Ανάλυση Δεδομένων.** Στο Κεφάλαιο 3 θα παρουσιαστεί ο τρόπος συλλογής των δεδομένων για την κατασκευή του δικτύου μας και θα γίνει επεξεργασία των

ερωτηματολογίων που χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή της κοινής γνώμης. Τέλος, θα αναλυθεί και θα περιγραφεί με τη βοήθεια διαγραμμάτων η χρήση των συνδυαστικών μεταφορών σε σύγκριση με την εκπομπή CO<sub>2</sub>.

- **Συμπεράσματα-Προοπτικές.** Στο κεφάλαιο 4 χρησιμοποιούνται τα δεδομένα των προηγούμενων ενοτήτων για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων και παρατίθενται προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις.

## 2 Μεταφορές

### 2.1 Γενικά Στοιχεία

Μεταφορές, στον οικονομικό και εμπορικό χώρο, ονομάζονται γενικά οποιεσδήποτε μετακινήσεις επιβατών και φορτίων από έναν τόπο σε έναν άλλον. Συνήθως η μετακίνηση επιβατών και φορτίων γίνεται έναντι κάποιας αμοιβής που ονομάζεται εισιτήριο ή κόμιστρο ή ναύλος. Συνεπώς οι μεταφορές αποτελούν εμπορικές πράξεις, παράγουσες οικονομική χρησιμότητα.

Ο παλαιότερος διεθνής όρος *transportation* έχει σήμερα αντικατασταθεί με τον βραχύτερο *transport*, τον οποίο χρησιμοποιούν και οι κοινωνιολόγοι με την ευρύτερη σημασία της μεταφοράς ανθρώπων και αγαθών γενικά στο χώρο με επικεντρωμένο το ενδιαφέρον στα μέσα "πολλαπλής φοράς" καθώς και στα προσωπικά μέσα μετακίνησης, θεωρούμενα ως βασικοί δημιουργοί του συστήματος διακίνησης αγαθών μέσα στις κοινότητες, τις κοινωνίες και μεταξύ αυτών. Παρά ταύτα ενώ όλες οι κοινωνικές επιστήμες έχουν δείξει κάποιο ενδιαφέρον για αυτές, μόνο η Οικονομική Επιστήμη έχει παρουσιάσει αξιόλογο έργο σε εργασίες έρευνας και μελέτης σε σημείο που η έννοια μεταφορές να έχει επεκταθεί σήμερα σ' ένα ευρύ ανεπτυγμένο τεχνικό πεδίο (τομέα) έρευνας στο σημείο που να χαρακτηρίζονται δικαιολογημένα από το εύρος αυτών «Βιομηχανία μεταφορών». Παρακάτω παρατίθενται τα βασικά είδη των μεταφορών, αναλυτικές πληροφορίες για τις χερσαίες μεταφορές με τις οποίες ασχολείται η μελέτη μας αλλά και κάποια γενικότερα στοιχεία για τα υπόλοιπα είδη μεταφορών.

## 2.2 Βασικοί Τύποι Μεταφοράς

- *Χερσαίες μεταφορές*

Τις σημερινές χερσαίες μεταφορές τις χρησιμοποιούμε για να μεταφερθούμε πάνω στην Γή. Τα μέσα μεταφοράς είναι: το οδικό δίκτυο ο σιδηρόδρομος, οι αγωγοί πετρελαίου και οι αγωγοί φυσικού αερίου. Οι μεταφορές στην ξηρά διακρίνονται σε οδικές και σιδηροδρομικές. Η επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων περιοχών της Ελλάδας ήταν ένα δύσκολο πρόβλημα από την αρχαιότητα εποχή. Το ορεινό έδαφος της χώρας είναι ένας βασικός παράγοντας, που δυσκολεύει τις χερσαίες συγκοινωνίες. Τα ψηλά και δύσβατα βουνά, οι οροσειρές, τα μεγάλα φράγματα ανάμεσα στον ένα τύπο και στον άλλο, δυσκόλευαν ανέκαθεν τη δημιουργία και την εξάπλωση οδικού δικτύου.

- *Θαλάσσιες μεταφορές*

Τα θαλάσσια μέσα μεταφοράς κάνουν το ίδιο ακριβώς με τα χερσαία αλλά στη θάλασσα. Με τα θαλάσσια μέσα μεταφοράς ο άνθρωπος εξερευνά τη θάλασσα και τη θαλάσσια ζωή. Η θαλάσσια μεταφορά υπερέχει όταν πρόκειται για τη μεταφορά μεγάλων φορτίων. Κάνουν εφικτό το εμπόριο με πολύ μακρινές χώρες. Επίσης, με αυτά μεταφέρονται το πετρέλαιο το φυσικό αέριο κ.λ.π. σε άλλες χώρες που το χρειάζονται. Ένα πλοίο χρειάζεται πολλά άτομα για να ταξιδέψει και έτσι δημιουργούνται θέσεις εργασίας.

- *Εναέριες μεταφορές*

Σήμερα οι αεροπορικές μεταφορές καταλαμβάνουν σημαντικό κομμάτι της μεταφορικής δραστηριότητας επιβατών και εμπορευμάτων. Οι αεροπορικές μεταφορές αφορούν το νεότερο μέσο μεταφοράς, αλλά και το μεγαλύτερα αυξανόμενο, με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 3,8% στην Ευρώπη. το μερίδιο των εναέριων μεταφορών συγκριτικά με τις συνολικές μεταφορές το 2000 ήταν 5,4% και οι εκτιμήσεις δείχνουν πως το 2030 θα είναι 10,8%. Παρακάτω ακολουθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή για τα διάφορα είδη μεταφορών.

## 2.3 Σιδηροδρομικές Μεταφορές

Οι σιδηροδρομικές μεταφορές έχουν παρατηρήσει σημαντική μείωση για περίπου 30 έτη, κυρίως στις εμπορευματικές μεταφορές. Το 1970 ο σιδηρόδρομος μετέφερε το 32% των εμπορευμάτων σε 15 χώρες της παρούσας Ευρωπαϊκής Ένωσης ενώ μέχρι το 1996 το ποσοστό αυτό μειώθηκε σε 14%. Την ίδια περίοδο τα εμπορεύματα που μεταφέρθηκαν από το οδικό δίκτυο αυξήθηκαν από 49% σε 73,6%. Η τονοχλιομετρική απόδοση των σιδηροδρομικών εμπορευματικών μεταφορών μειώθηκαν κατά 14,6% μεταξύ των ετών 1970 και 1996, αποτελώντας το μοναδικό μέσο μεταφοράς που έχει παρουσιάσει μείωση. Την ίδια περίοδο τα τονοχιλιόμετρα στις οδικές μεταφορές αυξήθηκαν κατά 23%. Η επιβατική σιδηροδρομική κίνηση μειώθηκε από 10% το 1970 και έπεσε σε 6% το 1996 [3]. Οι σιδηροδρομικές μεταφορές, περισσότερο από κάθε άλλον μεταφορικό τομέα, είναι εκείνες που έχουν καταστήσει σαφές στην κοινωνία ότι οι μεταφορές αποτελούν αγαθό ή υπηρεσία συνολικής κατανάλωσης. Από τα τέλη του περασμένου αιώνα έως την εποχή μας, δικαιολογημένα έχει υιοθετηθεί η ιδέα ότι οι σιδηροδρομικές μεταφορές αποτελούν "κοινωνική υπηρεσία", δηλαδή υπηρεσία συνολικής κατανάλωσης. Επίσης, κατά τη διάρκεια όλων των προηγούμενων ετών όπου οι σιδηρόδρομοι δέσποζαν στο μεταφορικό σύστημα λειτούργησαν μέσα σε ένα σύστημα μονοπωλιακής αγοράς με έντονη την κρατική παρουσία. Οι νομοθεσίες των διαφόρων χωρών με ανεπτυγμένα σιδηροδρομικά δίκτυα, ήδη μέχρι τις αρχές του προηγούμενου αιώνα ρύθμιζαν νομικά τα υπάρχοντα σιδηροδρομικά δίκτυά τους, που σε μεγάλο βαθμό αποτελούσαν ανταγωνιζόμενες ιδιωτικές επιχειρήσεις, με βάση την αρχή της προστασίας του καθεστώτος του ελεύθερου ανταγωνισμού. Έτσι, υπήρχαν ακόμα και στις πρώτες δεκαετίες του αιώνα μας ανταγωνιζόμενες.

### 2.3.1 Το σιδηροδρομικό μεταφορικό έργο

Η δραστηριότητα ενός σιδηροδρομικού δικτύου στις εμπορευματικές μεταφορές επηρεάζεται όπως είναι λογικό από την αντίστοιχη των επιβατικών. Έντονη επιβατική δραστηριότητα μπορεί να επηρεάσει αντίστοιχα μέσω των εσόδων και της διαχείρισης της, τη δραστηριότητα και του εμπορευματικού τμήματος των σιδηροδρομικών επιχειρήσεων. Για το λόγο αυτό στη στατιστική ανάλυση αναφέρουμε και την αντίστοιχη δραστηριότητα του επιβατικού τομέα. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η εξέλιξη του επιβατικού και εμπορικού σιδηροδρομικού έργου στην Ε.Ε. ανά χώρα για τα έτη από το 1970 έως το

1997. Σύμφωνα, με τα υφιστάμενα στατιστικά στοιχεία τόσο το επιβατικό όσο και το εμπορευματικό σιδηροδρομικό έργο παρουσιάζει φθίνουσα πορεία τα τελευταία έτη. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών, από το σύνολο των χωρών τη σημαντικότερη μείωση παρουσιάζει το Ην. Βασίλειο, η Σουηδία και η Γερμανία ενώ αυξητικές τάσεις επικράτησαν στην Ισπανία, Πορτογαλία και στις Κάτω Χώρες. Η χώρα μας παρουσίαζε ανοδική πορεία μέχρι το 1996, και σταθεροποιητικές τάσεις στη συνέχεια.

Η εμπορευματική κίνηση μέσω των σιδηροδρόμων παρουσιάζει πτωτική πορεία μέχρι το 1994, ενώ στη συνέχεια και μέχρι το 1997 η πορεία είναι ανοδική. Στη Γερμανία χαρακτηριστικά, από 113.000 εκατ. τχλμ. που διανύθηκαν το 1970 για τη μεταφορά εμπορευμάτων μέσω του σιδηροδρόμου, το 1997 διανύθηκαν μόνο 72.700 εκατ. τχλμ. Παρόμοιες καταστάσεις παρατηρούνται και στο Βέλγιο, τη Δανία, τη Γαλλία, την Αγγλία, η Ολλανδία, και το Λουξεμβούργο. Στην Ελλάδα, το μήκος του σιδηροδρομικού της δικτύου είναι πολύ μικρότερο, και γι' αυτό οι αντίστοιχοι αριθμοί είναι μικροί. Ενώ για παράδειγμα το 1970 διανύθηκαν 7000 εκατ. τχλμ. Για τη μεταφορά εμπορευμάτων, το 1997 διανύθηκαν μόνο 3000 εκ. τχλμ. Υπάρχουν βέβαια και οι χώρες οι οποίες αύξησαν τη χρήση του σιδηροδρόμου για τη μεταφορά των αγαθών τους. Αυτές οι χώρες της Ε.Ε. είναι έξι η Ισπανία, η Ιταλία, η Αυστρία, η Πορτογαλία, η Φιλανδία και η Σουηδία, και αποτελούν τη μειοψηφία. Ανάμεσα στις 15 χώρες της Ε.Ε., υπάρχει και μία χώρα, η Φινλανδία, στην οποία παρατηρείται μία σταθερότητα στη χρήση των σιδηροδρόμων, ως μέσων μεταφοράς αγαθών, το 1970 και το 1997, στα 5.000 εκ. τχλμ., παρουσιάζοντας μόνο μία μικρή αύξηση τις ενδιάμεσες χρονιές φτάνοντας τα 6000 εκ. Τχλμ.

Από τα παραπάνω ποσοτικά δεδομένα γίνεται αντιληπτή η μικρή συμμετοχή του σιδηροδρόμου στο συνολικό εθνικό μεταφορικό έργο, παρόλες τις σχετικές βελτιώσεις που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία έτη. Αποτέλεσμα τούτου είναι να μειωθεί και το συνολικό ποσοστό που αντιστοιχεί στον σιδηρόδρομο για τον τομέα των εμπορευματικών μεταφορών, το οποίο από 21,1% που ήταν το 1970 έπεσε σε 11,1% το 1990 και 8,4% το 1998 [3].



Πίνακας 2.1  
Σιδηροδρομικές μεταφορές στην Ε.Ε.  
Μεταφορά επιβατών (σε επιβατοχιλιόμετρα)

	B	DK	D	EL	E	F	IRL	I	L	NL	A	P	FIN	S	UK	EU15
1970	3412	1481	31506	574	3353	15053	481	11357	114	1932	4125	980	1043	2705	18678	96797
1975	3404	1621	32111	637	3477	15320	421	12717	112	1987	3843	1017	1083	2299	17463	97512
1980	3641	1613	29118	660	3506	15922	343	13611	102	1986	4055	1143	1095	2021	17042	95858
1985	3610	1651	26918	687	3990	15679	321	18036	109	2145	3007	1201	1057	2073	14252	94736
1990	3271	1533	24139	810	3907	15798	333	14025	114	2268	3689	1232	965	1638	12564	86286
1991	3244	1586	23949	820	3975	15801	343	13959	142	2332	3833	1252	984	1717	11825	85762
1992	3209	1678	23937	830	3980	15573	328	14091	150	2563	3861	1270	991	1595	11291	85347
1993	3212	1667	19810	854	4155	15507	324	13944	148	2519	3866	1291	968	1572	10999	80836
1994	3209	1623	21220	861	4201	15592	331	13511	146	2631	3828	1346	967	1675	10637	81778
1996	3271	1534	18163	869	4448	15764	334	13068	146	2691	3287	1394	947	1589	8000	75505
1997	3430	1375	18548	787	4079	15746	347	12273	146	2688	3315	1367	959	1619	8000	74679

D:περιλαμβάνει την Αν.Γερμανία: 1970=10000, 1980=10761, 1990=9635

Πηγή: Eurostat

Πίνακας 2.2  
Σιδηροδρομικές μεταφορές

Μεταφορά εμπορευμάτων με βαγόνια (1000 εκ.τον.χλμ.)

	B	DK	D	EL	E	F	IRL	I	L	NL	A	P	FIN	S	UK	EU15
1970	7,9	1,9	113	0,7	9,7	67,6	0,5	18,1	0,8	3,7	10	0,8	6,3	17,3	24,5	282,8
1980	8	1,6	121,3	0,8	11,3	66,4	0,6	18,4	0,7	3,4	11,2	1	8,3	16,6	17,6	287,3
1990	8,4	1,7	101,7	0,6	11,6	50,7	0,6	19,5	0,6	3,1	12,3	1,5	8,4	19,1	15,8	255,5
1992	8,4	1,9	69,8	0,5	9,6	49,5	0,6	19,9	0,6	2,8	11,8	1,8	7,8	19,2	15,5	219,7
1993	7,6	1,8	64,9	0,5	8,1	45	0,6	18,4	0,6	2,7	11,4	1,7	9,3	18,6	13,8	204,9
1994	8,1	2	69,9	0,3	9	48,8	0,6	20,5	0,6	2,8	12,6	1,6	9,9	19	13	218,8
1995	7,6	2	68,8	0,3	10,4	48,1	0,6	21,7	0,5	3,1	13,2	2	9,6	19,4	13,3	220,6
1996	7,2	1,8	67,7	0,3	10	49,5	0,6	21,1	0,5	3,1	13,3	1,9	8,8	18,8	15,1	219,7
1997	7,5	1,6	72,7	0,3	11,5	53,9	0,5	23	0,6	3,4	15	2,2	9,9	19,1	16,9	238,1

D:περιλαμβάνει την αν. Γερμ.:1970=41,5 1980=56,4 1990=39,8

Πηγή: Eurostat

Πίνακας 2.3  
Συμμετοχή σιδηροδρόμου στο μεταφορικό έργο της Ε.Ε.

	% Σιδηροδρόμου	Σύνολο κίνησης (δισ.τον.χλμ.)
1970	21,1%	1340
1980	15,2%	1893
1990	11,1%	2293
1995	8,4%	2635
1996	8,3%	2645
1997	8,6%	2770
1998	8,4%	28700

Πηγή : Eurostat

## 2.3.2 Ιστορική Αναδρομή

Πριν από την ανακάλυψη του σιδηροδρόμου οι δια ξηράς μεταφορές πραγματοποιούνταν επί χιλιετίες κατά τον ίδιο σχεδόν πρωτόγονο τρόπο: για την έλξη είτε επιβατικών είτε φορτηγών αμαξών χρησιμοποιούνταν η μυϊκή δύναμη των ζώων με τα ανάλογα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Στην αρχαία Ελλάδα χρησιμοποιούνταν οι λίθινες αυλακωτές τροχιές. Πάνω σε αυτές κινούνταν οχήματα που τα τραβούσαν ζώα, συνήθως βόδια. Το 1630, κατασκευάστηκαν οι «ξυλοτροχιές» για τη μετακίνηση των οχημάτων στα ανθρακορυχεία. Μετά τις ξυλοτροχιές, που φθείρονταν γρήγορα, κατασκευάστηκαν οι σιδηροτροχιές. Το 18ο αιώνα, η έλξη των οχημάτων γινόταν με άλογα, οι λεγόμενοι ιππήλατοι σιδηρόδρομοι.

Στις πρώτες δεκαετίες του 19ου αιώνα η χρησιμοποίηση της κινητήριας δύναμης του ατμού είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή του σιδηροδρόμου, ο οποίος υπήρξε το πρώτο μηχανοκίνητο μέσο χερσαίων μεταφορών, που όχι μόνο έδωσε ιδανικές για την εποχή λύσεις αλλά άνοιξε και ένα καινούργιο κεφαλαίο στην παγκόσμια τεχνολογική εξέλιξη. Ο πρώτος σιδηρόδρομος με ατμομηχανή κινήθηκε το 1825 και κατασκευαστής του ήταν ο άγγλος Στέφενσον, ο οποίος θεωρείται πατέρας του σιδηροδρόμου. Στη Γαλλία η πρώτη σιδηροδρομική γραμμή κατασκευάστηκε το 1827, στο Βέλγιο το 1831, στη Γερμανία το 1835, στην Ιταλία το 1836, στην Αυστρία το 1837, στη Ρωσία το 1839, στην Ελβετία το 1847, στην Ισπανία το 1848, στις Σκανδιναβικές χώρες το 1856. Η σημασία του σιδηροδρομικού δικτύου είναι πολύ μεγάλη γιατί επιτάχυνε την εξέλιξη του πολιτισμού. Βοήθησε στην ανάπτυξη και των μεσόγειων πόλεων, ενώ μέχρι τότε μόνο τα παραλιακά κέντρα παρουσίαζαν κίνηση, ιδίως εμπορική, καθώς μέχρι τότε διευκολύνονταν οι μεταφορές με τα πλοία. Επιπλέον, το κόστος μεταφοράς μειώθηκε στο ένα έκτο.

Στη χώρα μας το πρώτο σιδηροδρομικό δίκτυο λειτούργησε στις 27 Φεβρουαρίου του 1869, στη διαδρομή Αθήνας-Πειραιά και άνηκε στην "Εταιρία του απ' Αθηνών εις Πειραιά σιδηροδρόμου». Ο σταθμός του Πειραιά βρισκόταν στο χώρο του σημερινού σταθμού του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου, ενώ της Αθήνας στο Θησείο. Με την πρόοδο των χρόνων η διαδρομή επεκτείνεται μέχρι την Ομόνοια και αργότερα προς την κατεύθυνση της Κηφισίας, ενώ το 1904 η γραμμή ηλεκτροδοτείται. Την περίοδο 1870-1880 δεν κατασκευάζεται καινούργιο δίκτυο παρά τα διάφορα σχέδια και προτάσεις από τον ελληνικό και από τον ευρωπαϊκό χώρο. Την άνοιξη του 1882 ύστερα από διαδοχικές

συνεδριάσεις στην Βουλή αποφασίζεται η κατασκευή καινούργιων σιδηροδρομικών διαδρόμων μεγάλων αποστάσεων με πλάτος 1 μέτρο (μετρική γραμμή) αντί της διεθνούς γραμμής 1,47 μέτρα. Η επιλογή της μετρικής γραμμής έγινε λόγω των οικονομικών πλεονεκτημάτων που προσέφερε.

Η εδαφική ιδιομορφία της χώρας μας σε συνδυασμό με της ήδη διαμορφωμένες συγκοινωνιακές συνθήκες ως προς τις θαλάσσιες μεταφορές, συντέλεσαν ώστε να μην προτιμηθεί η κατασκευή ενός μεγάλου και ενιαίου πλέγματος σιδηροδρομικών γραμμών που θα συνδέει τις περισσότερες πόλεις της τότε ελληνικής επικράτειας, αλλά πολλών μικρών, τοπικών και αυτόνομων δικτύων τα οποία συνέδεαν τις πόλεις και τις πεδινές περιοχές της ενδοχώρας με τα πλησιέστερα μεγάλα λιμάνια. Έτσι εάν ένας επιβάτης ήθελε να ταξιδέψει από μια πόλη σε άλλη αρκετά απομακρυσμένες μεταξύ τους, χρησιμοποιούσε διαδοχικά τρένο και ατμόπλοιο. Το ανάλογο ίσχυε και για τη μεταφορά των εμπορευμάτων. Πρέπει επίσης να προσθέσουμε ότι οι μεταφορές προς και από το εξωτερικό πραγματοποιούνταν αποκλειστικά με ατμόπλοια δεδομένου ότι μέχρι το 1920 δεν είχε λειτουργήσει ακόμη η σιδηροδρομική γραμμή που θα ένωνε την Ελλάδα με τις Βαλκανικές χώρες και κατ'επέκταση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές. Εκτός του δικτύου Αθήνα-Πειραιά το οποίο ήδη τις τοπικές διαδρομές, όπως π.χ. "οι Σιδηρόδρομοι Θεσσαλίας", οι "Σιδηρόδρομοι Αθηνών - Πειραιώς - Πελοποννήσου", "οι Σιδηρόδρομοι Πύργου-Κατακόλου" (Σ.Π.Υ.Κ), "οι Σιδηρόδρομοι Βορειοδυτικής Ελλάδας"(Σ.Β.Δ.Ε), "οι Σιδηρόδρομοι Αττικής" (Σ.Α), "οι Ελληνικοί Σιδηρόδρομοι" (Ε.Σ).

Το 1920 ιδρύεται η εταιρία των "Σιδηροδρόμων Ελληνικού Κράτους"(Σ.Ε.Κ) στην οποία ενσωματώνονται σιγά-σιγά όλα τα επιμέρους σιδηροδρομικά δίκτυα γραμμών διεθνούς πλάτους. Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο οι αλλαγές στις συγκοινωνιακές συνθήκες κάνουν τη λειτουργία των μικρού μήκους δικτύων ασύμφοροι και έτσι υπάγονται στα μεγαλύτερα. Επίσης οι Σιδηρόδρομοι Θεσσαλίας ενσωματώνονται το 1955 με τους ΣΕΚ [14].

Το 1971 πραγματοποιείται η ίδρυση του Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδας (ΟΣΕ) στον οποίο υπάγονται όλα τα σιδηροδρομικά μας δίκτυα εκτός από εκείνο των Ηλεκτρικών Σιδηροδρόμων που εξακολουθεί να παραμένει ανεξάρτητο ως αστικό. Στην πορεία, το 2005, ιδρύθηκε η ΤΡΑΙΝΟΣΕ Α.Ε.

### 2.3.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του σιδηροδρόμου

Το κύριο χαρακτηριστικό-πλεονέκτημα του σιδηροδρόμου είναι η αποκλειστική, συστηματική και προγραμματισμένη χρήση της οδού, που επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων, όπως και τη μεταφορά οχημάτων μεγάλης χωρητικότητας. Ως αποτέλεσμα έχουμε τη μείωση του κόστους, την παροχή ανέσεων στους επιβάτες και λόγω της μεγάλης χωρητικότητας, την σχεδόν ανύπαρκτη ανάγκη για κράτηση θέσεων και τη δυνατότητα μαζικών μετακινήσεων. Στην ελληνική περίπτωση δεν υπάρχει ορθολογικός οικονομικός συντονισμός μεταξύ των διαφορετικών μεταφορικών μέσων. Έτσι, παρά τις βελτιώσεις ορισμένων τμημάτων του σιδηροδρομικού συστήματος, η κυρίαρχη τάση φαίνεται να είναι αυτή της συρρίκνωσης και όχι αυτή της περαιτέρω ανάπτυξης του, που αναμφισβήτητα θα συνέτεινε στη μείωση του υψηλού κοινωνικού κόστους των ελληνικών μεταφορών.

Η αντικειμενική πραγματικότητα μας διδάσκει ότι, σε αντίθεση με τα άλλα μεταφορικά μέσα και κυρίως αυτά που χρησιμοποιούν το οδικό δίκτυο, ο σιδηρόδρομος αποτελεί μεταφορικό μέσο χαμηλού κοινωνικού κόστους. Αυτό γίνεται φανερό αν λάβει κανείς υπόψη τα παρακάτω δεδομένα.

#### 1. απώλεια ζωής

Σύμφωνα με τα υπάρχοντα στοιχεία, στις χώρες της ΕΟΚ για κάθε έναν θάνατο από σιδηροδρομικό δυστύχημα αντιστοιχούν 1.300 περίπου θάνατοι από οδικά δυστυχήματα.

#### 2. περιβάλλον

Ο σιδηρόδρομος προκαλεί σημαντικά μικρότερη ρύπανση και παραμόρφωση του περιβάλλοντος και σημαντικά μικρότερη ηχορύπανση σε σύγκριση με τα αυτοκίνητα.

#### 3. κυκλοφοριακή αποσυμφόρηση

Έχει εκτιμηθεί ότι ο σιδηρόδρομος απαιτεί περίπου το 8% μιας επιφάνειας που χρειάζονται τα αυτοκίνητα για να πραγματοποιήσουν το ίδιο μεταφορικό έργο.

#### 4. κατανάλωση καυσίμων

Σύμφωνα με μετρήσεις που έχουν γίνει, η κατανάλωση καυσίμων σε πολλές περιπτώσεις

μεταφορών με αυτοκίνητο φτάνει το τετραπλάσιο της αντίστοιχης με σιδηρόδρομο. Το ίδιο ισχύει και για άλλα στοιχεία του κόστους σε ταξίδια σχετικά μεγάλων αποστάσεων.

#### 5. άνεση ταξιδιού

Επιπρόσθετα, υπό ομαλές συνθήκες και εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην ελληνική περίπτωση υπάρχει ανάγκη βελτιώσεων, η άνεση του ταξιδιού και η κανονικότητα των δρομολογίων μπορεί να είναι υψηλότερης ποιότητας στην περίπτωση των σιδηροδρόμων από ό,τι π.χ. στα λεωφορεία. Ακόμη, η μέγιστη ταχύτητα εκμετάλλευσης μιας σύγχρονης επιβατηγού αμαξοστοιχίας έχει φτάσει σήμερα τα 260 χιλιόμετρα την ώρα, δηλαδή βρίσκεται σε σημαντικό υψηλότερο επίπεδο από αυτή που μπορεί να αποδώσουν τα μεταφορικά μέσα του οδικού δικτύου.

Βασικός λόγος για τη μειωμένη χρήση του σιδηροδρόμου είναι η μικρή ανταγωνιστικότητα αυτού σε σχέση με τις οδικές μεταφορές. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα από τα μειονεκτήματα του σιδηροδρόμου.

- Οι σιδηροδρομικές μεταφορές είναι λιγότερο αξιόπιστες σε σχέση με τις οδικές όσον αφορά το χρόνο μεταφοράς, ο οποίος είναι πολύ λιγότερο προβλέψιμος στην περίπτωση του σιδηροδρόμου. Σε κάποιες διεθνείς μεταφορές, οι χρόνοι παράδοσης έχουν διπλασιαστεί τα τελευταία χρόνια. Αυτό οφείλεται κυρίως στους μεγάλους χρόνους αναμονής κατά το ταξίδι καθώς άλλα τραίνα (κυρίως επιβατικά τραίνα) έχουν προτεραιότητα και εξαιτίας των πολύπλοκων διαδικασιών στα σύνορα (το προσωπικό των τραίνων και τα βαγόνια πρέπει να αλλάξουν εξαιτίας των διαφορών στα συστήματα σηματοδότησης από τη μία χώρα στην άλλη κλπ.).
- Οι διατυπώσεις είναι πιο χρονοβόρες και πιο σύνθετες σε όλα τα επίπεδα της διαδικασίας.
- Οι οδικές σε αντίθεση με τις σιδηροδρομικές μεταφορές παρέχουν υπηρεσίες από πόρτα σε πόρτα. Πρόσθετα, η ανάπτυξη των σιδηροδρομικών μεταφορών απαιτεί υψηλές επενδύσεις για την υποδομή αλλά και συντήρησης και γι' αυτό οι σιδηρόδρομοι είναι οικονομικά βιώσιμοι μόνο όταν εργάζονται συνεχώς και με πληρότητα φορτίου και επιβατών. Εξ' αιτίας αυτών των υψηλών αναγκών υποδομής καθώς επίσης και των μορφολογικών δυσκολιών που παρουσιάζονται ανά περιοχή,

γίνεται αντικοινωνική, δυσχερής και πολλές φορές αδύνατη η πρόσβαση μέσω αυτού του συστήματος προς και από τα σημεία που απαιτούν οι σύγχρονες μεταφορές.

Οι σιδηροδρομικές μεταφορές, όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζονται από υψηλό σταθερό κόστος και χαμηλό μεταβλητό. Εάν όμως αυξηθεί η απόσταση και τα τοννομίλια, το σταθερό κόστος κατανέμεται σε ολόένα περισσότερες μονάδες με συνέπεια να μειώνεται το συνολικό και να δημιουργούνται οικονομίες κλίμακας. Βασιζόμενοι στην υπόθεση ότι οι μεταβλητές δαπάνες έχουν υπολογισθεί από 1/3 έως 1/2 των συνολικών, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ο σιδηρόδρομος επιλέγεται και χρησιμοποιείται ως το οικονομικότερο μέσο για μέσες και μεγάλες αποστάσεις.

### **2.3.4 Η Ελληνική περίπτωση**

Τόσο σε περιπτώσεις ξένων χωρών όπως η αγγλική όσο και στην ελληνική περίπτωση, οι σιδηρόδρομοι δεν αναπτύχθηκαν ως συνέπεια συστηματικών αναπτυξιακών προγραμμάτων με στόχο τη γενική οικονομική ανάπτυξη της χώρας, αλλά αντίθετα αναπτύχθηκαν σποραδικά, με κριτήρια την αναμενόμενη ζήτηση, την προσφορά και κυρίως τη μεγιστοποίηση του ιδιωτικού κέρδους.

Η μονοπωλιακή θέση των σιδηροδρομικών δικτύων μέχρι τις πρώτες δεκαετίες του αιώνα μας συντέλεσε στη μη σωστή εκτίμηση του πραγματικού κόστους της εκμετάλλευσής τους. Σε κανένα σιδηροδρομικό δίκτυο από ό,τι γνωρίζουμε δεν ελήφθη υπόψη στους επιχειρηματικούς υπολογισμούς το οικονομικό κόστος απόσβεσης.

Επίσης, στο διάστημα της δεκαετίας του 1920 και μετά, για την περίπτωση πολλών δυτικών χωρών και αργότερα για την ελληνική περίπτωση, δηλαδή το 1950 και μετά, άρχισε να γίνεται φανερό ότι η σιδηροδρομική επιχείρηση δεν αποτελεί "φυσικό μονοπώλιο". Διάφορα αγαθά ελαφρού βάρους κατ' αρχήν, συμπεριλαμβανομένων και των επιβατών αρχίζουν να μεταφέρονται με το φορτηγό αυτοκίνητο και το υπεραστικό λεωφορείο και όσο περνάει ο χρόνος ο συναγωνισμός αυτός γίνεται οξύτερος προς ζημιά του σιδηροδρομικού δικτύου ή των σιδηροδρομικών δικτύων, τα οποία αρχίζουν να παρουσιάζουν σοβαρά ελλείμματα. Επιπλέον, πολλές σιδηροδρομικές επιχειρήσεις κρατικοποιούνται.

Η κύρια λειτουργία ενός σιδηροδρομικού δικτύου, όπως και γενικά ενός μεταφορικού δικτύου, είναι να γεφυρώσει την απόσταση ανάμεσα στους παραγωγούς και τους καταναλωτές των αγορών. Η απόσταση ανάμεσα στον παραγωγό και στον καταναλωτή είναι βασικά μια οικονομική απόσταση, δηλαδή μια απόσταση που καθορίζεται από το μεταφορικό κόστος. Επομένως, κάθε τρόπος που συντελεί στην ελαχιστοποίηση του πραγματικού μεταφορικού κόστους αποτελεί κοινωνικό όφελος όχι μόνο για εκείνους που χρησιμοποιούν τη μεταφορική υπηρεσία, αλλά για όλους εκείνους που εξαρτώνται απ'αυτή, μ'άλλα λόγια, ολόκληρο το κοινωνικό σύνολο.

Κατά καιρούς έχουν υπάρξει αρκετές αποσπασματικές προτάσεις για την είσοδο του ιδιωτικού τομέα στις σιδηροδρομικές μεταφορές, καθώς και τις αλλαγές που φέρνει η Κοινοτική Νομοθεσία.

Ο ΟΣΕ ιδρύθηκε το 1970 και λειτουργεί ως όμιλος εταιρειών παροχής υπηρεσιών, διαχείρισης και εκμετάλλευσης της Εθνικής Σιδηροδρομικής Υποδομής, εκτέλεσης των αναπτυξιακών έργων υποδομής και αξιοποίησης της ακίνητης περιουσίας.

Σήμερα ο ΟΣΕ έχει αναπτύξει το σιδηροδρομικό του δίκτυο στο μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής επικράτειας. Το συνολικό μήκος του δικτύου φτάνει τα 2479 χιλιόμετρα, και συγκεκριμένα εκτείνεται από την Αθηνά έως την Θεσσαλονίκη με μια διπλή γραμμή κανονικού πλάτους στο μεγαλύτερο μέρος της. Από την Θεσσαλονίκη καλύπτει όλη ίσως τη γεωγραφική έκταση της Β. Ελλάδας φτάνοντας δυτικά μέχρι την Φλώρινα και τη Κοζάνη και ανατολικά περνώντας από Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Ξάνθη, Κομοτηνή κ.λ.π φτάνει μέχρι τις τελευταίες συνοριακές περιοχές του Δ. Έβρου με μια μονή γραμμή κανονικού πλάτους. Στη Ν. Ελλάδα ξεκινώντας με βάση την Αθηνά, η γραμμή μετρικού πλάτους αυτή τη φορά, ενώνει κυκλικά τις πόλεις της Κορίνθου, Πάτρας, Αμαλιάδας, Πύργου, Καλαμάτας, Τρίπολης, Αργούς και Ναυπλίου με άλλους ενδιάμεσους σταθμούς. Επίσης αξίζει ν' αναφέρουμε τη γραμμή του οδοντωτού που ενώνει την Κόρινθο με το Λουτράκι και το Διακοφτό με τα Καλάβρυτα. Από τα 2479 χιλιόμετρα του σιδηροδρομικού δικτύου τα 1565 είναι δίκτυο κανονικής γραμμής, τα 892 είναι δίκτυο μετρικού πλάτους και οι λοιπές γραμμές τα 22 χιλιόμετρα.

Στην πορεία, το 2005 [24], ιδρύθηκε η ΤΡΑΙΝΟΣΕ Α.Ε αρχικά ως θυγατρική της εταιρείας

ΟΣΕ Α.Ε, με σκοπό την παροχή υπηρεσιών μεταφοράς επιβατών και εμπορευμάτων. Σήμερα, η εταιρία λειτουργεί ως ανεξάρτητη από τον Όμιλο ΟΣΕ εταιρία του ελληνικού δημοσίου, ενώ προς το παρόν αποτελεί μοναδική εταιρία παροχής σιδηροδρομικών μεταφορών στη χώρα μας, λειτουργώντας προαστιακά, εθνικά και περιφερειακά δρομολόγια. Μέσα από το δίκτυο, η ΤΡΑΙΝΟΣΕ Α.Ε μεταφέρει 15 εκατομμύρια επιβάτες και 4,5 εκατομμύρια τόνους εμπορευμάτων σε ετήσια βάση. Στο δίκτυο της ΤΡΑΙΝΟΣΕ, το οποίο απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα, υπάρχουν πάνω από 287 κόμβοι – στάσεις και κινούνται πάνω του πάνω από 300 δρομολόγια σε καθημερινή βάση.



Πηγή Εικόνας : <http://el.wikipedia.org/>

Εικόνα 2.1. Σιδηροδρομικό δίκτυο ΤΡΑΙΝΟΣΕ

### **2.3.5 Ο ρόλος των ελληνικών σιδηροδρόμων στο νέο σύστημα**

#### **Εμπορευματικές μεταφορές**

##### **α. Διεθνείς μεταφορές**

(ι) Η κατάσταση στη Βαλκανική σε συνδυασμό με την ανάπτυξη πρωτοβουλιών από την Ελλάδα στον τομέα των μεταφορών ώστε να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στα Βαλκάνια



στην προσπάθεια διαμόρφωσης ενός πλαισίου πολιτικής που κατανοεί τις διεθνείς τάσεις και διαμορφώνει τις δυνατότητες για συνεργασία της Βαλκανικής με την Κεντρική Ευρώπη. Προτεραιότητα θα πρέπει να δοθεί στο σαφή προσδιορισμό της έννοιας των σιδηροδρομικών διαδρομών ταχείας κυκλοφορίας.

(ii) Οι ελληνικές σιδηροδρομικές επιχειρήσεις μπορούν επίσης θεωρητικά να συμμετάσχουν στην πολύ σημαντική αγορά της Κεντρικής Ευρώπης. Υπογραμμίζεται η λέξη θεωρητικά διότι η δυνατότητα αυτή απαιτεί επιχειρήσεις ικανές να ανταγωνιστούν αυτές της Ελβετίας, της Αυστρίας, της Γερμανίας, ή της Ιταλίας.

#### β. Εθνικές μεταφορές

Σε αυτή την περίπτωση, η διάρθρωση της αγοράς αλλά και η γεωγραφική μορφή της χώρας είναι τέτοιες που περιορίζουν τον ανταγωνισμό. Ο φιλελευθερισμός στην εθνική αγορά δεν αναμένεται να διαφοροποιήσει την υφιστάμενη κατάσταση καθώς κρίνεται μάλλον δεδομένο ότι η μονοπωλιακή διάρθρωση της αγοράς θα συνεχιστεί.

#### **Επιβατικές μεταφορές**

Στις διεθνείς μεταφορές δεν υπάρχει -λόγω αποστάσεων- σημαντικό πεδίο για τους ελληνικούς σιδηροδρόμους. Από την άλλη πλευρά, στις εθνικές μεταφορές υπάρχουν περιθώρια ανταγωνισμού όχι μεταξύ των σιδηροδρομικών επιχειρήσεων αλλά μεταξύ σιδηροδρομικής αεροπορικής και επιβατικής μεταφοράς.

### **2.4 Οδικές Μεταφορές**

Εξαιτίας της ευκαμψίας και αξιοπιστίας που παρουσιάζουν οι οδικές μεταφορές ο όγκος του οδικώς μεταφερόμενου φορτίου έχει παρουσιάσει ραγδαία αύξηση τα τελευταία χρόνια, κατά 3,5% ετησίως για τα έτη 1980 έως 1996 και κατά 7% στην περίπτωση των διασυνοριακών φορτίων. Σήμερα μέσω του Ευρωπαϊκού οδικού δικτύου διακινείται περίπου το 75% σε σύγκριση με το 50% που ήταν το 1970 .

Οι οδικές μεταφορές έχουν επωφεληθεί από τη διαρθρωτική αλλαγή στη ζήτηση, η οποία

προσανατολίστηκε προς προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας και τις υπηρεσίες που παρέχουν στις επιχειρήσεις, κυρίως την ικανότητα διατήρησης αποθέματος σε χαμηλά επίπεδα (just in time). Οι οδικοί μεταφορείς μπορούν να παρέχουν ένα σύνολο υπηρεσιών και να μεταφέρουν μία μεγάλη ποικιλία προϊόντων σε μία ευρεία γεωγραφική περιοχή. Από το συνολικό τονάζ που μεταφέρεται στο οδικό δίκτυο της Ε.Ε., το 82% μεταφέρεται για λιγότερο από 150 χλμ. Στην περίπτωση των επιβατικών μεταφορών το βασικό όχημα που χρησιμοποιείται σήμερα είναι το ιδιωτικό αυτοκίνητο. Οι επιβάτες της Ε.Ε. ταξιδεύουν όλο και περισσότερο για διάφορους λόγους όπως το μεγαλύτερο εισόδημα, οι νέες γεωγραφικές τάσεις στην απασχόληση κλπ. Στους περισσότερους ανθρώπους το ιδιωτικό αυτοκίνητο προσδίδει μεγαλύτερη ευκαμψία στην καθημερινή μετακίνηση αλλά και στον ελεύθερο χρόνο. Από το 1970 έως το 1993 η μέση ημερήσια απόσταση ταξιδιού αυξήθηκε από 16,5 σε 31,5 χλμ [1].

## 2.4.1 Χαρακτηριστικά των οδικών μεταφορών

### ***Πλεονεκτήματα οδικών μεταφορών***

Η ανοδική πορεία που παρουσιάζει το μεταφορικό έργο των οδικών μεταφορών οφείλεται στα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει το μέσο, τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια:

- Έχει μεγαλύτερη ευελιξία από κάθε άλλο μεταφορικό μέσο. Επιλέγει ελεύθερα αφετηρία, δρομολόγιο και προορισμό έτσι ώστε να μπορεί να εκτελεί και ενδιάμεσες στάσεις. Εκτελεί μεταφορές από πόρτα σε πόρτα. Είναι μοναδικό στην εξυπηρέτηση ατομικών μεταφορικών αναγκών. Προσαρμόζεται στην επιθυμία του ανθρώπου από άποψη χρόνου, αφετηρίας, δρομολογίου και προορισμού και εξυπηρετεί άριστα ιδιωτικές επιχειρήσεις.
- Εκτελεί μεταφορά απ' ευθείας, από τους τόπους της παραγωγής στους τόπους της κατανάλωσης (από πόρτα σε πόρτα) και δεν απαιτεί μεταφόρτωση ούτε ειδικές εγκαταστάσεις, πλην των δρόμων.

- Συμπληρώνει τα σιδηροδρομικά και θαλάσσια μέσα μεταφοράς. Έχει προσαρμοστική ικανότητα ως προς τις εποχικές μεταφορές, γιατί μετακινείται κατά γεωγραφικές περιοχές για να εξυπηρετήσει το εκάστοτε και σε έκαστη περιοχή υπάρχον μεταφορικό έργο. Έτσι εξυπηρετεί καλύτερα τις κατά τόπους εποχικές μεταφορές.
- Είναι προσιτό και δεν έχει έξοδα διοικήσεως, ούτε δεσμεύει σοβαρό κεφάλαιο.
- Μπορεί να πολλαπλασιάζεται αναλόγως των εμφανιζόμενων αναγκών. Δεν επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες όπως το πλοίο και το αεροπλάνο. Έχει ικανοποιητική ταχύτητα, αυξανόμενη με τους καλούς δρόμους, πλέον όμως αυτού, μειώνει όμως σημαντικά το χρόνο ταξιδιού διότι εκτελεί μεταφορές από πόρτα σε πόρτα, απαλλασσόμενο άλλων καθυστερήσεων. Οι ιδιότητες αυτές κατέστησαν το αυτοκίνητο αναπόσπαστο στοιχείο της σύγχρονης ζωής του ανθρώπου, φορέα οικονομικής και εκπολιτιστικής δραστηριότητας αυτού.

Τα κυριότερα συγκριτικά πλεονεκτήματα των επί μέρους μεταφορικών μέσων, απέναντι στα υπόλοιπα, σε σχέση με την μεταφορά επιβατών, μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- Το επιβατικό αυτοκίνητο κυριαρχεί σε όλες τις μετακινήσεις μικρού και μεσαίου μήκους διαδρομής (μέχρι 250 - 300 χλμ), υπό την προϋπόθεση ότι δεν υπόκειται σε περιορισμούς κόστους μετακίνησης και στάθμευσης, καθώς και κυκλοφοριακής συμφόρησης. Προσφέρει άμεση διαθεσιμότητα, μικρό συνολικό χρόνο διαδρομής και άνεση κατά την μετακίνηση.
- Το λεωφορείο παρακολουθεί από κοντά την εμβέλεια και τα πλεονεκτήματα του επιβατικού αυτοκινήτου, εξασφαλίζοντας μικρότερο κόστος μετακίνησης σε σχέση με αυτό, αλλά ταυτόχρονα μεγαλύτερους χρόνους διαδρομής, περιλαμβανομένων και των χρόνων αναμονής, και λιγότερη άνεση κατά την μετακίνηση. Εκτός από εξαιρετικές περιπτώσεις υπόκειται στους ίδιους περιορισμούς της κυκλοφοριακής συμφόρησης όπως και το επιβατικό αυτοκίνητο αλλά είναι απαλλαγμένο από το πρόβλημα της στάθμευσης.

- Το τρένο αποκτά συγκριτικό πλεονέκτημα απέναντι στα οδικά μέσα (επιβατικό αυτοκίνητο, λεωφορείο) εκεί όπου εξασφαλίζει μικρότερο ή και ίσο συνολικό χρόνο μετακίνησης. Αυτό συμβαίνει επειδή ταυτόχρονα εξασφαλίζει μικρότερο κόστος μετακίνησης, σε σχέση με το επιβατικό αυτοκίνητο, ενώ προσφέρει περισσότερη άνεση και χρονική αξιοπιστία σε σχέση με το λεωφορείο. Επομένως οι διαδρομές στις οποίες το τρένο εμφανίζει συγκριτικό πλεονέκτημα απέναντι στα οδικά μέσα είναι, αφενός οι αστικές και προαστιακές μετακινήσεις, που πραγματοποιούνται συχνά μέχρι και σε καθημερινή βάση, κατά μήκος συμφορημένων οδικών διαδρομών (συνήθως μικρότερες ή ίσες με 100 -120 χλμ), και αφετέρου οι μετακινήσεις με μήκος διαδρομής πάνω από 250 - 300 χλμ. Σε αυτή τη τελευταία περίπτωση το τρένο εξασφαλίζει μικρότερο συνολικό χρόνο μετακίνησης, παρόλες τις πρόσθετες δυσκολίες πρόσβασης στο σταθμό και τον χρόνο αναμονής ανάμεσα στα δρομολόγια, χάρη στην υπερτριπλάσια ταχύτητα κίνησής του πάνω στο δίκτυο, σε σύγκριση με τα οδικά μέσα.

### ***Μειονεκτήματα οδικών μεταφορών***

Το κυριότερο μειονέκτημα των οδικών μεταφορών είναι ότι απαιτεί κατασκευή δρόμων και μάλιστα καλής ποιότητας. και δύναμη έλξεως μεγαλύτερη από το σιδηρόδρομο ή το πλοίο. Μάλιστα, ο συντελεστής ελεύθερης κυλίσεως αυτού επί του οδοστρώματος είναι 0,015-0,020. Οι δρόμοι υφίστανται κορεσμό και τότε η απόδοση μειώνεται.

Επιπλέον κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει το γεγονός ότι εντός των πόλεων εμφανίζεται οξύτατο πρόβλημα λόγω βραδύτατης κίνησης και έλλειψης χώρου στάθμευσης. Άλλωστε η χρήση των αστικών, εθνικών-διεθνών δρόμων κατέστησε αναγκαία τη θέσπιση πολύπλοκων κανονισμών κυκλοφορίας, ορίων ταχύτητας, περιορισμό των διαστάσεων και των φορτίων που μεταφέρονται. Έτσι οι οδικές μεταφορές σε λίγες περιπτώσεις εμφανίζονται ανταγωνιστικές σε σχέση με την ταχύτητα. Γι' αυτό το λόγο κι επειδή παρουσιάζουν υψηλό κόστος, κρίνονται κατάλληλες μόνο για μικρές και μεσαίες αποστάσεις.

Οι σταθερές δαπάνες είναι σχετικά χαμηλές, καθώς οι αυτοκινητόδρομοι δεν τους ανήκουν, οι τερματικοί σταθμοί δεν απαιτούν ιδιαίτερα υψηλά ποσά για κατασκευή και συντήρηση

και το όχημα αποτελεί μια σχετικά φθηνή οικονομική μονάδα. Από την άλλη πλευρά, οι μεταβλητές δαπάνες εμφανίζονται ιδιαίτερα υψηλές αν υπολογίσει κανείς το εργασιακό κόστος, το κόστος κατασκευής και συντήρησης της οδικής υποδομής που χρεώνεται τελικά στους χρήστες, τα καύσιμα, διόδια, τέλη κυκλοφορίας κλπ.

Παρουσιάζουν έντονες αντικονομίες σε θέματα περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, κατανάλωσης ενέργειας, ασφάλειας κατά τη μεταφορά.

Η πρώτη κατηγορία εξωτερικών οικονομιών αφορά στην μόλυνση του περιβάλλοντος. όπως δείχνει και ο παρακάτω πίνακας, ο τομέας των μεταφορών είναι υπεύθυνος για μεγάλο ποσοστό των εκπομπών ρύπων και συγκεκριμένα το οδικό δίκτυο φαίνεται να επιβαρύνει περισσότερο την ατμόσφαιρα.

Πίνακας 2.4  
Εκπομπές Ρύπων CO<sub>2</sub> (εκ. Τόννοι)

	1985		1990		1996	% of EU
	90/85 % p.a.		96/90 % p.a.			
<b>EU 15</b> (14% of world)	<b>2998.3</b>	<b>+0.6</b>	<b>3088.5</b>	<b>+0.3</b>	<b>3149.0</b>	100
<b>Electricity and heat prod. Energy branch</b>	926.2	+1.4	994.2	-0.8	948.2	30
<b>Industry</b>	127.1	+0.9	132.9	+1.9	149.2	5
<b>Households, commerce</b>	625.8	-1.4	581.8	-1.4	534.7	17
<b>Transport</b>	733.9	-2.6	641.8	+1.3	691.5	22
<i>of which :</i>						
<b>Railways (1)</b>	585.3	+4.7	737.8	+1.9	825.4	26
<b>Road transport</b>	11.7	-4.9	9.1	-1.3	8.4	0
<b>Air transport</b>	499.7	+4.6	626.1	+1.7	693.9	22
<b>Inland navigation (2)</b>	61.5	+5.9	62.0	+3.7	101.7	3
	12.4	+10.7	20.6	+0.4	21.1	1

Source : Eurostat

Notes : (1) : without fossil fuel for electricity production  
(2) : including passenger transport and leisure boating

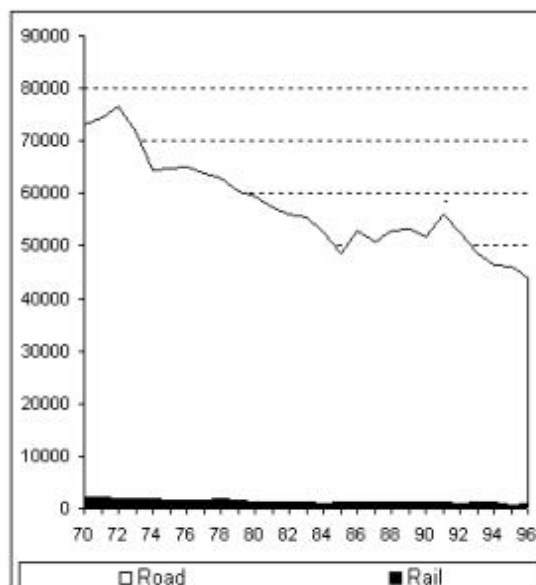
Επίσης, η συμφόρηση στους ευρωπαϊκούς αυτοκινητοδρόμους αποτελεί μία σημαντική πηγή κόστους καθώς περιορίζει τις οδικές ροές και αυξάνει το χρόνο του ταξιδιού. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει αυξημένες ώρες εργασίας του προσωπικού και το οχήματος. Οι συμφορήσεις αποτελούν κύριο χαρακτηριστικό του οδικού συστήματος μεταφοράς. Σήμερα, σύμφωνα με σχετικές μελέτες το κόστος της συμφόρησης υπολογίζεται σε 120 δις ECU ή αλλιώς 2% του συνολικού ΑΕΠ της Ε.Ε..

Πρόσθετα κοινωνικά κόστη προκύπτουν από τα ατυχήματα, τα οποία αποτελούν τη σημαντικότερη ίσως αρνητική εξωτερική επίδραση του συστήματος των μεταφορών. Όπως

δείχνει και ο παρακάτω πίνακας, το μεγαλύτερο μερίδιο ατυχημάτων και θανάτων κατέχει διαχρονικά το οδικό δίκτυο.

Αρνητικό γεγονός είναι ότι η Ελλάδα ανήκει στη μειοψηφία των χωρών, μαζί με την Ισπανία και την Πορτογαλία, στις οποίες αυξήθηκαν τα θανατηφόρα ατυχήματα, από 931 άτομα το 1970 σε 2531 άτομα το 1996, περίπου δηλαδή 30%, μέσα σε 26 χρόνια. Από την άλλη πλευρά, ο αριθμός των νεκρών από ατυχήματα στο σύνολο της Ε.Ε. έχει μειωθεί από 1970 κατά 40%. Από την άλλη πλευρά, τα αυτοκινητιστικά ατυχήματα, τα οποία αφορούν μόνο τραυματισμό ανθρώπων κι όχι θάνατο, έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια και συνεχίζουν να αυξάνονται σε οχτώ από τις 15 χώρες-μέλη της Ε.Ε, ενώ μειώνονται σε εφτά από αυτές. Σαν σύνολο όμως από το 1970 μέχρι το 1997, τα ατυχήματα στους δρόμους της Ε.Ε. έχουν μειωθεί κατά 7% (από 1.390.000 τραυματισμούς το 1970, το 1997 μειώθηκαν σε 1.270.000 τραυματισμούς). Η χώρα μας και σε αυτή την κατηγορία αυτοκινητιστικών ατυχημάτων, όπως και των θανατηφόρων ανήκει στην ομάδα των ευρωπαϊκών χωρών που έχουν αυξήσει τον αριθμό των τραυματιών τους γύρω στο 30%. Τα κόστη αυτά υποσκάπτουν την Ευρωπαϊκή ανταγωνιστικότητα, τη στιγμή που η μεταφορική ζήτηση απαιτεί ευκαμψία, αξιοπιστία και οικονομική αποδοτικότητα. Εάν ο τομέας των μεταφορών δεν λάβει υπόψη του τις μεταφορικές απαιτήσεις ανεξάρτητα από το μέσο και δεν χρησιμοποιήσει τις χωρητικότητες των άλλων μέσων, η οδική μεταφορά αναμένεται να ακολουθήσει αυξητική πορεία αποκτώντας μερίδιο αγοράς 72% (από περίπου 50% το 1970).

Διάγραμμα 2.1  
**Θανατηφόρα ατυχήματα**  
**(αριθμός νεκρών)**



Πηγή: EU Transport in Figures Statistical Pocket Book 1999

Πίνακας 2.5  
**Θανατηφόρα Δυστυχήματα**

Εναέριες μεταφορές		Θαλάσσιες μεταφορές	
Μέσος ετήσιος αριθμός		Συνολικός αριθμός	
1970-79	244	1991	1204
1980-89	107	1992	246
1990-95	69	1993	504
1996	18	1994	1552
1997	1	1995	379
1998	27	1996	690

Πηγή: EU Transport in Figures Statistical Pocket Book 1999

### **Η απελευθέρωση των Οδικών μεταφορών στην Ευρώπη**

Λαμβάνοντας υπόψη μία σειρά περιορισμών σε θέματα κοινωνικά, οικονομικά αλλά και πολιτικά η Ε.Ε. έχει προβεί μέσα από πολυάριθμους κανονισμούς στην απελευθέρωση

του τομέα των μεταφορών με στόχο την εξασφάλιση μίας ενιαίας αγοράς για τον ευρωπαϊκό χώρο.

Στον τομέα των οδικών μεταφορών, η καθιέρωση μιας κοινής πολιτικής μεταφορών έχει ως αποτέλεσμα, μεταξύ άλλων, τη θέσπιση κοινών κανόνων που εφαρμόζονται κατά την πρόσβαση στην αγορά των οδικών εμπορευματικών μεταφορών στο έδαφος της Κοινότητας. Οι κανόνες αυτοί πρέπει να θεσπιστούν έτσι ώστε να συμβάλλουν στην υλοποίηση της εσωτερικής αγοράς μεταφορών. Αυτή η ομοιόμορφη ρύθμιση, για την ενοποίηση της αγοράς των οδικών μεταφορών, περιλαμβάνει τα εξής βασικά σημεία:

- ελευθερία κινήσεως (διεθνείς μεταφορές και cabotage),
- ελεύθερη είσοδος στο επάγγελμα του οδικού μεταφορέα,
- δικαίωμα εγκατάστασης,
- ομοιόμορφη πολιτική κομίστρων,
- ομοιόμορφες συνθήκες εργασίας,
- εναρμόνιση στον φορολογικό τομέα
- κατάργηση των τελωνειακών διατυπώσεων και συνοριακών ελέγχων,
- εναρμόνιση τεχνικών προδιαγραφών,
- ανάπτυξη μηχανισμού κρίσεως,
- παρακολούθηση της αγοράς.

Εξίσου σημαντικό είναι ο τομέας των μεταφορών στην Ευρώπη να συμπληρώνει την όχι μόνο την οικονομική αλλά και κοινωνική αποστολή του, κάτω από τις ευνοϊκότερες περιβαλλοντικές συνθήκες. Βασική προϋπόθεση είναι η επίτευξη των παραπάνω να μην οδηγήσει σε αύξηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και η ενοποίηση της αγοράς να στηρίζεται σε ένα καθ' όλα οικολογικό σύστημα.

Η ελευθερία κινήσεως στο χώρο της Κοινότητας αφορά αφενός την ελεύθερη παροχή μεταφορικών υπηρεσιών στις διεθνείς μεταφορές και αφετέρου την άρση των εμποδίων και των φραγμών κατά την εκτέλεση εθνικών μεταφορών (cabotage). Η πρώτη περίπτωση αφορά στην πρόσβαση στην αγορά των οδικών εμπορευματικών μεταφορών εντός της Κοινότητας, οι οποίες έχουν ως σημείο αναχώρησης ή προορισμού το έδαφος κράτους μέλους ή διέρχονται από το έδαφος ενός ή περισσότερων κρατών μελών. Η ελευθερία εξασφαλίζεται με την κατάργηση των κοινοτικών ποσοτώσεων, των κοινοτικών και



διμερών αδειών. Η δεύτερη περίπτωση αναφέρεται στην απελευθέρωση των ενδομεταφορών και αφορά τους όρους υπό τους οποίους γίνονται δεκτοί στις εθνικές οδικές εμπορευματικές μεταφορές σ' ένα κράτος μεταφορείς μη εγκατεστημένοι σ' αυτό.

Η ρύθμιση για την πρόσβαση στην αγορά των οδικών εμπορευματικών μεταφορών περιλαμβάνει ένα σύστημα πρόσβασης στην αγορά των διεθνών οδικών μεταφορών χωρίς ποσοτικούς περιορισμούς (ποσοτώσεις) και κοινοτικές ή διμερείς άδειες. Συγκεκριμένα, απέναντι στην αναγκαιότητα της εγκαθίδρυσης της εσωτερικής αγοράς το Συμβούλιο των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων για πρώτη φορά το 1988, με κανονισμό της 21ης Ιουλίου, αποφάσισε την προοδευτική κατάργηση από 1η Ιανουαρίου 1993 όλων των ποσοτώσεων για τις οδικές εμπορευματικές μεταφορές και την αντικατάστασή τους από ένα σύστημα, το οποίο θα περιλαμβάνει κοινοτικές άδειες, που θα παρέχονται βάσει ποιοτικών κριτηρίων και δεν θα συνεπάγεται ποσοτώσεις.

Από την 1 η Ιουλίου 1998, έχει επέλθει ενοποίηση και στις εθνικές εμπορευματικές μεταφορές. Μέχρι τότε ίσχυαν οι λεγόμενες «άδειες καμποτάζ», οι οποίες έδιναν σε έναν μεταφορέα το δικαίωμα να εκτελεί ενδομεταφορές σε κράτος μέλος άλλο από αυτό στο οποίο είχε έδρα ή εγκατάσταση για ένα μικρό χρονικό διάστημα του ενός ή δύο μηνών. Σήμερα, η αγορά έχει απελευθερωθεί και πλέον κάθε μεταφορέας έχει το δικαίωμα να εκτελεί ελεύθερα μεταφορές σε κάθε κράτος μέλος της Ε.Ε. Σύμφωνα με την Ε.Ε 28 , το δικαίωμα άσκησης του επαγγέλματος του μεταφορέα έχει κάθε επιχείρηση, που επιθυμεί να δραστηριοποιηθεί επαγγελματικά στον τομέα των οδικών εμπορευματικών μεταφορών, έναντι αμοιβής με φορτηγά αυτοκίνητα μεγαλύτερα των 3,5 τόνων ωφέλιμου φορτίου ή συνολικού επιτρεπόμενου βάρους φορτίου άνω των 6 μετρικών τόνων.

Οι βασικές προϋποθέσεις για την πρόσβαση στο επάγγελμα του οδικού μεταφορέα εμπορευμάτων είναι :

- (α) εχέγγυα αξιοπιστίας,
- (β) οικονομική επιφάνεια,
- (γ) επαγγελματική ικανότητα.

Το δικαίωμα της εγκατάστασης των υπηκόων ενός κράτους μέλους στην επικράτεια ενός άλλου καθορίζεται από τα άρθρα 52 έως 58 της συνθήκης της Ρώμης 29 . Συγκεκριμένα

καταργούνται σταδιακά οι περιορισμοί στις εξής δραστηριότητες:

α) την εγκατάσταση των υπηκόων ενός κράτους μέλους στην επικράτεια ενός άλλου κράτους μέλους,

β) την ίδρυση πρακτορείων, υποκαταστημάτων ή θυγατρικών εταιρειών από τους υπηκόους ενός κράτους μέλους που είναι εγκαταστημένοι σε άλλο κράτος μέλος,

γ) την ανάληψη και άσκηση μη μισθωτών δραστηριοτήτων αλλά και τη σύσταση και τη διαχείριση επιχειρήσεων και εταιρειών, σύμφωνα όμως με τις προϋποθέσεις, που ορίζονται από τη νομοθεσία της χώρας εγκαταστάσεως για τους δικούς της υπηκόους αλλά και με την επιφύλαξη των διατάξεων της συνθήκης σχετικά με την κυκλοφορία του κεφαλαίου.

Αναφορικά με την εναρμόνιση της τιμολογιακής πολιτικής στα πλαίσια της οδικής ενοποίησης, πρέπει κατ' αρχήν να τονιστεί η κατάργηση της διάκρισης τιμών, με στόχο την προστασία των εθνικών μεταφορικών συμφερόντων, από τη συνθήκη της Ρώμης.

Έτσι λοιπόν ενισχύσεις 30 , που χορηγούνται υπό οποιαδήποτε μορφή από τα κράτη ή με κρατικούς πόρους και που νοθεύουν ή απειλούν να νοθεύσουν τον ανταγωνισμό με την ευνοϊκή μεταχείριση ορισμένων μεταφορικών επιχειρήσεων είναι ασυμβίβαστες με την κοινή αγορά. Οι μόνες ενισχύσεις, που συμβιβάζονται με την κοινή αγορά είναι αυτές που παρέχονται για λόγους περιφερειακής ανάπτυξης, αναβάθμισης του περιβάλλοντος, βιομηχανικής αναδιάρθρωσης, κοινωνικής πολιτικής, οικονομικής ανάπτυξης, ερευνητικής δραστηριότητας, προώθησης σχεδίων κοινού ενδιαφέροντος ή άρσης σοβαρής διαταραχής.

Με τον κανονισμό 31 της 21ης Δεκεμβρίου καταργείται κάθε περιορισμός κατά την διαμόρφωση των κομίστρων, τα οποία από 1η Ιανουαρίου 1990 διαμορφώνονται ελεύθερα μεταξύ των συμβαλλόμενων στη σύμβαση μεταφοράς. Ο κανονισμός εφαρμόζεται στις οδικές εμπορευματικές μεταφορές για λογαριασμό τρίτου μεταξύ των κρατών μελών έστω και αν κατά τη διάρκεια των μεταφορών ένα τμήμα της διαδρομής πραγματοποιείται:

- υπό διαμετακόμιση μέσω τρίτης χώρας,
- με οδικό όχημα το οποίο, χωρίς μεταφόρτωση των εμπορευμάτων, φορτώνεται σε άλλο μεταφορικό μέσο.

Συνεπώς, στις διεθνείς οδικές εμπορευματικές μεταφορές τα κόμιστρα καθορίζονται ελεύθερα μεταξύ των ενδιαφερομένων, κάτι το οποίο δεν ισχύει στις εθνικές μεταφορές.

Υπάρχουν δύο συστήματα τιμολόγησης, των ενδεικτικών κομίστρων και αυτό του καθορισμού ανώτατων και κατώτατων ορίων. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τα κόμιστρα αναφοράς και στη δεύτερη τα αμφοριακά κόμιστρα. Κάθε μορφή εξυπηρετεί διαφορετικά συμφέροντα και αντανakλά τις διαφορετικές σκοπιές από τις οποίες αντιμετωπίζεται το θέμα του καθορισμού των ναύλων.

Έτσι λοιπόν, με το σύστημα των αμφοριακών κομίστρων επιτυγχάνεται κάποια σταθερότητα στην αγορά καθώς απαγορεύεται ο αθέμιτος ανταγωνισμός και η μονοπωλιακή εκμετάλλευση ενώ την ίδια στιγμή εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα των επιχειρήσεων (αφού στο «μέσο» κόστος μεταφοράς περιλαμβάνεται και ένα λογικό ποσό κέρδους). Αντίθετα, με τα κόμιστρα αναφοράς εντείνεται ο ανταγωνισμός, ενώ βασικός στόχος των μεταφορικών επιχειρήσεων είναι η αύξηση της παραγωγικότητας και συμπίεση του κόστους. Βέβαια η τιμή αναφοράς δεν περιορίζει απόλυτα τις επιχειρήσεις αλλά αποτελεί ενδεικτικό σημείο για το επίπεδο στο οποίο θα διαμορφωθούν οι ναύλοι, με στόχο τη διασφάλιση της βιωσιμότητας των επιχειρήσεων.

Αναφορικά με τις συνθήκες εργασίας βασικός στόχος είναι η βελτίωση των συνθηκών εργασίας και της οδικής ασφάλειας. Τα θέματα στα οποία δίνεται ιδιαίτερη έμφαση είναι τα εξής:

- επιλογή πληρώματος
- καθορισμός του χρόνου οδήγησης,
- διαλείμματα και περίοδοι αναπαύσεως.

Η εναρμόνιση των φορολογικών επιβαρύνσεων αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ενοποίηση και την αποτελεσματική λειτουργία της Ενιαίας Αγοράς, καθώς προωθεί την εναρμόνιση των συνθηκών ανταγωνισμού στην Κοινότητα και την επίτευξη της Κοινής αγοράς. Κύρια επιδίωξη είναι η κατάργηση από 1η Ιανουαρίου 1993 των ελέγχων για φορολογικούς σκοπούς στα εσωτερικά σύνορα της Κοινότητας.

Στις 21 Δεκεμβρίου 1989 εκδόθηκε κανονισμός με τον οποίο καταργούνται, από την 1η Ιουλίου 1990, μια σειρά από έλεγχοι και επιθεωρήσεις στα σύνορα, που διενεργούνται βάσει της κοινοτικής ή εθνικής νομοθεσίας, στους τομείς των οδικών μεταφορών, οι οποίοι δεν θα διεξάγονται πλέον ως έλεγχοι στα σύνορα, αλλά μόνο στα πλαίσια των συνήθων ελέγχων, που διενεργούνται κατά τρόπο που να μην εισάγουν διακρίσεις σε όλο το έδαφος ενός κράτους μέλους. Οι έλεγχοι αυτοί αφορούν τα μεταφορικά μέσα που έχουν πάρει άδεια κυκλοφορίας ή έχουν τεθεί σε κυκλοφορία σε ένα κράτος μέλος.

Η ύπαρξη διαφορών μεταξύ των προδιαγραφών, που ισχύουν στα κράτη μέλη σχετικά με το βάρος και τις διαστάσεις των οδικών οχημάτων επαγγελματικής χρήσης μπορούν να προκαλέσουν στρεβλώσεις στις συνθήκες ανταγωνισμού και να παρεμποδίσουν την κυκλοφορία μεταξύ των κρατών μελών, στα πλαίσια της ενοποιημένης αγοράς των οδικών μεταφορών.

Με κύριο στόχο την υλοποίηση της εσωτερικής αγοράς, κυρίως όσον αφορά την αυτή των διεθνών οδικών μεταφορών εμπορευμάτων, είναι απαραίτητο να θεσπιστεί κοινοτικός μηχανισμός διασφάλισης, προκειμένου να αντιμετωπιστούν ενδεχόμενες σοβαρές διαταραχές της εν λόγω αγοράς και να επανορθώνονται. Η Επιτροπή συλλέγει τα απαραίτητα στοιχεία για να μπορεί να παρακολουθεί την εξέλιξη της αγοράς και να αναγνωρίζει την ενδεχόμενη κρίση. Οι στόχοι της Κοινότητας στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος είναι οι εξής:

- α) Διατήρηση, προστασία και βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος.
- β) Συμβολή στην προστασία της υγείας των προσώπων.
- γ) Εξασφάλιση συνετής και ορθολογικής χρησιμοποίησης των φυσικών πόρων.

Η απελευθέρωση της αγοράς των οδικών εμπορευματικών μεταφορών και η ενίσχυση του ανταγωνισμού αναμένεται να προκαλέσει θετικές επιδράσεις στις επιχειρήσεις της Κοινότητας στις εξής κατηγορίες:

- α) αποτελεσματική μετακίνηση των παραγωγικών συντελεστών εντός της Κοινότητας.
- β) αύξηση της αποτελεσματικότητας των επιχειρήσεων του κλάδου και εξορθολογισμός των παραγωγικών δομών καθώς και τιμές πλησιέστερες στο κόστος παραγωγής.
- γ) το μέγεθος των μονάδων παροχής μεταφορικών υπηρεσιών θα τείνει προς το άριστο, θα

δημιουργηθούν οικονομίες κλίμακας και κατά συνέπεια το κόστος παραγωγής μεταφορικών υπηρεσιών θα μειωθεί. Επίσης οι επιχειρήσεις θα προβούν σε συγχωνεύσεις, εξαγορές αλλά και αναπροσαρμογές ώστε να μπορέσουν να αξιοποιήσουν το συγκριτικό πλεονέκτημα.

δ) το κόστος παροχής μεταφορικών υπηρεσιών θα μειωθεί επίσης και εξαιτίας της κατάργησης των συντοριακών ελέγχων, οπότε θα αποφευχθούν οι καθυστερήσεις και θα μειωθούν τα εσωτερικά κόστη των επιχειρήσεων.

ε) θα προαχθεί η ασφάλεια στους δρόμους της Ε.Ε. εξαιτίας της επιβολής κανονισμών σχετικά με την μεταφορά των επικίνδυνων φορτίων, τις ώρες εργασίας και ανάπαυσης των οδηγών αλλά και των απαραίτητων τεχνικών προδιαγραφών των αυτοκινήτων.

### **Επενδύσεις στις οδικές μεταφορές**

Στις μεταφορές, οι δημόσιες επενδύσεις αφορούν κυρίως τα δίκτυα υποδομής τα οποία σχετίζονται περισσότερο με μακροχρόνιες επιδιώξεις και με ευρύτερα κοινωνικοοικονομικά κριτήρια και λιγότερο με το προϊόν του κλάδου. Στις οδικές μεταφορές το μεγαλύτερο ποσοστό των επενδύσεων για την υποδομή αφορά τη συντήρηση και τις μικροβελτιώσεις της υφιστάμενης υποδομής. Παρ' όλο που η ζήτηση μεταφορών αυξήθηκε, οι επενδύσεις για τα έργα υποδομής μεταφορών στην Κοινότητα μειώθηκαν μεταξύ 1975 και 1980 από 1,5% (του συνολικού ΑΕΠ) στο 1,2%, ενώ το ποσοστό επενδύσεων σταθεροποιήθηκε στο 1%, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1980 – 1990. Αν και υπάρχουν ετήσιες διακυμάνσεις, από την γενική εικόνα της δεκαετίας 1980 -1990 φαίνεται ότι η οδική υποδομή αντιστοιχεί σε πάνω από το 66% της συνολικής δαπάνης, με μικρή πτωτική τάση.

Γεγονός είναι ότι ο συνδυασμός των μεγάλων αυξήσεων στη ζήτηση και της μείωσης των επενδύσεων στο οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο έχει προκαλέσει σήμερα προβλήματα χωρητικότητας. Αλλά και οι επενδύσεις στα αεροδρόμια, σε συνδυασμό με τους προβληματικούς μηχανισμούς ελέγχου κυκλοφορίας, έχουν αποδειχθεί ανεπαρκείς να ικανοποιήσουν την αυξανόμενη ζήτηση. Ένα άλλο πολύ σημαντικό φαινόμενο που χαρακτήρισε τα προηγούμενα χρόνια ήταν η εξέλιξη του τομέα μεταφορών σε έναν από τους κύριους παράγοντες μόλυνσης της ατμόσφαιρας. Ο τομέας μεταφορών επίσης ευθύνεται για την αύξηση των ατυχημάτων, καθώς και για την αύξηση κατανάλωσης μη ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν βαθύτατα κάθε μελλοντικό σχεδιασμό.

Η ενοποίηση της εσωτερικής αγοράς μετά το 1992 [2] επέβαλλε την ανάπτυξη ενός σύγχρονου ευρωπαϊκού δικτύου υποδομών στις μεταφορές, που να μπορεί να ανταποκριθεί στις αναμενόμενες αυξημένες ανάγκες για ανταλλαγές εμπορευμάτων και υπηρεσιών μεταφοράς επιβατών. Η διευκόλυνση της σύνδεσης των περιφερειακών χωρών με την Κεντρική Ευρώπη με δρόμους ταχείας κυκλοφορίας είναι, εξάλλου, απαραίτητος όρος για την πρόωθηση της οικονομικής και κοινωνικής συνοχής.

Ο σχεδιασμός ενός ευρωπαϊκού δικτύου πρέπει να αποβλέπει στην ισόρροπη ανάπτυξη των συναλλαγών, με έμφαση στις περιφερειακές λιγότερο αναπτυγμένες χώρες, ώστε να εξασφαλιστούν οι συνθήκες για την πλήρη συμμετοχή τους στην οικονομική και κοινωνική ζωή της Κοινότητας. Η ανάπτυξη του δικτύου αυτού θα πρέπει βέβαια, να λαμβάνει υπόψη τις απαιτήσεις της πολιτικής για την προστασία του περιβάλλοντος. Επιπλέον, με την κατασκευή ενός νέου δικτύου μπορεί να προωθηθεί η τεχνολογική ανάπτυξη και να διευρυνθεί η αγορά στις νέες τεχνολογίες. Ο προγραμματισμός και ο συντονισμός των έργων υποδομής σε κοινοτικό επίπεδο συντελεί στην αποφυγή του κατακερματισμού των έργων, που στη συνέχεια οδηγεί στη μείωση του κόστους και στην αύξηση της παραγωγικότητας, καθώς και στη διευκόλυνση της συνοχής των αποφάσεων για έργα υποδομής με τις άλλες προτεραιότητες των άλλων κοινοτικών πολιτικών, όπως βιομηχανικής, περιβάλλοντος, απασχόλησης κ.λ.π.

Μέχρι τα τελευταία χρόνια, το θέμα της υποδομής των μεταφορών στα κράτη-μέλη αντιμετωπιζόταν βασικά σαν εθνικό θέμα. Την τελευταία όμως δεκαετία παρατηρήθηκε μια αύξηση των μεταφορών μεταξύ των κρατών-μελών, που ξεπέρασε κατά πολύ την αντίστοιχη αύξηση των εθνικών μεταφορών και προβλέπεται ότι, η αύξηση αυτή θα συνεχιστεί με τον ίδιο και ίσως και γρηγορότερο ρυθμό με την ολοκλήρωση της Ευρωπαϊκής ενοποίησης.

Έτσι, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε τη δημιουργία ενός κοινοτικού ταμείου που σκοπός του θα είναι η χρηματοδότηση έργων υποδομής με κοινοτικό ενδιαφέρον. Σαν έργα κοινοτικού ενδιαφέροντος χαρακτηρίζονται εκείνα που:

- α. Αφορούν διαδρομές διέλευσης συνόρων.
- β. Έχουν σημαντική επίδραση στη συγκοινωνία μεταξύ κρατών-μελών ή με τρίτες χώρες.

- γ. Επηρεάζουν την κοινοτική πολιτική και κυρίως την περιφερειακή
- δ. Καθιερώνουν νέα τεχνολογία μεταφοράς, που εφαρμόζεται στις υπεραστικές συγκοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

### **Το ελληνικό οδικό δίκτυο**

Με βάση το Ν. 3155/1955, το οδικό δίκτυο της χώρας διακρίθηκε σε εθνικό<sup>34</sup> –το οποίο από το 1970 διακρίθηκε σε βασικό και δευτερεύον- και επαρχιακό. Στο “νομοθετημένο” δίκτυο δεν περιλαμβάνονταν το κοινοτικό και το αγροτικό/δασικό δίκτυο της χώρας.

Σχετικά με το εθνικό οδικό δίκτυο της χώρας, σημειώνεται ότι σταθμό αποτέλεσε η ολοκλήρωση της κατασκευής –γύρω στα 1970- των τότε νέων εθνικών οδών: Αθήνας-Θεσσαλονίκης, Αθήνας-Κορίνθο-Πάτρας, Αντιρρίου-Ιωαννίνων και του Βορείου άξονα της Κρήτης.

Με βάση τον αριθμό των τροχοφόρων που κυκλοφορούσαν την εποχή εκείνη και σε σύγκριση με το παρελθόν, η εξυπηρέτηση που απολάμβαναν οι χρήστες στις υπεραστικές μετακινήσεις τους μετά την ολοκλήρωση των οδών αυτών εθεωρείτο αρκετά ικανοποιητική. Στη συνέχεια όμως και παρά τις προσπάθειες που καταβλήθηκαν δε βελτιώθηκε ανάλογα το επίπεδο εξυπηρέτησης που απολάμβαναν οι χρήστες. Το οδικό δίκτυο εκείνης της εποχής εθεωρείτο ανεπαρκές τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, σχετικά με τις ανάγκες που υπήρχαν. Ο κυριότερος λόγος γι’ αυτό ήταν ότι η αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας του οδικού δικτύου δεν ακολούθησε την πραγματικά εντυπωσιακή αύξηση που σημειώθηκε στον αριθμό των τροχοφόρων που κυκλοφορούσαν στον ελληνικό χώρο.

Ενδεικτικά σημειώνεται ότι το 1986 ο συνολικός αριθμός των οχημάτων που κυκλοφορούσε ήταν 2.181.170 – ΙΧ ΕΑ 1.330.710 – σε σύγκριση με 227.111 – ΙΧ ΕΑ 104.257 που ήταν το 1965 [3]. Στην περιορισμένη αύξηση της κυκλοφοριακής ικανότητας του οδικού δικτύου αντανακλάται το σχετικά – με τις ανάγκες που υπάρχουν χαμηλό ποσό των πιστώσεων που διατέθηκαν για το εθνικό οδικό δίκτυο στην περίοδο από το 1970 και μετά. Αυτό είχε σαν συνέπεια να μην κατασκευαστούν καινούργια μεγάλα έργα, να παραμεληθεί η συντήρηση και να δοθεί αναγκαστικά έμφαση σε τοπικές μικρές βελτιώσεις του υφιστάμενου δικτύου. Έτσι από τις αρχές της δεκαετίας του ’80 το εθνικό οδικό δίκτυο

παρουσίαζε την ακόλουθη εικόνα:

- Δεν είχε καθόλου αυτοκινητόδρομους (πλην μικρών τμημάτων),
- Όλοι σχεδόν οι δρόμοι περνούν μέσα από αστικά κέντρα και οικισμούς, με δυσμενείς επιπτώσεις τόσο για τη διερχόμενη κυκλοφορία όσο και για το περιβάλλον και την ποιότητα ζωής των πόλεων και των οικισμών,
- Οι δείκτες τροχαίων ατυχημάτων είναι από τους υψηλότερους στην Ευρώπη,
- Από πλευράς επιπέδου εξυπηρέτησης, μόνο το 19% εξασφάλιζε ικανοποιητικό επίπεδο, ενώ το 51% εξασφάλιζε κακό επίπεδο εξυπηρέτησης,
- Από πλευράς πλάτους οδοστρώματος μόνο 11% του δικτύου μπορούσε να χαρακτηριστεί ως καλό, ενώ 42% εθεωρείτο κακό.

### **Οι οδικές μεταφορές στην Ελλάδα**

Η ανάγκη κατασκευής αυτοκινητοδρόμων στην Ελλάδα έχει γίνει σαφής από πολλά χρόνια εξ αιτίας των κυκλοφοριακών φόρτων και της κυκλοφοριακής συμφόρησης που παρουσιάζονται σε πολλά τμήματα του οδικού δικτύου, σε συνδυασμό με τον δυσανάλογα μεγάλο αριθμό τροχαίων ατυχημάτων. Όμως, οι λόγοι για τους οποίους πρέπει να προωθηθεί άμεσα ένα ευρύ πρόγραμμα κατασκευής αυτοκινητοδρόμων και οδών ταχείας κυκλοφορίας είναι ευρύτεροι και έχουν να κάνουν τόσο με την περιφερειακή ανάπτυξη, όσο και με τις διεθνείς συνδέσεις δηλαδή συνδέσεις με τα κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τις γειτονικές χώρες.

Η ανάπτυξη των αξόνων αυτών εξετάζεται στο πλαίσιο ενός ευρύτερου πλάνου ανάπτυξης των μεταφορών στη χώρα και σε συνδυασμό με την ανάπτυξη και των λοιπών- εκτός των οδικών - μέσων μεταφορών. Οι οδικές μεταφορές αποτελούν το κύριο τμήμα του Συστήματος Μεταφορών αν σκεφτεί κανείς ότι το 90% των επιβατικών και εμπορευματικών μεταφορών της χώρας εξυπηρετείται από το οδικό δίκτυο. Το μεγαλύτερο μέρος από το έργο αυτό διακινείται πάνω στο εθνικό οδικό δίκτυο. Όμως το επίπεδο εξυπηρέτησης που απολαμβάνουν οι χρήστες του οδικού δικτύου στην Ελλάδα δεν είναι ικανοποιητικό. Παρά το γεγονός ότι δεν είναι υποδεέστερο από το επίπεδο όλων των άλλων δικτύων στην Ελλάδα, είναι σαφώς κατώτερο από το επιθυμητό στους χρήστες και από



εκείνο που παρέχεται σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, με το οποίο συγκρίνεται. Είναι επίσης κατώτερο από το επίπεδο εκείνο το οποίο θα περιόριζε την "περιφερειακή" απομόνωση της χώρας και γενικά θα διευκόλυνε και προωθούσε την ανάπτυξη και την σύγκλιση της οικονομίας με εκείνη των άλλων χωρών της Ε.Ε. Αν και δεν υπάρχει μεταφορικό έργο που να μην πραγματοποιείται, και σημείο του ελληνικού χώρου που να μην εξυπηρετείται τουλάχιστον με ομαλές καιρικές συνθήκες - εν τούτοις η ποιότητα εξυπηρέτησης θεωρείται ότι θέτει εμπόδια και περιορίζει την ανταγωνιστικότητα της ελληνικής οικονομίας. Το έργο που απαιτείται εκτελείται, αλλά όχι με τον οικονομικά πιο αποτελεσματικό και τον φυσικά πιο ασφαλή τρόπο. Τα προβλήματα του Συστήματος Οδικών Μεταφορών σχετίζονται κύρια με την αδυναμία της υποδομής να εξυπηρετήσει τις υπάρχουσες ανάγκες με τον οικονομικότερο τρόπο. Η μικρή χωρητικότητα, ο ατελής προσανατολισμός και η κακή φυσική κατάσταση του οδικού δικτύου είναι οι κύριες αιτίες των προβλημάτων αυτών.

## **2.5 Διεθνείς μεταφορές**

Η περιφερειακότητα της χώρας σε σχέση με τον ευρύτερο οικονομικό της χώρο, δηλαδή τη δυτική Ευρώπη, δεν την ευνοεί ιδιαίτερα όσον αφορά τις διεθνείς οδικές μετακινήσεις, καθώς η μέση απόσταση της Ελλάδας από τις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε. ξεπερνάει τα 2500 χλμ [1]. Αυτή η απόσταση σε χρόνο μετακίνησης αντιστοιχεί σε 25 με 30 ώρες, εάν δεν υπολογισθούν οι ενδιάμεσες στάσεις, ή αλλιώς χρόνο μετακίνησης 2 με 2,5 ημέρες σε περίπτωση χρησιμοποίησης οχηματαγωγών πλοίων για τη διαπόρθμευση της Αδριατικής.

Επιπλέον, για την πραγματοποίηση μιας μεταφοράς π.χ. στο Μόναχο της Γερμανίας, χρειάζεται και μία άδεια transit για κάθε μη Ευρωπαϊκή χώρα που διασχίζεται. Τις περισσότερες φορές αυτές οι άδειες δεν υπάρχουν, διότι ο αριθμός τους είναι περιορισμένος και δεν καλύπτουν τις υπάρχουσες ανάγκες. Έχει ζητηθεί επανειλημμένα η μελέτη λύσεων, από όλα τα επίπεδα της Ε.Ο.Κ, για την επίλυση του προβλήματος transit αλλά λύση δεν έχει δοθεί.

Πέρα από το πρόβλημα των ποσοστικών περιορισμών υπάρχει και το πρόβλημα των επιβαρύνσεων, που επιβάλλουν οι χώρες αυτές στους μεταφορείς κατά τη διέλευση από τα εδάφη αυτών. Με την ένταξη της χώρας μας στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα αναμενόταν μία σημαντική άνοδος των ανταλλαγών της που γίνονται οδικώς με τις άλλες χώρες-μέλη,

φαινόμενο που τελικά παρατηρήθηκε σε όλες τις άλλες χώρες εκτός της δικής μας.

### **2.5.1 Διεθνείς οδικές επιβατικές μεταφορές**

Όσον αφορά τις επιβατικές μεταφορές, οι διεθνείς μετακινήσεις προσώπων, αυτές φορούν κατά κύριο λόγο τον παραθερισμό, δεδομένου ότι ο χρόνος μετακίνησης στις μετακινήσεις αυτής της κατηγορίας έχει μικρότερη βαρύτητα, σε σχέση με την επιλογή του μέσου. Σε αυτές τις περιπτώσεις καθοριστική παράμετρο αποτελεί το είδος και ο τρόπος παραθερισμού/τουρισμού οπότε σε ορισμένες περιπτώσεις το αυτοκίνητο προσφέρει ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως για παράδειγμα μεταφορά πολλών πραγμάτων, περιήγηση πολλών περιοχών στο ίδιο ταξίδι κλπ. Παρ' όλα αυτά το ποσοστό των ξένων επισκεπτών που έρχεται στη χώρα μας με οδικά μέσα είναι σχετικά μικρό σε σύγκριση με τους επισκέπτες που χρησιμοποιούν την αεροπορική μεταφορά.

Οι διεθνείς οδικές μετακινήσεις προς τις υπόλοιπες χώρες της Βαλκανικής θα έπρεπε να είναι πολύ σημαντικές, χάρη στην πολύ μικρότερη απόσταση σε σχέση με τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης. Στην παρούσα όμως φάση είναι σχετικά περιορισμένες, γεγονός που οφείλεται αφενός στις τρέχουσες πολιτικές συγκυρίες και αφετέρου στην περιορισμένη έκταση των οικονομικών συναλλαγών με τη χώρα μας. Τα ανασταλτικά αυτά αίτια σε μακροπρόθεσμη προοπτική προβλέπεται να υποχωρούν, καθώς αποτελεί στρατηγική επιλογή η διεύρυνση της οικονομικής και πολιτιστικής επιρροής της χώρας μας στη Βαλκανική, τις χώρες του Ευξείνου Πόντου και την υπόλοιπη Ανατολική Ευρώπη. Έτσι στο χρονικό ορίζοντα 2010 προβλέπεται σημαντικότερη ανάπτυξη ανταλλαγών μετακινήσεων ιδιαίτερα ανάμεσα στις γειτονικές βαλκανικές χώρες και τη βόρεια Ελλάδα καθώς και την Ήπειρο.

Καθοριστικό στοιχείο για την εξέλιξη των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα είναι ότι τόσο ο δείκτης ιδιοκτησίας ΙΧ αυτοκινήτων όσο και η χρήση τους αυξάνουν και θα εξακολουθήσουν να αυξάνουν στο μέλλον, με ρυθμούς πολύ μεγαλύτερους από την υπόλοιπη Ευρώπη.

Το 1990, η ιδιοκτησία ΙΧ αυτοκινήτου σε επίπεδο χώρας ήταν περίπου 170 οχήματα ΙΧ ανά 1000 κατοίκους, ενώ στις αστικές περιοχές πολύ μεγαλύτερη, για παράδειγμα στην

πρωτεύουσα αντιστοιχούν 260 κάτοικοι ανά 1000 κατοίκους [2]. Η τελική πρόβλεψη είναι να διπλασιαστεί περίπου σε μια δεκαετία η ιδιοκτησία ΙΧ αυτοκινήτου σε επίπεδο χώρας. Η εκτίμηση αυτή επιβεβαιώνεται με τη θεώρηση της σχέσης ιδιοκτησίας ΙΧ αυτοκινήτου με το κατά κεφαλήν ΑΕΠ. Η σχέση αυτή είναι ανάλογη σε παγκόσμια κλίμακα. Τα μεγέθη αυτά στη χώρα μας είναι σαφώς μικρότερα. Εξαιτίας μάλιστα των αυξημένων τελών και φόρων που βαρύνουν παραδοσιακά τα ΙΧ και τα ανταλλακτικά του, για το ίδιο κατά κεφαλήν ΑΕΠ η ιδιοκτησία αυτοκινήτου είναι κατά 20% περίπου μικρότερη από την αντίστοιχη των υπολοίπων χωρών. Οι παραπάνω διαπιστώσεις σε συνδυασμό με τις προβλεπόμενες μεταβολές στην ανάπτυξη των περιφερειών της χώρας, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η κυκλοφορία ΙΧ αυτοκινήτων στο αστικό και υπεραστικό δίκτυο της χώρας θα αυξηθεί ραγδαία τα επόμενα 10 χρόνια μέχρι και τον διπλασιασμό της κατά περιοχές, σύμφωνα και με τα μεγέθη που προκύπτουν από τα ειδικά μοντέλα πρόβλεψης της κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη.

Όσον αφορά τις υπεραστικές οδικές μεταφορές με λεωφορείο, η πολιτική στην Ελλάδα έχει παραμείνει αναλλοίωτη τα τελευταία 40 χρόνια, και συνίσταται στη σύσταση και λειτουργία των ιδιωτικών ΚΤΕΛ κατά νομό και με μοναδικό έλεγχο από την πλευρά του κράτους, το κόμιστρο και την έγκριση των δρομολογίων. Ο θεσμός των ΚΤΕΛ κρίνεται επιτυχημένος στο χώρο των δημόσιων συγκοινωνιών στη χώρα καθώς έχει εξασφαλίσει αξιοσημείωτη συγκράτηση του κόστους λειτουργίας σε συνδυασμό με την ευέλικτη προσαρμογή του μεταφορικού έργου στις απαιτήσεις της ζήτησης.

## **2.5.2 Διεθνείς οδικές εμπορευματικές μεταφορές**

Το βασικό οργανωτικό – θεσμικό πλαίσιο των εμπορευματικών μεταφορών της χώρας παραμένει μέχρι σήμερα<sup>36</sup> ο νόμος 383/77 με διάφορες μεταγενέστερες προσαρμογές, οι οποίες όμως δεν αλλοιώνουν τη μορφή της οργάνωσης και οργάνωση του όλου συστήματος. Ακρογωνιαίος λίθος της πολιτικής αυτής είναι η προστασία του επαγγέλματος του οδικού μεταφορέα εμπορευμάτων, και ο γεωγραφικός προσδιορισμός της “αγοράς” με διάκριση των αδειών οδικών μεταφορέων σε περιφερειακές, εθνικές και διεθνείς. Το σύστημα των οδικών εμπορευματικών μεταφορών, Ο.Ε.Μ. στην Ελλάδα εμφανίζει σήμερα ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που το διαφοροποιούν από τα αντίστοιχα της Ευρώπης.

Αυτά είναι:

- Η υπερχωρητικότητα που έχει σαν αποτέλεσμα την περιορισμένη ζήτηση μεταφορικού έργου ανά διαθέσιμη μονάδα χωρητικότητας, η οποία είναι κατά πολύ υπολειπόμενη από την αντίστοιχη των ευρωπαϊκών χωρών.
- Μολονότι ισχύει το πάγωμα του τονάζ για τα φορτηγά δημόσιας χρήσης από τα μέσα της δεκαετίας του '70, εντούτοις ο αριθμός των ιδιωτικής χρήσης φορτηγών αυξάνει ραγδαία και έντονα είναι τα παράπονα που διατυπώνονται για αθέμιτο ανταγωνισμό.
- Το θεσμοθετημένο "αμφοριακό κόμιστρο" δεν τηρείται, ενώ υπάρχουν ενδείξεις για χρεώσεις που δεν λαμβάνουν υπόψη τους τις αναγκαίες αποσβέσεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει αδυναμία ανανέωσης του στόλου σε πολλές περιπτώσεις.
- Υπάρχει έντονη ανάγκη ποιοτικής αναβάθμισης του κλάδου, με παροχή σ' αυτόν της κατάλληλης εκπαίδευσης καθώς και υπηρεσιών γενικότερα. Το επίπεδο των επαγγελματικών οργανώσεων μέχρι και σήμερα δεν μπόρεσε να καλύψει αυτό το κενό, ενώ οι ιδιωτικές σχολές που ιδρύθηκαν σε εφαρμογή της οδηγίας 561/74 φαίνεται να υπολειτουργούν.

Οι οδικές εμπορευματικές μεταφορές της χώρας εξυπηρετούνται σήμερα από πολλές και στην πλειονότητά τους μικρές ιδιωτικές επιχειρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, η σημερινή δομή του συστήματος εμπορευματικών μεταφορών στη χώρα αντιστοιχεί σε μεγάλες εταιρείες (με πάνω από 10 οχήματα) που αποτελούν το 5% του συνόλου, σε μεσαίες (5 - 10 οχήματα) που αποτελούν το 10-15% περίπου, και σε μικρές (έως και 5 οχήματα) που αποτελούν το 80-85% [2]. Παραμένουν έτσι οι περισσότερες με μικρό μέγεθος, πενιχρό βαθμό οργάνωσης και ανεπαρκή εισαγωγή νέας τεχνολογίας. Στον τομέα των οδικών εμπορευματικών μεταφορών και στη χώρα μας κυριαρχεί ο μικροϊδιοκτήτης μεταφορέας (1-3 φορτηγά) ο οποίος εργάζεται κατά κανόνα μέσω διαμεταφορέων. Το κοινοτικό δίκαιο προβλέπει ριζικές αλλαγές στη σημερινή πρακτική του μικροϊδιοκτήτη μεταφορέα, ο οποίος διαθέτει 1-3 φορτηγά και εργάζεται κατά κανόνα μέσω διαμεταφορέων. Οι αλλαγές αυτές προβλέπεται να εφαρμοστούν σύντομα και στην Ελλάδα. Σε αυτές προβλέπονται:

- Το άνοιγμα του επαγγέλματος σε όποιον πληρεί βασικές προϋποθέσεις
- Την κατάργηση των γεωγραφικών περιορισμών
- Τον ελεύθερο ανταγωνισμό χωρίς ουσιαστικά έλεγχο τιμών.

## 2.6 Συνδυαστικές Μεταφορές

Οι συνδυαστικές μεταφορές λειτουργούν ουσιαστικά ως ποιοτικός δείκτης της ολοκλήρωσης μεταξύ των διαφορετικών μέσων μεταφοράς, όσο μεγαλύτερη είναι τόσο μεγαλύτερη η ολοκλήρωση και συμπληρωματικότητα των μέσων, συμβάλλοντας σε πιο αποδοτική χρήση του μεταφορικού συστήματος. Η οικονομική βάση των συνδυασμένων μεταφορών έγκειται στο ότι τα μέσα μεταφοράς, καθένα από τα οποία παρουσιάζει εγγενή θετικά οικονομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά, μπορούν να ολοκληρωθούν σε μία μεταφορική αλυσίδα από πόρτα σε πόρτα με στόχο την βελτίωση της αποδοτικότητας του μεταφορικού συστήματος. Η ολοκλήρωση μεταξύ των μέσων πρέπει να πραγματοποιηθεί σε επίπεδα υποδομής και εξοπλισμού ( π.χ. μονάδες φόρτωσης, οχήματα, τηλεπικοινωνίες) λειτουργίες και υπηρεσίες όπως και κανονιστικές συνθήκες [3].

Στόχος είναι η ανάπτυξη ενός πλαισίου για την καλύτερη δυνατή ολοκλήρωση των διαφορετικών μέσων μεταφοράς έτσι ώστε να επιτραπεί η αποτελεσματική και οικονομικά αποδοτική χρήση του μεταφορικού συστήματος μέσω της προσφοράς πελατοκεντρικών υπηρεσιών από πόρτα σε πόρτα ενώ ταυτόχρονα θα ενισχύεται ο ανταγωνισμός μεταξύ των εμπλεκόμενων στον μεταφορικό τομέα. Η πολιτική για τις συνδυασμένες μεταφορές θα πρέπει να παρέχει ένα πλαίσιο όπου ο χρήστης των μεταφορών μπορεί να αποφασίσει για την καλύτερη χρήση των διαφόρων μέσων μεταφοράς. Η από πόρτα σε πόρτα προσέγγιση των συνδυασμένων μεταφορών θα πρέπει συνεπώς να λάβει υπόψη της τις απαιτήσεις του χρήστη των μεταφορικών υπηρεσιών.

Οι συνδυασμένες μεταφορές δεν δεσμεύονται με συγκεκριμένα μέσα μεταφοράς, αντίθετα ο σιδηρόδρομος, οι θαλάσσιες και οι οδικές μεταφορές καλούνται να συνδράμουν στην βελτιστοποίηση του συνολικού δικτύου. Στο επίπεδο των μεταφορικών λειτουργιών, οι νέες υπηρεσίες, η πληροφορική και οι τεχνολογίες στις επικοινωνίες θα βελτιώσουν την χρήση των υφιστάμενων χωρητικότητων.

Ωστόσο, με τη βελτίωση των συνδέσεων μεταξύ όλων των μέσων μεταφοράς και την ολοκλήρωσή τους σε ένα ενιαίο σύστημα, οι συνδυασμένες μεταφορές επιτρέπουν την καλύτερη χρήση της σιδηροδρομικής μεταφοράς, της εσωτερικής ναυσιπλοΐας και της ναυτιλίας κοντινών αποστάσεων, οι οποίες από μόνες τους δεν επιτρέπουν την παράδοση από πόρτα σε πόρτα. Οι συνδυασμένες μεταφορές, συνεπώς λειτουργούν συμπληρωματικά

σε άλλες ευρωπαϊκές μεταφορικές πολιτικές όπως την απελευθέρωση των μεταφορικών αγορών, την ανάπτυξη των διευρωπαϊκών δικτύων και την προώθηση της σωστής και αποδοτικής τιμολόγησης.

### **2.6.1 Πλεονεκτήματα**

Εξαιτίας της διαφορετικής χωρητικότητας και αποτελεσματικότητας των μέσων, το βσύστημα συνδυασμένων μεταφορών θα παρέχει τα πλεονεκτήματα του κάθε μέσου μεταφοράς. Επιπλέον είναι ο πιο σημαντικός τρόπος μείωσης του μεταφορικού κόστους και των αρνητικών οικονομιών. Τα βασικά πλεονεκτήματα που προκύπτουν είναι:

- Μείωση των τερματικών (διαχείριση) και του κόστους φόρτωσης
- Πλήρης μεταφορά
- “λιγότερη διαχείριση - λιγότερες ζημιές”
- Γρήγορος, ασφαλής και αξιόπιστος χρόνος μεταφοράς
- Φιλική προς το περιβάλλον μεταφορά
- Χρόνος μεταφοράς παρόμοιος με αυτόν του οδικού δικτύου
- Έλεγχος σε όλα τα επίπεδα μεταφοράς, κατά την εισαγωγή και εξαγωγή
- Χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου μέχρι 28 τόνοι
- Παρόμοιες μεταφορικές μονάδες
- Ανταγωνιστικές τιμές και υπηρεσίες door-to-door
- Υπηρεσίες "Just-in-time"
- Μείωση χρόνου διαχείρισης φορτίου

Είναι κατανοητό ότι οι αν οι ρυθμοί αύξησης των μεταφερόμενων εμπορευμάτων συνεχιστούν τότε θα δημιουργηθούν περαιτέρω προβλήματα στο υπάρχων μεταφορικό σύστημα. Αν οι σημερινές τάσεις, που θέλουν το μεγαλύτερο μέρος των εμπορευματικών μεταφορών να εξυπηρετείται οδικώς συνεχιστούν τότε οι επιπτώσεις στο κόστος λόγω συμφορήσεων, στην μόλυνση του περιβάλλοντος και τα οδικά ατυχήματα αναμένεται να αυξηθούν εξίσου. Κρίνεται συνεπώς απαραίτητη η επίλυση των υπαρχόντων προβλημάτων και οι συνδυασμένες μεταφορές αποτελούν σημαντικό αρωγό της οικονομικής ανάπτυξης της Ε.Ε.

## 2.6.2 Ιστορική εξέλιξη των συνδυασμένων μεταφορών

Η εμφάνιση των θαλάσσιων εμπορευματοκιβωτίων, τα οποία αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικούς λόγους κατά τη διάρκεια του 2ου Π.Π. αποτέλεσαν τη βάση για την εξέλιξη του συστήματος των συνδυασμένων μεταφορών. Αναλυτικότερα, η μεγάλη ετερογένεια των μεταφερόμενων δια θαλάσσης φορτίων οδήγησε στη χρήση των container καθώς μειώθηκε ο χρόνος φόρτωσης και μειώθηκε και το κόστος μεταφοράς λόγω ακριβώς της δυνατότητας μεταφοράς μεγάλης ποσότητας φορτίων. Η πρώτη εμπορική εφαρμογή ατσάλινων container στα πλαίσια συστήματος των συνδυασμένων μεταφορών (οδικό-σιδηροδρομικό-οδικό δίκτυο) εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1950. Εφευρέτης του ατσάλινου εμπορευματοκιβωτίου ήταν ο Malcom McLean, ο οποίος τόνισε τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς φορτίων σε επίπεδα κόστους μεταφοράς αλλά και παρεχόμενων υπηρεσιών όπως αυτή του Door to Door. Πρώτα οι Η.Π.Α. Και αργότερα η Ευρώπη υιοθέτησαν με επιτυχία τη νέα τεχνολογία. Αναπτύχθηκαν νέες Door to Door υπηρεσίες και οι εταιρίες προέβησαν σε συνεργασίες με άλλα μέσα μεταφορών όπως οι οδικές και σιδηροδρομικές. Η ανάπτυξη των θαλάσσιων containers αρχικά έκλεψε ένα σημαντικό ποσοστό της αγοράς από τις εσωτερικές θαλάσσιες μεταφορές κυρίως των bulk και conventional mixed goods [4].

Στην αρχή της δεκαετίας του 1960 πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες συνεργασίες μεταξύ σιδηροδρόμων και οδικών μεταφορέων. Οι συνεργασίες αυτές ασχολήθηκαν ιδιαίτερα με τον τομέα της χερσαίας μεταφοράς. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 τα container εισήλθαν στον Ευρωπαϊκό σιδηρόδρομο και έτσι ιδρύθηκαν οι πρώτοι τερματικοί σταθμοί και πραγματοποιήθηκαν οι πρώτες συνεργασίες μεταξύ εταιριών containers και κρατικών σιδηροδρόμων. Το 1966, η Sea Land ίδρυσε την πρώτη εταιρεία παροχής τακτικών υπηρεσιών container. Το 1968 Ευρωπαϊκές σιδηροδρομικές εταιρίες δημιούργησαν την Intercontainer (σήμερα γνωστή ως Intercontainer - Interfrigo, ICF), με στόχο τη βελτίωση των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Το 1970 τα μέλη των συνεργασιών ίδρυσαν την UIRR (Union Internationale des sociétés de transport combine Rail - Route), η οποία μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 ασχολείτο αποκλειστικά με τις χερσαίες διατροπικές μεταφορές. Την αλυσίδα του θαλασσιού - σιδηροδρομικού - οδικού δικτύου οργάνωνε μέχρι το 1990 αποκλειστικά η ICF. Μόνο μετά

την Ενοποίηση της Ευρωπαϊκής Αγοράς εισήλθαν νέες εταιρίες στη συγκεκριμένη αγορά. Επίσης, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1980 και 1990 η συμμετοχή της εσωτερικής ναυσιπλοΐας στις Intermodal μεταφορές αυξήθηκε σταθερά. Μάλιστα, ο Ρήνος και Schelde κατέχουν πρωτεύουσα θέση όσον αφορά τα ποτάμια με την μεγαλύτερη κίνηση ενώ σημαντική θέση αναμένεται να αποκτήσει και ο Δούναβης κυρίως μετά τη βελτίωση της γραμμής Main – Danube Canal.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών η μεταφορά εμπορευμάτων στην Ευρώπη παρουσίασε αύξηση της τάξης του 3% ετησίως. Όπως έχει ήδη ειπωθεί το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης αυτής απορροφήθηκε από το οδικό δίκτυο ενώ την ίδια στιγμή το σιδηροδρομικό δίκτυο και η εσωτερική ναυσιπλοΐα παρουσίασαν μείωση. Μόνη εξαίρεση αποτελούν οι χώρες των Άλπεων δηλ. η Αυστρία και η Ελβετία καθώς επίσης και η Ολλανδία. Στις χώρες των Άλπεων ένα μεγάλο μέρος της εμπορευματικής διακίνησης πραγματοποιείται μέσω σιδηροδρόμου ενώ στην Ολλανδία έχουμε ευρεία χρησιμοποίηση των γραμμών εσωτερικής ναυσιπλοΐας (μέσω του ποταμού Ρήνου). Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού η κατανομή των μεταφορών στα μέσα είναι διαφορετική και το μεγαλύτερο μέρος των μεταφορών (49%) πραγματοποιείται μέσω σιδηροδρόμου.

Συγκεκριμένα, οι σιδηροδρομικές διατροπικές μεταφορές, οι οποίες στην Ευρώπη διενεργούνται από την ICF και UIRR παρόλο που έχουν αυξηθεί σε απόλυτα νούμερα το ποσοστό συμμετοχής τους στην αγορά δεν έχει παρουσιάσει αύξηση. Το συνολικό μεταφορικό έργο μέσω του σιδηροδρομικού διατροπικού συστήματος αυξήθηκε από 1,5 εκ. TEU το 1986 σε περισσότερο από 3,5 εκ. TEU το 1995, δηλαδή 10% ετήσια μέση αύξηση. Αντίθετα, το ποσοστό συμμετοχής στη διασυνοριακή οδική συμμετοχή παραμένουν σε 5,5% [14]. Από τις ευρωπαϊκές χώρες που δραστηριοποιούνται στην αγορά της διατροπικής μεταφοράς φορτίων μέσω σιδηροδρόμου μόνο η Γερμανία και η Γαλλία μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες εντός των συνόρων τους. Στις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες τα φορτία που μεταφέρονται μ' αυτό τον τρόπο έχουν διεθνείς κατευθύνσεις. Την ίδια στιγμή η μικρότερη απόσταση στην οποία η διατροπική μεταφορά μπορεί να ανταγωνιστεί την οδική έχει υπολογιστεί στα 300 με 600 χιλ. Συνεπώς η διατροπική μεταφορά στην Ευρώπη μπορεί να θεωρηθεί ως διασυνοριακή. Ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος της intermodal μεταφοράς μέσω σιδηροδρόμου συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως είναι οι χώρες των Άλπεων και η γραμμή Γερμανία – Ιταλία, γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι ευρωπαϊκοί σιδηρόδρομοι δεν είναι όλοι σε θέση να χρησιμοποιηθούν για διατροπική



μεταφορά αγαθών.

Από την άλλη πλευρά, η μεταφορά Ε/Κ μέσω εσωτερικής ναυσιπλοΐας συγκεντρώνεται στο Ρήνο ποταμό και το δέλτα του. Οι κύριες χώρες που εξυπηρετούνται είναι η Ολλανδία, η οποία κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό, η Γερμανία, το Βέλγιο, η Γαλλία. Ο τριπλασιασμός του αριθμού των containers που μεταφέρονται στο Ρήνο, κατά την δεκαετία 1985–1995 επιτρέπει την ύπαρξη αισιόδοξων προβλέψεων για την συγκεκριμένη αγορά. Παρόλο που οι διατροπικές μεταφορές στην Ευρώπη -σε απόλυτα νούμερα- αυξήθηκαν, το μερίδιο που κατέχουν στο σύνολο της αγοράς παραμένει περιορισμένο.

Είναι κατανοητό ότι αν οι ρυθμοί αύξησης των μεταφερόμενων εμπορευμάτων συνεχιστούν τότε θα δημιουργηθούν περαιτέρω προβλήματα στο υπάρχων μεταφορικό σύστημα. Αν οι σημερινές τάσεις, που θέλουν το μεγαλύτερο μέρος των εμπορευματικών μεταφορών να εξυπηρετείται οδικώς συνεχιστούν τότε οι επιπτώσεις στο κόστος λόγω συμφορήσεων, στη μόλυνση του περιβάλλοντος και στα οδικά ατυχήματα θα αυξηθούν εξίσου. Κρίνεται συνεπώς απαραίτητη η επίλυση των υπαρχόντων προβλημάτων καθώς οι intermodal μεταφορές αποτελούν σημαντικό αρωγό της οικονομικής ανάπτυξης της Ε.Ε.

### **2.6.3 Οργάνωση της αλυσίδας των συνδυασμένων μεταφορών**

#### ***Γενική οργάνωση***

Η αλυσίδα των συνδυασμένων μεταφορών αποτελείται από πέντε βασικούς κρίκους και διαμορφώνεται ως εξής (Σχήμα 2.1):

Στον πρώτο κρίκο έχουμε τη μεταφορά των φορτίων από το μεταφορέα στον τερματικό σταθμό. Στην περίπτωση χερσαίας μεταφοράς η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται οδικώς ενώ στη θαλάσσια μεσώ θαλάσσης. Στον τερματικό σταθμό οι μονάδες φορτίου ετοιμάζονται για μεταφορά μέσω σιδηροδρόμου ή εσωτερικής ναυσιπλοΐας ή θαλάσσιας μεταφοράς προς τον τελικό τερματικό σταθμό. Στον τερματικό αυτό σταθμό οι μονάδες φορτίου φορτώνονται σε φορτηγά και μεταφέρονται στον τελικό προορισμό τους (τον παραλήπτη).

## Σχήμα 2.1 Οργάνωση της αλυσίδας των συνδυασμένων μεταφορών



Η οργάνωση της συγκεκριμένης αλυσίδας οργανώνεται από τους λεγόμενους Intermodal Operators. Κύριος στόχος των είναι η εξασφάλιση χαμηλού κόστους και υψηλής ποιότητας υπηρεσιών ικανών να ανταγωνιστούν με επιτυχία τους τρίτους, ανεξάρτητους μεταφορείς. Συγκεκριμένα στην Ευρώπη η οργάνωση της αλυσίδας πραγματοποιείται από τους εξής τρεις operators τους UIRR, ICF και RHINE container operators.

Για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα οι αυτοί οι operators λειτουργούσαν σαν μονοπώλια στον χώρο τους χωρίς να εισέρχεται ο ένας στο χώρο του άλλου. Μετά την απελευθέρωση των μεταφορών στην Ευρώπη ξεκίνησε μία νέα εποχή, όπου η UIRR άρχισε πλέον να ασχολείται με θέματα θαλάσσιας μεταφοράς και η ICF με θέματα χερσαίας μεταφοράς. Την ίδια στιγμή νέες εταιρίες άρχισαν να εισέρχονται στην αγορά που άλλοτε έλεγχαν η ICF και η UIRR με αποτέλεσμα να αυξηθεί ιδιαίτερα ο ανταγωνισμός.

Κυρίαρχο θέμα για την ορθή οργάνωση και λειτουργία των intermodal μεταφορών είναι η ύπαρξη κατάλληλων τερματικών. Μία βασική κατηγοριοποίηση των τερματικών μπορεί να είναι η εξής:

- Τερματικά οδικού – σιδηροδρομικού δικτύου
- Τερματικά οδικού δικτύου – εσωτερικής ναυσιπλοΐας
- Τερματικά οδικής – θαλάσσιας μεταφοράς
- Τερματικά οδικού – σιδηροδρομικού – εσωτερικής ναυσιπλοΐας
- Τερματικά οδικού – σιδηροδρομικό –θαλάσσια μεταφορά
- Τερματικά οδικό – εσωτερική ναυσιπλοΐα- θαλάσσια μεταφορά

Όσον αφορά την οργάνωση των τερματικών σταθμών οδικού–σιδηροδρομικού δικτύου γίνεται ένας βασικός διαχωρισμός ανάμεσα στην υποδομή και τις εγκαταστάσεις. Η γη και η υποδομή (δρόμοι, σιδηροτροχιές κ.α.) ελέγχονται από την κυβέρνηση ενώ τα κτίρια, οι

αποθήκες κτλ. διαχειρίζονται από ιδιωτικές εταιρείες. Η διαχείριση των τερματικών γίνεται σύμφωνα με παραχωρήσεις των κυβερνήσεων προς τις ιδιωτικές εταιρίες βάση συγκεκριμένης αμοιβής και για ορισμένο χρονικό διάστημα.

Οι σιδηροδρομικοί τερματικοί σταθμοί συνήθως ελέγχονται από τους σιδηροδρόμους ή από εταιρίες στις οποίες συμμετέχουν σιδηρόδρομοι. Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι μέχρι τουλάχιστον τη δεκαετία του 1990 οι σιδηρόδρομοι ήταν κρατικοί κατανοούμε τον διττό ρόλο των σιδηροδρόμων σαν ιδιοκτήτες και ελεγκτές (owners & operators) των τερματικών [13].

### **Οι συνδυασμένες μεταφορές στον Ελλαδικό χώρο**

Η αγορά συνδυασμένων μεταφορών στην Ελλάδα έχει αρχίσει να αναπτύσσεται μάλιστα με ιδιαίτερη έμφαση στο διάδρομο Ελλάδα - Ιταλίας - Δ. Ευρώπης, μέσω του λιμανιού της Πάτρας. Ένας τομέας όπου ο ελληνικός σιδηρόδρομος θα μπορούσε να δραστηριοποιηθεί με σημαντικές προοπτικές ανάληψης μεταφορικού έργου είναι ο τομέας των συνδυασμένων μεταφορών, με σιδηροδρομική διακίνηση εμπορευματοκιβωτίων ή κινητών αμαξωμάτων (swap bodies) μεταξύ Αθήνας και Πάτρας. Αναφορικά με τις μεταφορές στο διάδρομο Ελλάδα- Ιταλίας-Γερμανίας, η Ελλάδα προσθέτει τις δικές της ιδιαιτερότητες. Αυτές οι ιδιαιτερότητες εντοπίζονται κυρίως στα παρακάτω βασικά σημεία:

- Μεγάλη αύξηση της ζήτησης για μεταφορές προς Ιταλία μέσω των λιμανιών της Δυτ. Ελλάδας (Πάτρας-Ηγουμενίτσας). Τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 1990, οι μεταφορές αυτές εντοπίζονται σε κίνηση φορτηγών αυτοκινήτων, τα οποία απλώς χρησιμοποιούν τα οχηματαγωγά πλοία για να περνούν στην Ιταλία και από εκεί συνεχίζουν την οδική μεταφορά προς τον τελικό προορισμό. Κυρίως από το 1995, οι μεταφορές αρχίζουν να αφορούν και ασυνόδευτα ημιμουλκούμενα, όπως επίσης εμπορευματοκιβώτια και μικρό αριθμό ακινήτων αμαξωμάτων.

- Στον ελληνικό χώρο η μεταφορά γίνεται αποκλειστικά με οδικά μέσα. Ακόμη και για μεταφορές μοναδοποιημένων φορτίων -σε όρους συνδυασμένων μεταφορών- το ελληνικό τμήμα της διαδρομής είναι απλώς το "τελικό τμήμα" της μεταφοράς, όπου το φορτηγό αυτοκίνητο χρησιμοποιείται για την από πόρτα σε πόρτα μεταφορά. Το πρόβλημα είναι ότι

για αυτές τις τελικές διαδρομές η Ε.Ε. θέτει ανώτατο όριο 150 χλμ. Έτσι, ακόμη και μεταφορές από την Πάτρα στην Αθήνα που γίνονται “τεχνικά” σαν συνδυασμένες, δεν μπορούν να χαρακτηριστούν νομικά σαν συνδυασμένες μεταφορές.

- Πλήρης ανυπαξία του σιδηροδρόμου. Ενώ τα φορτία μπορεί να διασχίζουν το μέγιστο μέρος της διαδρομής μεταξύ της Δυτικής Ευρώπης-Ελλάδας με σιδηρόδρομο, στην Ελλάδα η μόνη επιλογή που έχουν είναι το φορτηγό.

- Η όλη δομή της ελληνικής αγοράς μεταφορών, η οποία χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ορισμένων εξαιρετικά αποδοτικών μεγάλων μεταφορικών εταιρειών, και από ένα πλήθος άλλων μικρών ανεξάρτητων μεταφορέων, οι οποίοι λειτουργούν χωρίς αίσθηση πραγματικού κόστους μεταφοράς και με κακές προδιαγραφές εξοπλισμού. Η εικόνα της αγοράς ολοκληρώνεται με το γεγονός ότι δεν υπάρχουν ξεκαθαρισμένο θεσμικό-νομικό.

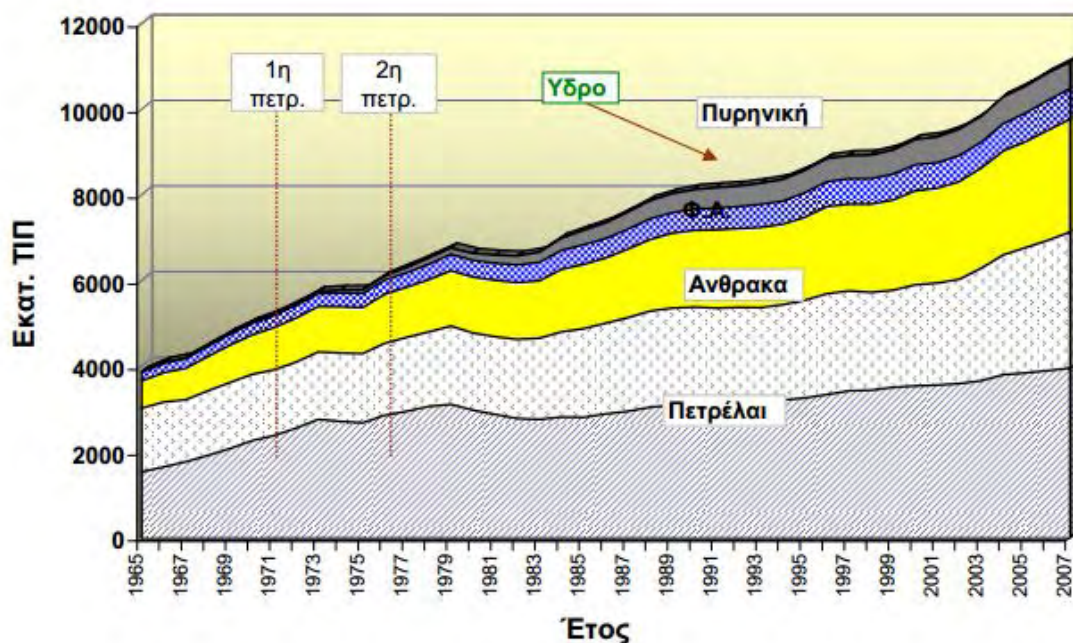
## **2.7 Μέσα Μαζικής Μεταφοράς και Περιβάλλον**

Έχοντας πλέον παρουσιάσει όλα τα είδη μεταφορών που αφορούν την παρούσα εργασία, τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών, αλλά και αναλύοντας τις αλλαγές μέσα στο πέρασμα του χρόνου τόσο για την Ευρώπη όσο και για την Ελλάδα, θα προσπαθήσουμε στο κεφάλαιο αυτό, να συνδέσουμε τις μεταφορές με το περιβάλλον. Θα γίνει αναφορά στα είδη και τα ποσοστά κατανάλωσης ενέργειας, στις Ευρωπαϊκές πολιτικές που ακολουθήθηκαν, τη συμμετοχή των μεταφορών στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά και με ποιούς τρόπους τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς μπορούν και πρέπει να κάνουν τις μετακινήσεις μας πιο οικολογικές.

### **2.7.1 Κατανάλωση ενέργειας σε κόσμο και Ελλάδα**

Η εξέλιξη της συνολικής παγκόσμιας παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας (total primary energy supply, TRES) τα τελευταία 39 χρόνια παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.15. Από το 1965 μέχρι το 2005 η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε περίπου 2,7 φορές (ενώ ο πληθυσμός της γης περίπου διπλασιάστηκε σε αυτό το διάστημα). Η αύξηση που παρατηρήθηκε τα τελευταία 10 χρόνια (1986-2005), μετά δηλαδή από τη Διάσκεψη του Rio de Janeiro το 1992, ανέρχεται στο υψηλό ποσοστό του 20%. Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση στον

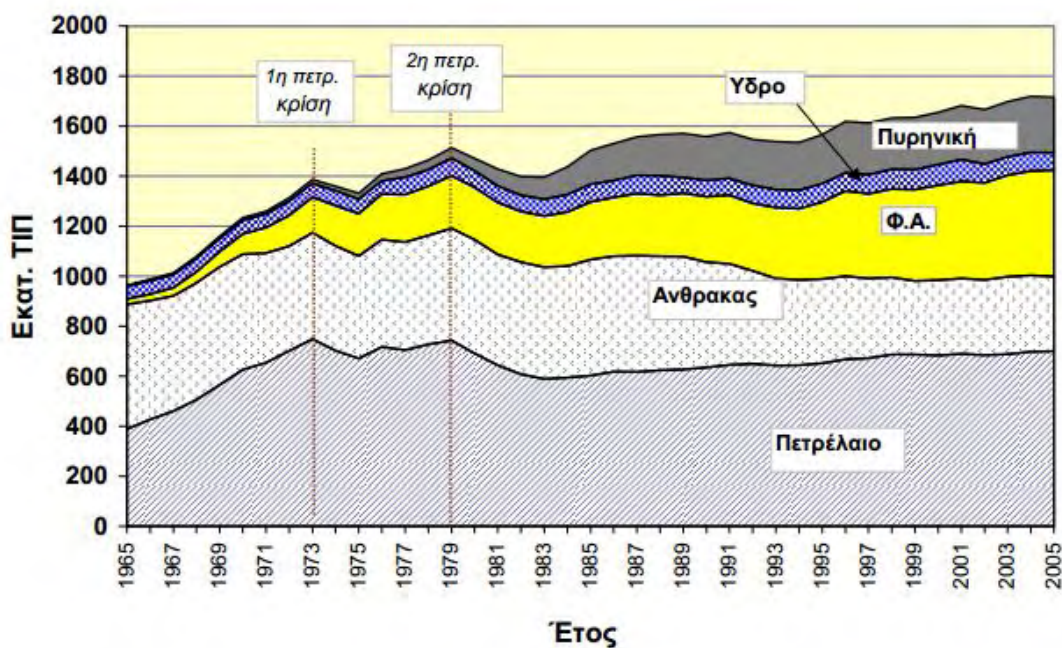
κόσμο αυξανόταν από το 1974 μέχρι στο 1992 σχεδόν κατά 2% κάθε χρόνο. Αντίθετα, στη δεκαετία του 90 η αύξηση είναι μικρότερη, αν και από το 2000 η κατανάλωση άρχισε να αυξάνει και πάλι σημαντικά. Μόλις σε ένα έτος, 2004-2005,, η αύξηση ανήλθε στο 2,7%. Η στασιμότητα της περασμένης δεκαετίας οφειλόταν κυρίως στην οικονομική ύφεση στις πρώην ανατολικές χώρες. Θα πρέπει να προσθέσουμε ότι αυτά τα δεδομένα μπορεί να διαφοροποιούνται σε κάποιο μικρό ποσοστό ανάλογα με τον οργανισμό ή την εταιρία που τα παρουσιάζει, ιδιαίτερα όσον αφορά στα στατιστικά δεδομένα των ΑΠΕ και τη συνεισφορά της «μη-εμπορικής» βιομάζας, που αποτελεί την κύρια πρωτογενή μορφή ενέργειας στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες. Γενικά, η κατανάλωση ενέργειας αυξάνει συστηματικά, με δύο μικρές εξαιρέσεις: τη χρονική περίοδο αμέσως μετά τις δύο ενεργειακές κρίσεις του 1973 και του 1979 [7].



**Σχήμα 2.2.** Εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας σε εκατομμύρια ΤΠΠ κατά την περίοδο 1965-2008. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα μη-εμπορεύσιμα καύσιμα, όπως βιομάζα, απόβλητα ζώων, τύρφη κτλ. καθώς και οι ΑΠΕ εκτός από την υδροϊσχύ (Πηγή: BP statistical review, 2008).

Το Σχήμα 2.2 παρουσιάζει επίσης και την εξέλιξη της κατανομής των διάφορων πρωτογενών μορφών ενέργειας στη συνολική κατανάλωση ενέργειας στον κόσμο, ενώ η αντίστοιχη κατανομή για την Ευρώπη παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3. Το πετρέλαιο παραμένει (και θα παραμείνει για αρκετά ακόμη χρόνια) το κυριότερο καύσιμο με συμμετοχή περίπου 36,4% στον κόσμο και ~40% στην Ε.Ε. Τα στερεά καύσιμα βρίσκονται

στη δεύτερη θέση, αλλά η παραγωγή φυσικού αερίου αυξάνει συστηματικά και σε λίγα χρόνια θα ξεπεράσει την παραγωγή των στερεών καυσίμων. Στην Ε.Ε. αυτή η αλλαγή συνέβη το 1994. Τέλος, οι ΑΠΕ συμμετέχουν με ποσοστό μικρότερο του 10%, ενώ αν συνεκτιμηθεί και η μη-εμπορεύσιμη βιομάζα (ενεργειακή μορφή ιδιαίτερα σημαντική στις περισσότερες αναπτυσσόμενες χώρες), το ποσοστό της οποίας δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί σε παγκόσμια κλίμακα, το ποσοστό αυτό μπορεί να ανέλθει μέχρι και το 14%, όπως εκτιμούν άλλοι αναλυτές.

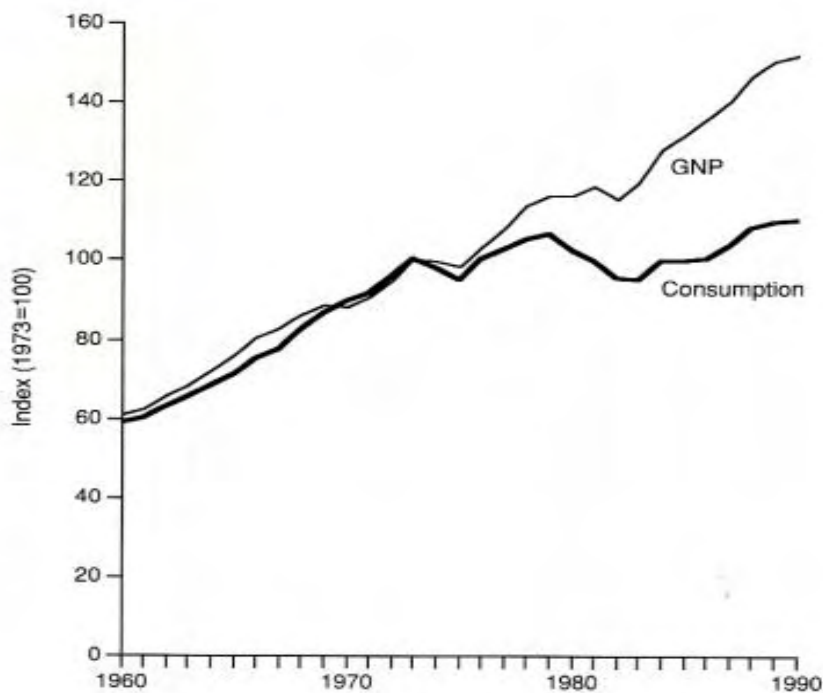


**Σχήμα 2.3.** Εξέλιξη της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας στην Ε.Ε. (των 25 χωρών) σε εκατομμύρια ΤΙΠ. Δεν συμπεριλαμβάνονται τα μη-εμπορεύσιμα καύσιμα, όπως βιομάζα, απόβλητα ζώων, τύρφη κτλ. (Πηγή: BP statistical review, 2006.)

Όπως είναι εύκολα αντιληπτό η απόλυτη κατανάλωση ενέργειας μιας χώρας από μόνη της πιθανόν να μη λέει πολλά πράγματα. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας αποτελεί ίσως σημαντικότερο μέγεθος, που μπορεί να υποκρύπτει αρκετά πράγματα. Κατ' αρχήν, η υψηλότερη κατά κεφαλήν κατανάλωση συνδέεται σαφώς με την οικονομική ευημερία μιας χώρας. Επίσης, μπορεί να υπονοηθεί ότι οι μικρές κατά κεφαλήν καταναλώσεις ενέργειας των αναπτυσσόμενων χωρών αναπόφευκτα θα αυξηθούν στο μέλλον, με επιδείνωση προφανώς των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου. Από την άλλη μεριά, για τις αναπτυγμένες χώρες οι δείκτες αυτοί μπορούν να υπονοήσουν το δυναμικό μείωσης της καταναλισκόμενης ενέργειας.

Σχεδόν σε όλες τις χώρες, οι δύο ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του 70 έκρουσαν τον κώδωνα του κινδύνου αναφορικά με την αλόγιστη κατανάλωση ενέργειας. Μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, μία μικρή «επανάσταση» άρχισε να πραγματοποιείται σχετικά με την ενεργειακή απόδοση και την ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας, κυρίως στις αναπτυγμένες χώρες, όπως καταδεικνύεται για τις Η.Π.Α. στο Σχήμα 2.4. Για δύο δεκαετίες πριν από το 1973, η ενεργειακή κατανάλωση συσχετιζόταν πλήρως με την οικονομική ανάπτυξη της χώρας (Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν). Από το 1973 μέχρι το 1986, αυτό το πρότυπο διαφοροποιήθηκε δραστικά και, ενώ η ενεργειακή κατανάλωση παρέμενε προσεγγιστικά σταθερή, η οικονομία αναπτύχθηκε κατά 40% (σε σταθερές τιμές). Με άλλα λόγια, η ένταση ενέργειας των Η.Π.Α. μειώθηκε κατά 40% στο παραπάνω χρονικό διάστημα. Τα αρχικά σπασμωδικά μέτρα για ενεργειακές περικοπές αντικαταστάθηκαν από μακρόχρονα σχέδια για εξοικονόμηση ενέργειας, ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων και διείσδυση των ΑΠΕ, με αποτέλεσμα τη συνεχή μείωση της έντασης ενέργειας. Το μεγαλύτερο ίσως μέρος από τη βελτίωση του μεγέθους αυτού οφειλόταν στη βελτιωμένη απόδοση των αυτοκινήτων, των οικιακών συσκευών, των κλιματιστικών συστημάτων κτλ. Μέρος όμως της βελτίωσης οφειλόταν και στη συνειδητοποίηση των πολιτών σχετικά με την αλόγιστη σπατάλη της ενέργειας.

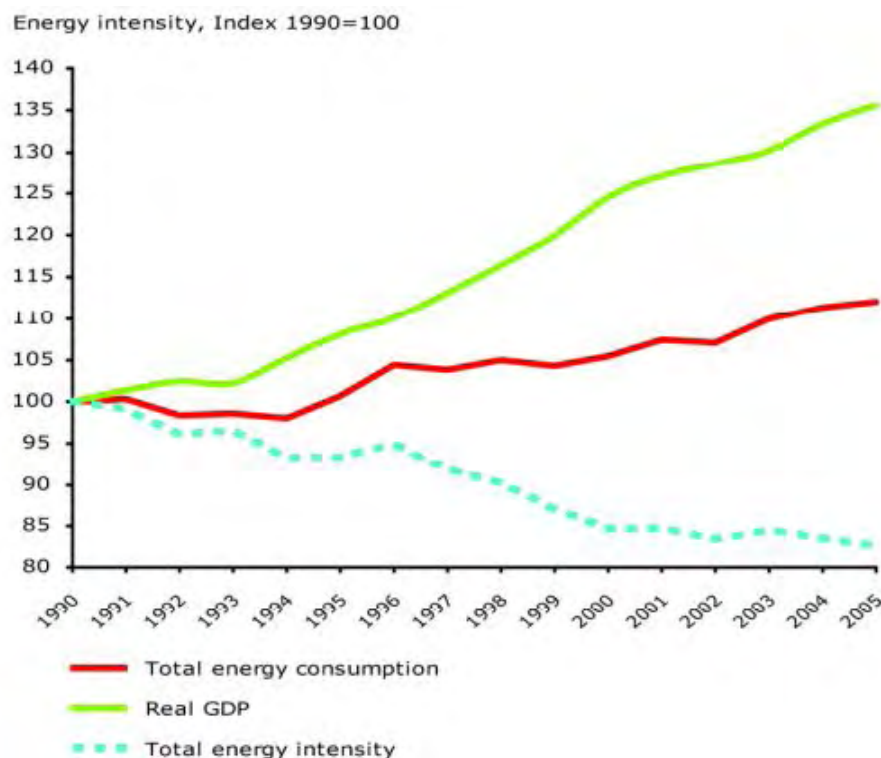
Προφανώς οι υψηλές τιμές των καυσίμων αποτέλεσαν τον κινητήριο μοχλό της αύξησης της απόδοσης των συσκευών και της μείωσης της κατανάλωσης από τους πολίτες, αλλά σημαντικό ρόλο έπαιξαν και τα κίνητρα που θέσπισαν οι διάφορες κυβερνήσεις. Στις Η.Π.Α. και αλλού τα κίνητρα αυτά άρχισαν να ατονούν ή και να αναιρούνται μετά την επαναφορά των τιμών του πετρελαίου σε «κανονικά» επίπεδα στη δεκαετία του 1980. Αναλυτές υποστηρίζουν ότι αν δεν υπήρχε αυτή η «χαλάρωση» των μέτρων, το σημερινό τεχνολογικό επίπεδο των ΑΠΕ και της εξοικονόμησης ενέργειας θα ήταν αρκετά υψηλότερο.



**Σχήμα 2.4.** Συσχέτιση της κατανάλωσης της ενέργειας και της οικονομίας των Η.Π.Α. από το 1960 μέχρι το 1990 (Πηγή: Brower, 1997).

Το Σχήμα 2.5 παρουσιάζει την εξέλιξη της οικονομίας και της κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 1990 μέχρι το 2000 με βάση τα στοιχεία του 1990. Και εδώ παρατηρείται μία σταδιακή βελτίωση της έντασης της ενέργειας, ως συνέχεια από τη δεκαετία του '80.





**Σχήμα 2.5.** Συσχέτιση της κατανάλωσης της ενέργειας και της οικονομίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης από το 1990 μέχρι το 2005 (Πηγή: European Environmental Agency).

Οι διάφορες τελικές χρήσεις της ενέργειας ταξινομούνται συνήθως στους παρακάτω τομείς:

- (1) Οικιακός τομέας (θέρμανση, μαγείρεμα, κλιματισμός, θερμό νερό, φωτισμός κτλ.).
- (2) Εμπορικός τομέας (και άλλες τριτογενείς δραστηριότητες). Μερικές φορές οι δύο πρώτοι τομείς αναφέρονται μαζί.
- (3) Βιομηχανικός τομέας (χημική, μηχανουργική, μεταλλουργική και άλλες βιομηχανίες, εξόρυξη ορυκτών και καυσίμων, βιομηχανία τροφίμων κτλ. Δεν περιλαμβάνεται η ενέργεια που καταναλώνεται στη μεταφορά των πρώτων υλών και των προϊόντων.)
- (4) Τομέας μεταφορών (δεν περιλαμβάνονται τα καύσιμα για ορισμένες δραστηριότητες, όπως το ψάρεμα, αλλά περιλαμβάνονται τα καύσιμα για τη μεταφορά πρώτων υλών και προϊόντων της βιομηχανίας).

Σε γενικές γραμμές, οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν το μεγαλύτερο μέρος

της ενέργειας που καταναλώνουν για οικιακούς σκοπούς. Αντίθετα, οι αναπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούν σημαντικό μέρος της ενέργειας για την ανάπτυξη της βιομηχανίας. Αν ληφθούν μαζί ο οικιακός και ο εμπορικός τομέας, τότε προσεγγιστικά η καταναλισκόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται ισόποσα στους τρεις κύριους τομείς, με τον τομέα των μεταφορών να κυριαρχεί τα τελευταία χρόνια. Οι γεωγραφικές και οι κλιματολογικές συνθήκες, το επίπεδο εκβιομηχάνισης κτλ. επηρεάζουν προφανώς τη συμμετοχή των διαφόρων τομέων. Και στους τέσσερις τομείς υπάρχει σημαντικό περιθώριο για εξοικονόμηση ενέργειας.

Η κατανάλωση ενέργειας στην Ε.Ε. τα τελευταία χρόνια αυξάνεται και αυτή με μικρό ρυθμό (λίγο μικρότερο του 1%, Σχήμα 1.20), αν και στις αρχές της δεκαετίας του 90 (1990-1995) φαινόταν να σταθεροποιείται. Περίπου το ένα τρίτο της ενέργειας που καταναλίσκεται στην Ε.Ε. χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία (>550 ΜΤΠΠ/έτος), ενώ περίπου το 50% της ενέργειας αυτής χρησιμοποιείται με τη μορφή θερμότητας σε διάφορες διεργασίες. Η καταναλισκόμενη ενέργεια στη βιομηχανία παρουσίασε συστηματική μείωση από το 1974 μέχρι το 2000. Αυτή η εξέλιξη αντιστοιχεί σε σημαντική βελτίωση της έντασης ενέργειας στη βιομηχανία περισσότερο του 40% για το διάστημα 1974-2000 [8]. Η βελτίωση της έντασης ενέργειας στο παραπάνω χρονικό διάστημα οφείλεται τόσο σε σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, όσο και σε δομικές αλλαγές της ευρωπαϊκής βιομηχανίας. Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι αυξήθηκε η συμμετοχή του φυσικού αερίου και του ηλεκτρισμού στο ισοζύγιο της βιομηχανικής ενέργειας, εις βάρος των στερεών καυσίμων και του πετρελαίου.

## **2.7.2 Ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών – τι λέει για το περιβάλλον, την ενέργεια και τις μεταφορές;**

Στα περισσότερα (ίσως όλα) τα έγγραφα που έχουν δημοσιευθεί από την Επιτροπή που υποστηρίζει μια κοινή ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών, τα περιβαλλοντικά προβλήματα και η κατανάλωση ενέργειας ήταν τα σημαντικότερα ζητήματα ενδιαφέροντος (που ακολουθείται από τη δραματική αύξηση της κυκλοφοριακής συμφόρησης), και ο σημαντικός ρόλος των αστικών και περιφερειακών μεταφορών σε αυτές τις προβληματικές περιοχές έχει αναγνωριστεί ευρέως. Το 1990 δημοσιεύθηκε η πράσινη βίβλος, (Στο αστικό περιβάλλον, COM(90)218,). Ανέφερε ότι η βιομηχανία και η θέρμανση, ευθύνονταν κατά το παρελθόν, για ένα μεγάλο μέρος των αστικών προβλημάτων ατμοσφαιρικής ρύπανσης,

αλλά και ότι ουσιαστική βελτίωση έχει επιτευχθεί μέσω των τεχνολογικών βελτιώσεων. Για την κυκλοφορία, η περίπτωση είναι διαφορετική, δεδομένου ότι η τεχνολογική ανάπτυξη - που οδηγεί στους μειωμένους συντελεστές εκπομπών – αντισταθμίζεται με μια δραματική αύξηση στην ιδιοκτησία και την κυκλοφορία αυτοκινήτων. Σχετικά με τη συγκεκριμένη εστίαση αυτού του εγγράφου, (εκτίμηση της εκπομπής των ατμοσφαιρικών ρύπων στο αστικό περιβάλλον), συζητάται επίσης η έλλειψη κοινών προτύπων για τη συλλογή και μέτρηση σχετικών στοιχείων με την ποιότητα του αέρα. Παραδείγματος χάριν, η έλλειψη τέτοιων προτύπων εμποδίζει μια κατάλληλη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που οι κοινοτικές οδηγίες μπορεί να είχαν, ή μπορεί να έχουν στο μέλλον, για την περιβαλλοντική ποιότητα. Τέτοιες οδηγίες μπορούν παραδείγματος χάριν να έχουν σχέση με τα επίπεδα στόχων για τη συγκέντρωση, τα πρότυπα εκπομπής, το όχημα, τις τεχνολογίες καυσίμου κ.λπ.

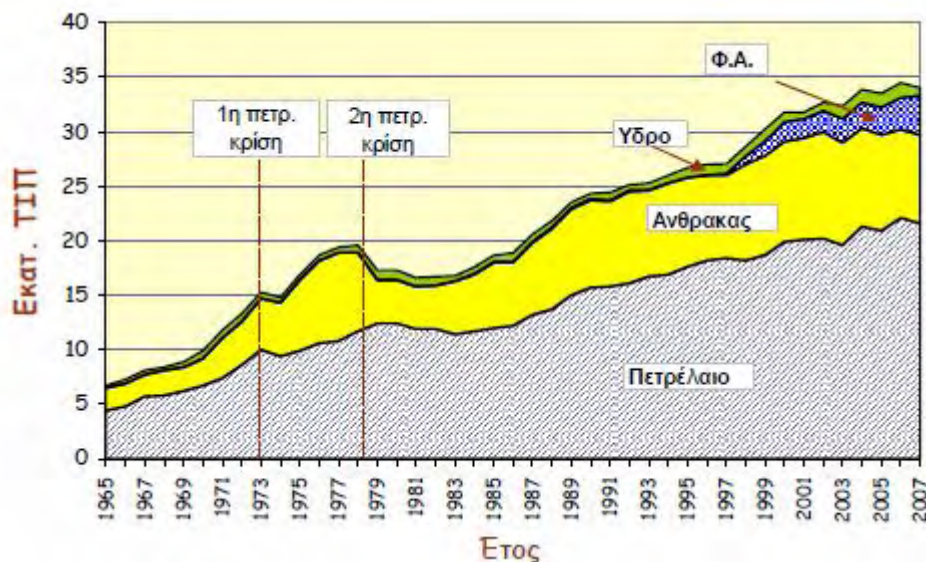
Μία νέα πράσινη βίβλος, που εστιάζει όχι μόνο στα αστικά περιβαλλοντικά προβλήματα, δημοσιεύθηκε το 1992 (Η επίδραση της μεταφοράς στο περιβάλλον, COM(92)46), σε απάντηση ψηφίσματος του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, που υιοθετήθηκε το 1991, όπου το Κοινοβούλιο "ζητά από την επιτροπή να υποβάλει στο συμβούλιο ένα πρόγραμμα πλαισίου για τη βέλτιστη περιβαλλοντική προστασία στην ευρωπαϊκή αγορά μεταφορών." Εδώ μια στρατηγική διατυπώνεται για την εισαγωγή καθαρότερων τεχνολογιών. Αυτή η στρατηγική συνδυάζει τις μελλοντικές τιμές και τις ημερομηνίες στόχων για την υποχρεωτική εισαγωγή της τεχνολογίας χαμηλής- εκπομπής ρύπων, με φορολογικές πρωτοβουλίες ενθάρυνσης της βιομηχανίας και των ατόμων να επιλέξουν εκείνες τις εναλλακτικές λύσεις πριν από την προκαθορισμένη ημερομηνία στόχων. Η συζήτηση εισάγει επίσης τη σημασία των λειτουργικών χαρακτηριστικών στις εκπομπές ρύπων. Αυτό γίνεται με την αναγνώριση της μεγάλης σημασίας των παραλλαγών του ποσοστού κατοχής (όντας, παραδείγματος χάριν μόνο περίπου 1 πρόσωπο ανά αυτοκίνητο κατά τη διάρκεια των περιόδων αιχμής), και αφετέρου με την υποβολή ευνοϊκών προτάσεων για το περιβάλλον. Αν και στρέφεται συγκεκριμένα στη δημόσια μεταφορά, η πράσινη βίβλος, Το δίκτυο του πολίτη, COM(95)601, που δημοσιεύτηκε το 1995, εκθέτει περισσότερες γενικές πρωτοβουλίες που στοχεύουν στη μείωση της περιβαλλοντικής πίεσης από την κυκλοφορία. Μια τέτοια πρωτοβουλία είναι μια προτεινόμενη περιεκτική οδηγία πλαισίου για την ποιότητα του αέρα, που επιβάλλει μειωμένες τιμές στόχων για εκείνους τους ρύπους των οποίων οι τιμές έχουν ήδη τεθεί, και εισαγωγή τιμών στόχων για μια ευρύτερη σειρά ρύπων. Η πράσινη βίβλος, προς μια δίκαιη και αποδοτική τιμολόγηση στη μεταφορά COM(95)691, εξετάζει

διαφορετικές προσεγγίσεις για να φέρει το πραγματικό κόστος της μεταφοράς πιο κοντά στο χρήστη.

Σαν μέρος της επιχειρηματολογίας, ο ρόλος των διαφορετικών μέσων "επιρροής" για τη μείωση της εκπομπής ρύπων συζητείται. Ουσιαστικές μειώσεις της εκπομπής ρύπων έχουν ήδη επιτευχθεί με την θέσπιση νομοθετικών ορίων στα πρότυπα εκπομπής υπό τους "χαρακτηριστικούς" όρους οδήγησης. Εντούτοις, σύμφωνα με τη βασική προσέγγιση της τιμολόγησης οριακού κόστους, μια "βέλτιστη" μέθοδος για τέτοιες μειώσεις, θα έδινε τα κίνητρα στους οδικούς χρήστες, παραδείγματος χάριν, αλλαγής της οδηγικής τους συμπεριφοράς (επιλογή ταχύτητας). Τα τεχνικά προβλήματα, εντούτοις, απαγορεύουν προς το παρόν μια τέτοια βέλτιστη διαδικασία για την τιμολόγηση των εκπομπών. Με τον ίδιο τρόπο όπως τα προηγούμενα έγγραφα, η πρόσφατα δημοσιευμένη λευκή βίβλος, Ευρωπαϊκή πολιτική μεταφορών για το 2010: η ώρα των αποφάσεων, δίνει πολλή έμφαση στα περιβαλλοντικά προβλήματα, και ειδικά στην ποιότητα του αέρα. Όπως και στη γενική δημόσια συζήτηση, η βασική εστίαση εντούτοις έχει μετατοπιστεί από τους τοπικούς ρύπους στη παγκόσμια απειλή των αερίων του θερμοκηπίου. Μια μείωση τέτοιων εκπομπών απαιτείται, και η λευκή βίβλος προτείνει ότι οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από την οδική κυκλοφορία πρέπει να μειωθούν κατά 25% πριν από το έτος 2020. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, μια συνδυασμένη στρατηγική προτείνεται, περιλαμβάνοντας και τη συνεργασία με τη βιομηχανία και την διαχείριση της ταχύτητας, για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, σε συνδυασμό με μέτρα που στοχεύουν σε μια μείωση των διανυομένων οχημάτων – χιλιομέτρων [7].

### **2.7.3 Η Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα**

Η κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας στην Ελλάδα τα τελευταία 40 χρόνια παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.6, στο οποίο παρατηρείται μία σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Από το 1965 μέχρι σήμερα η κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα αυξήθηκε περίπου 5 φορές, ενώ η αντίστοιχη αύξηση για τον κόσμο ήταν 2,7 φορές και για την Ε.Ε. 1,8 φορές. Τα τελευταία 10 χρόνια (1996-2005) η κατανάλωση παρουσιάζει αύξηση~24%, μεγαλύτερη από τη μέση αύξηση στον κόσμο που ήταν 20%.



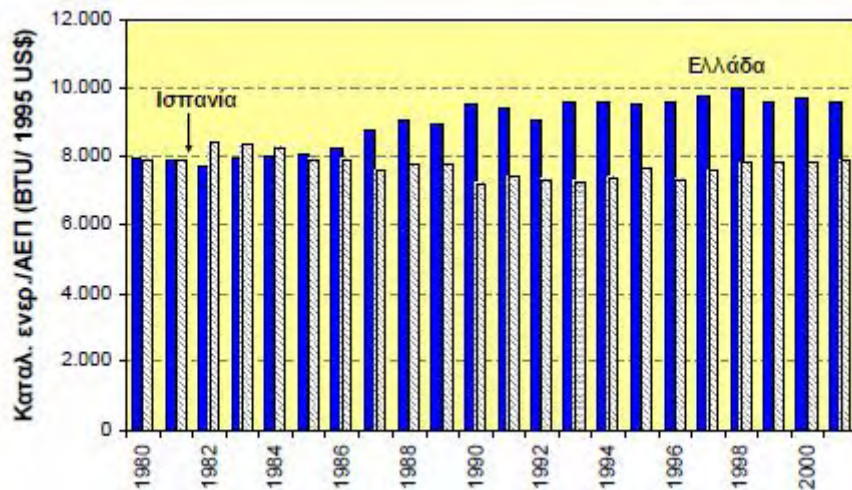
**Σχήμα 2.6.** Εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1965-2007. (Πηγή: BP statistical review, 2008.)

Η χώρα μας εξαρτάται ενεργειακά από το εισαγόμενο πετρέλαιο, το οποίο συμμετέχει κατά 62% στη συνολική παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας, ποσοστό που είναι το μεγαλύτερο στην Ε.Ε. Αν και οι πηγές προέλευσης του πετρελαίου στα τέσσερα διυλιστήρια της χώρας (ΕΛΔΑ και ΕΚΟ των ΕΛΠΕ, Petrolia και Motor Oil) ποικίλλουν, το Ιράν, η Ρωσία και η Σαουδική Αραβία αποτελούν τις χώρες από τις οποίες εισάγονται περίπου τα δύο τρίτα των συνολικών εισαγωγών αργού πετρελαίου. Η εγχώρια παραγωγή (κοίτασμα Πρίνου) καλύπτει ένα πολύ μικρό ποσοστό των αναγκών της χώρας. Το φυσικό αέριο άρχισε να διανέμεται στην Ελλάδα το 1996, και αυτή τη στιγμή συμμετέχει με ~7% στην πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας. Το φυσικό αέριο, εκτός από μία μικρή εγχώρια παραγωγή της τάξης του 2%, εισάγεται από τη Ρωσία με αγωγό (οι μεγαλύτερες ποσότητες) και από την Αλγερία με κρυογονικά πλοία στο σταθμό της Ρεβυθούσας. Η ζήτηση φυσικού αερίου αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά και για το 2010 και να φτάσει τα 3 εκατ. ΤΠΠ.

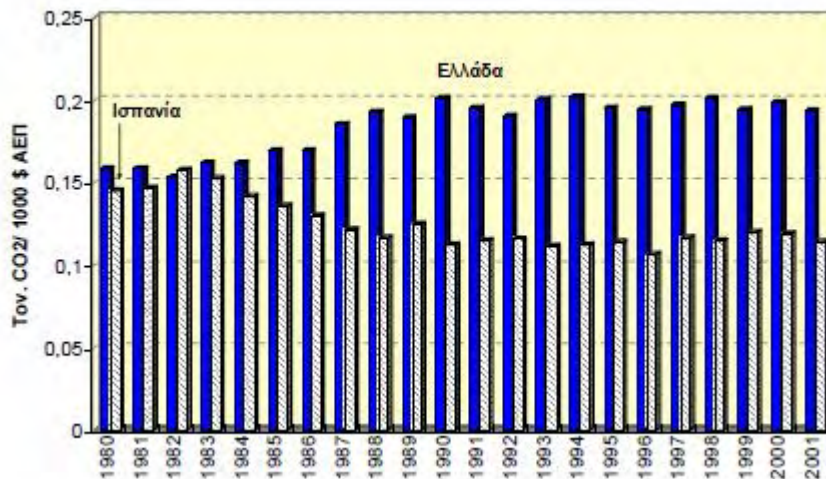
Ο λιγνίτης αποτελεί το μόνο εγχώριο καύσιμο και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή. Καλύτερης ποιότητας άνθρακας και μικρές ποσότητες κοκ εισάγονται και χρησιμοποιείται σε ορισμένες βιομηχανίες

(τσιμεντοβιομηχανίες και μεταλλουργικές). Ο κυρίαρχος ρόλος των λιγνιτικών μονάδων είναι προφανής, αν και τα τελευταία χρόνια η συμμετοχή των μονάδων φυσικού ερίου έχει αυξηθεί σημαντικά. Περίπου άλλα 800 MW είναι εγκατεστημένα στην Ελλάδα από ιδιωτικούς φορείς και αφορούν κυρίως σε συμπαραγωγή και αιολική ενέργεια. Η υδροηλεκτρική ισχύς συνεισφέρει κατά 3,9% στην παραγωγή ενέργειας κατά το 2005, με συνολική εγκατεστημένη ισχύ που υπερέβαινε 3000 MWe. Τέλος, εκτιμάται ότι η βιομάζα συνεισφέρει περίπου 3% στον ενεργειακό εφοδιασμό της χώρας. Αναφορικά με την ένταση ενέργειας, το μέγεθος αυτό αυξάνει ή μένει οριακά σταθερό τα τελευταία δέκα χρόνια, σε αντίθεση από ό,τι συμβαίνει στις περισσότερες αναπτυγμένες χώρες. Το Σχήμα 2.7 παρουσιάζει την εξέλιξη του δείκτη αυτού στην Ελλάδα και στην Ισπανία από το 1981 μέχρι το 2001. Η ένταση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα είναι σχετικά μικρή (λόγω της μικρής συμμετοχής της βαριάς βιομηχανίας) και ακολουθεί την εξέλιξη των αντίστοιχων δεικτών για τις χώρες της Ε.Ε. Η ένταση ενέργειας στον οικιακό/εμπορικό τομέα, αν και μικρότερη από τον αντίστοιχο δείκτη για τις χώρες της Ε.Ε. λόγω κλιματικών συνθηκών, εντούτοις αυξάνει βαθμιαία και αναμένεται να πλησιάσει στο μέσο όρο των χωρών της Ε.Ε. σε μερικά χρόνια. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στην αύξηση του εισοδήματος των πολιτών, στην αύξηση της συμμετοχής του τουρισμού στην ενεργειακή χρήση και στην αύξηση των κλιματιστικών συσκευών.

Τέλος, η ένταση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών είναι η υψηλότερη στην Δυτική Ευρώπη, όπου ο δείκτης αυτός μένει σχεδόν σταθερός. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί μερικά από τον πεπαλαιωμένο στόλο των αυτοκινήτων στην χώρα μας, στο οδικό δίκτυο, στη μικρή συμμετοχή των σιδηροδρόμων, και βεβαίως στις ιδιαίτερες γεωγραφικές συνθήκες με την ύπαρξη εκατοντάδων νησιών και έντονου ορεινού αναγλύφου. Τα νησιά, λόγω των μικρών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής με πετρέλαιο, συνεισφέρουν και στην αύξηση της έντασης ενέργειας στο βιομηχανικό τομέα. Η ανανέωση του στόλου των αυτοκινήτων και η κατασκευή σύγχρονων αυτοκινητοδρόμων είναι σίγουρο ότι θα βοηθήσει στη μείωση της έντασης ενέργειας στον τομέα των μεταφορών. Η ένταση άνθρακα ακολουθεί τα πρότυπα της έντασης ενέργειας και παραμένει σχετικά υψηλή για τη χώρα μας (Σχήμα 2.8).

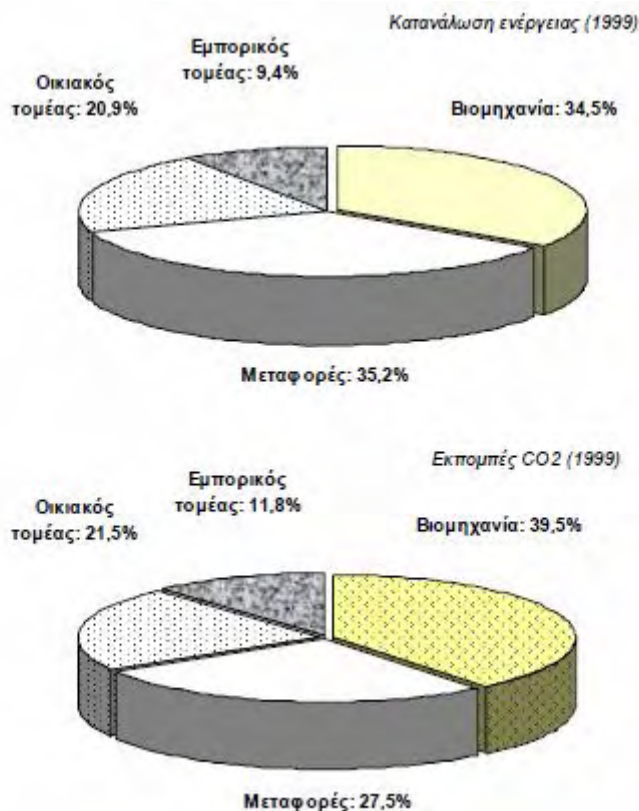


*Σχήμα 2.7. Εξέλιξη της έντασης ενέργειας στην Ελλάδα και την Ισπανία για την περίοδο 1980- 2001 (πηγή: <http://www.eia.doe.gov/pub/international/iealf/tablee1g.xls>).*



*Σχήμα 2.8. Εξέλιξη της έντασης άνθρακα στην Ελλάδα για την περίοδο 1980-2001. Η κατανομή της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά τομέα δραστηριότητας δίνονται στα διαγράμματα του Σχήματος 2.9, με τον τομέα των μεταφορών αυξάνει συστηματικά με τα χρόνια. Οι κατανομές αυτές είναι συγκρίσιμες με αντίστοιχες κατανομές στην Ε.Ε.*





**Σχήμα 2.9.** Η συμμετοχή των διάφορων τομέων στην κατανάλωσης ενέργειας (επάνω) και στις εκπομπές CO<sub>2</sub> (κάτω) από την καύση ορυκτών καυσίμων στον κόσμο για το 2000.

Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από την καύση των ορυκτών καυσίμων στη χώρα μας ακολουθούν κατά κανόνα την αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Η Ελλάδα βρίσκεται στην κορυφή των χωρών του ΟΟΣΑ στις εκπομπές CO<sub>2</sub> ανά μονάδα κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας (Σχήμα 2.7) και κύρια αιτία για αυτό το γεγονός αυτό είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται (σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%) στην καύση ενός πτωχού άνθρακα, του λιγνίτη. Ο Πίνακας 2.6 συνοψίζει διάφορα σενάρια για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στη χώρα μας. Αλλαγές στο είδος του καυσίμου (διείσδυση του φυσικού αερίου) και αυξημένη απόδοση της ηλεκτροπαραγωγής μπορεί οδηγήσουν σε σημαντική μείωση τις εκπομπές του CO<sub>2</sub>. Τα σχέδια της ΔΕΗ (που ουσιαστικά μονοπωλεί την παραγωγή και διανομή του ηλεκτρισμού) για τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> συνοψίζονται ως εξής:

- μεγαλύτερη συμμετοχή του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή
- συμπλήρωση των υδροηλεκτρικών μονάδων και χρήση αντλησιοταμίευσης
- εισαγωγή των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και κυρίως της αιολικής ενέργειας
- βελτίωση του βαθμού απόδοσης των λιγνιτικών μονάδων



- διαφήμιση και προώθηση της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας

Η Ελλάδα έχει επικυρώσει το πρωτόκολλο του Kyoto. Με τη συμφωνία αυτή η Ελλάδα επιτρέπεται να αυξήσει τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου το 2008-2012 κατά 25% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Βέβαια, ήδη οι εκπομπές αυτές το 2006 είχαν αυξηθεί κατά 24,4% από τα επίπεδα του 1990 και φαίνεται πιθανή η επίτευξη του στόχου [8].

**Πίνακας 2.6.** Δυναμικό μείωσης των εκπομπών στην Ελλάδα για το 2010  
(Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, Ιούνιος 1997.)

Μορφή Ενέργειας	Αθροιστικό δυναμικό μείωσης εκπομπών CO <sub>2</sub> 1990-2000 (Μt CO <sub>2</sub> )	Μερίδιο (%)
Ηλεκτρισμός	6,73	50%
Υποκατάσταση με φυσικό αέριο	4,20	31,3
Υποκατάσταση με αιολικά	1,00	7,5
Υποκατάσταση με βιομάζα	0,75	5,6
Βελτιωμένη απόδοση λιγνιτικών μονάδων	0,30	2,2
Μικρά υδροηλεκτρικά	0,22	1,6
Άλλα: γεωθερμία, συμπαραγωγή	0,26	1,9
Οικιακός / εμπορικός τομέας	2,14	16%
Υποκατάσταση με φυσικό αέριο	1,09	8,1
Βελτίωση φωτισμού	0,71	5,3
Βελτίωση καυστήρων, λεβήτων	0,34	2,5
Βιομηχανία	2,01	15%
Βελτίωση ενεργειακής απόδοσης	1,29	9,6
Υποκατάσταση με φυσικό αέριο	0,72	5,4
Μεταφορές	1,27	9%
Βελτίωση υποδομών	0,91	6,8
Μέτρα σε καύσιμα και αυτοκίνητα	0,36	2,7
Μη-ηλεκτρικές χρήσεις ΑΠΕ	1,24	9%
Ηλιακά συστήματα	0,98	7,3
Βιομάζα-βιοκαύσιμα και θέρμανση	0,16	1,2
Νέα συστήματα ΑΠΕ	0,10	0,7
<b>ΣΥΝΟΛΟ από τα οποία:</b>	<b>13,38</b>	<b>100%</b>
από τη διείσδυση του φυσικού αερίου	6,01	45%
από ΑΠΕ	3,27	24%
από βελτίωση ενεργειακής απόδοσης	2,34	17%

## 2.7.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεταφορών

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, σχεδόν το ένα τρίτο όλης της ενέργειας χρησιμοποιείται για τις μεταφορές. Επιπλέον, η χρήση της ενέργειας για τις μεταφορές αυξάνεται, ενώ άλλες χρήσεις είναι σχετικά σταθερές μεταξύ του 1980 και του 1995. Η χρήση ενέργειας μεταφορών αυξήθηκε κατά περίπου 45%, ενώ αυτή που χρησιμοποιείται για τη βιομηχανία και άλλους σκοπούς μειώθηκαν ελαφρώς (0.5%). Η ζήτηση για τη μεταφορά είναι πολύ

συνδεδεμένη με την οικονομική ανάπτυξη. Η μεταφορά είναι ένα πολύ πολύτιμο και απαραίτητο μέρος της σύγχρονης κοινωνίας αλλά, όλο και περισσότερο, η διαδεδομένη ύπαρξή της αναγνωρίζεται ως σημαντικός παράγοντας σε μια εκτενή σειρά ανεπιθύμητων παρενεργειών. Η συμφόρηση κυκλοφορίας καθιστά τις πόλεις λιγότερο ευχάριστες και μειώνει την αποδοτικότητα του μεταφορικού συστήματος μέσω της αύξησης του χρόνου ταξιδιών, της κατανάλωσης καυσίμου και του stress των οδηγών. Μια σημαντική καταστρεπτική περιβαλλοντική επίδραση των μεταφορών είναι η συμβολή τους στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Κάθε λίτρο καυσίμου που καίγεται παράγει, κατά προσέγγιση, 100 γραμμάρια μονοξειδίου του άνθρακα, 20 γραμμάρια πτητικών οργανικών ενώσεων, 30 γραμμάρια οξειδίων του αζώτου, 2,5 κιλά διοξειδίου του άνθρακα και ποικίλες άλλες εκπομπές συμπεριλαμβανομένων των ενώσεων μολύβδου και των ενώσεων θείου. Όλες αυτές οι ενώσεις συνδέονται σε μερικό βαθμό με τα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που κυμαίνονται από τις τοπικές άμεσες επιπτώσεις στην υγεία, στις παγκόσμιες ανησυχίες όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

**Εικόνα 2.2**

**Ατμοσφαιρικοί ρύποι και υγεία**

Ρύπος	Κύρια πηγή	Κυριότερες συνέπειες στην υγεία
<b>Βενζόλιο</b>	Αυτοκίνητα Χημική βιομηχανία	Προκαλεί καρκίνο Προσβάλλει το κεντρικό νευρικό σύστημα
<b>Βαρέα μέταλλα</b> (π.χ. αρσενικό, κάδμιο, μόλυβδος, υδράργυρος και νικέλιο)	Βιομηχανικές δραστηριότητες Παραγωγή ενέργειας Αυτοκίνητα	Προκαλούν καρκίνο Δημιουργούν προβλήματα στην πεπτική λειτουργία Προκαλούν βλάβες στο νευρικό σύστημα
<b>Διοξείδιο του αζώτου</b>	Αυτοκίνητα Άλλες δραστηριότητες όπου χρησιμοποιούνται καύσιμα	Προκαλεί ασθένειες του αναπνευστικού Προσβάλλει τους ιστούς των πνευμόνων
<b>Οζόν</b>	Μετουσίωση των οξειδίων του αζώτου και των πτητικών οργανικών ενώσεων που παράγονται από την οδική κυκλοφορία, με το φως της ημέρας	Δημιουργεί αναπνευστικά προβλήματα Βλάπτει τη λειτουργία των πνευμόνων Επιδεινώνει το άσθμα Ερεθίζει τα μάτια και τη μύτη Μειώνει την αντίσταση σε λοιμώξεις
<b>Αιωρούμενα σωματίδια</b>	Κατανάλωση καυσίμων — π.χ. ντίζελ και ξύλων Βιομηχανία Γεωργία — π.χ. όργανο, εμπρησμός δασών για τη δημιουργία καλλιεργούμενων εκτάσεων Δευτερογενείς χημικές αντιδράσεις	Προκαλούν καρκίνο Δημιουργούν καρδιακά προβλήματα Προκαλούν αναπνευστικές νόσους Αυξάνουν τη βρεφική θνησιμότητα
<b>Διοξείδιο του θείου</b>	Κατανάλωση καυσίμων	Προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα

*Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή: Καθαρός αέρας για τις πόλεις της Ευρώπης, 1997.*

Πηγή εικόνας : [http://ec.europa.eu/environment/archives/eufocus/clean\\_air\\_el.pdf](http://ec.europa.eu/environment/archives/eufocus/clean_air_el.pdf)

## 2.7.5 Ρυπογόνες Ουσίες

Ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών εκπομπών που προέρχονται από τις δραστηριότητες μεταφορών θεωρούνται γενικά ως ρύποι. Τα ποσοστά παραγωγής (δηλ. οι συντελεστές εκπομπών) για μερικούς από τους ρύπους έχουν ερευνηθεί λεπτομερώς, και είναι επομένως γνωστά, ενώ για άλλους υπάρχουν περιορισμένα στοιχεία, τα οποία είναι συχνά ανεπαρκή για να είναι αντιπροσωπευτικά των σχετικών δραστηριοτήτων. Συνεπώς, είναι πιθανό αυτήν την περίοδο να βρεθούν οι πλήρως βασισμένοι συντελεστές εκπομπών για μερικούς από τους ρύπους και τις κατηγορίες οχημάτων, ενώ για άλλους είναι πιθανό να παρασχεθούν μόνο εκτιμήσεις μεγέθους των συντελεστών εκπομπών, ή και πολύ μικρές διαθέσιμες πληροφορίες. Ο γενικός κατάλογος ρύπων περιλαμβάνει :

- διοξείδιο του άνθρακα - CO<sub>2</sub> (που δεν καθορίζεται ως ρύπος από τη νομοθεσία, αλλά θεωρείται εδώ λόγω της συμβολής του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου),
- μονοξείδιο του άνθρακα – CO,
- ασταθείς οργανικές ενώσεις (που αναφέρονται επίσης ως υδρογονάνθρακες) - VOC (HC),
- οξείδια του αζώτου – NO<sub>X</sub>,
- σωματίδια – PM,
- διοξείδιο θείου - SO<sub>2</sub>,
- ενώσεις μολύβδου – Pb,
- διοξείδιο του αζώτου - NO<sub>2</sub>,
- αμμωνία - NH<sub>3</sub>, • νιτρώδες οξείδιο – N<sub>2</sub>O,
- άλλα βαριά μέταλλα - HM (κάδμιο, ψευδάργυρος, χαλκός, χρώμιο, νικέλιο, σελήνιο),
- Υδρόθειο - H<sub>2</sub>S.

Οι υδρογονάνθρακες (VOCs) περιλαμβάνουν έναν μεγάλο αριθμό διαφορετικών οργανικών ενώσεων, με ποικίλες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία, επομένως είναι ενδιαφέρουσα η περαιτέρω υποδιαίρεση αυτού του ρύπου σε δύο κατηγορίες:

- μεθάνιο - CH<sub>4</sub>,
- μη μεθανιούχοι υδρογονάνθρακες (NMVOC).

Μερικοί από τους μη μεθανιούχους υδρογονάνθρακες, είναι γνωστές μεταλλαξιογονικές ενώσεις. Μια γνωστή υποκατηγορία υδρογονανθράκων σε αυτό το πλαίσιο είναι οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH), το βενζόλιο (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) και 1,3-βουταδιένιο (C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>) [25]. Το θέμα σωματιδίων έχει επίσης διαφορετικά αποτελέσματα

ανάλογα με το μέγεθος τους. Έχει επομένως ενδιαφέρον η γνώση της διανομής μεγέθους τους. Επιπλέον, η κατανάλωση ενέργειας θεωρείται είτε από τον υπολογισμό του άνθρακα που περιέχει ρύπους στην περίπτωση της οδικής μεταφοράς, ή για τα μη-οδικά μέσα, ως βασική παράμετρος από την οποία άλλες εκπομπές υπολογίζονται.

## **2.7.6 Μέθοδοι υπολογισμού κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπής ρύπων**

Ποικίλες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν την κατανάλωση και τις εκπομπές ενέργειας, όπως εκτίθενται λεπτομερώς στα ακόλουθα μέρη της έκθεσης. Εξαρτώνται από το ρύπο, τον τρόπο μεταφοράς και τον τύπο οχημάτων, και είναι αναπόφευκτοι λόγω των ποικίλων ποσών και της ποιότητας των στοιχείων σε κάθε περίπτωση. Οι μέθοδοι μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κλάσεις:

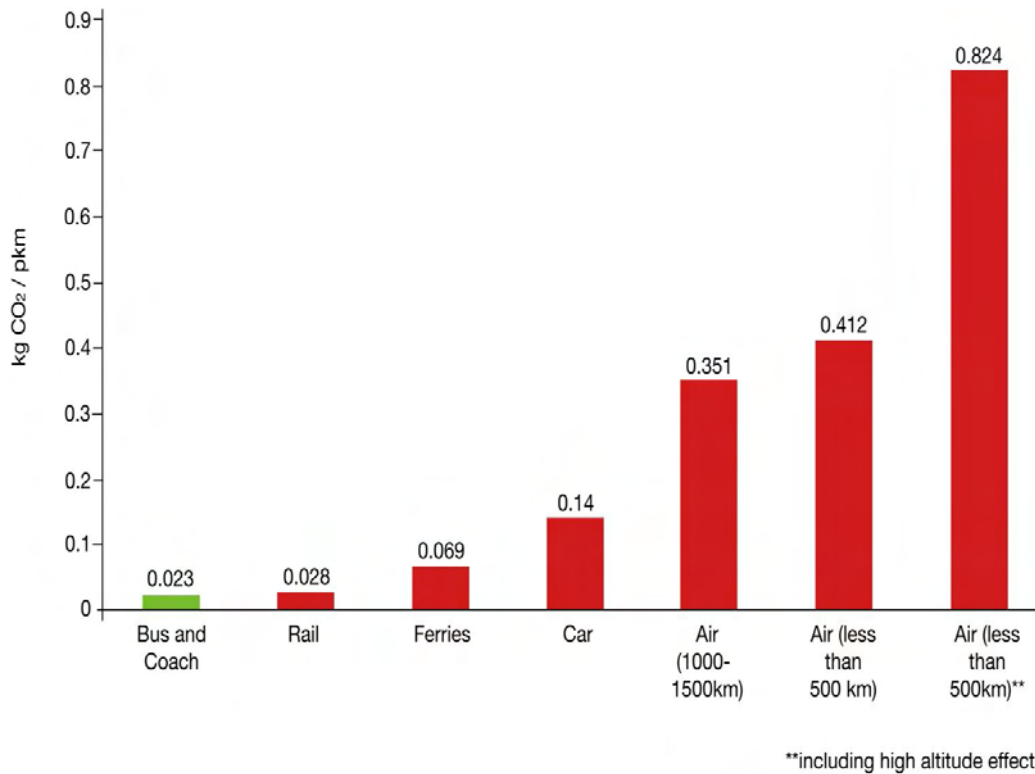
- υπολογισμός που βασίζεται στη δραστηριότητα μεταφοράς - αυτή είναι η βασική μέθοδος για τις πιο κοινές εκπομπές από τα οδικά οχήματα και για την κατανάλωση ενέργειας για τα μη-οδικά μέσα. Οι εκπομπές που υπολογίζονται κατ' αυτό τον τρόπο μπορούν να περιλάβουν τις εκπομπές θερμότητας, τις εκπομπές έναρξης ταξιδιού όταν δεν θερμαίνεται πλήρως η μηχανή, και τις εκπομπές εξάτμισης.
- υπολογισμός που βασίζεται στην κατανάλωση ενέργειας - αυτή είναι η πρότυπη μέθοδος για τις εκπομπές από τα μη-οδικά μέσα, και επίσης για τις εκπομπές SO<sub>2</sub> και PB από τα οδικά οχήματα. Οι τύποι εκπομπής εξαρτώνται από εκείνους που περιλαμβάνονται στην εκτίμηση κατανάλωσης ενέργειας.
- υπολογισμοί ισορροπίας άνθρακα - υπολογισμοί κατανάλωσης καυσίμου ή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να βασιστούν στην εξίσωση που αντιπροσωπεύει τη μαζική ισορροπία του άνθρακα στο καύσιμο και τα προϊόντα καύσης του για τα οδικά οχήματα (με τις μηχανές καύσης). Η μέθοδος εφαρμόζεται για να υπολογίσει την κατανάλωση καυσίμου, ενώ για άλλα μέσα χρησιμοποιείται για να υπολογίσει το CO<sub>2</sub>. Εναλλακτικά αυτή η μέθοδος μπόρεσε να εφαρμοστεί για να υπολογίσει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα στοιχεία κατανάλωσης καυσίμου για την οδική μεταφορά.
- συγκεκριμένοι μολυσματικοί υπολογισμοί - μερικοί ρύποι είναι υποκατηγορίες άλλων (π.χ. οι κατηγορίες υδρογονανθράκων είναι μέρος του συνολικού VOC, τα μέρη μεγέθους των σωματιδίων είναι μέρος του συνόλου PM). Οι εκτιμήσεις μπορούν να γίνουν από το βασικό ρύπο και τις λεπτομέρειες στην διανομή και το μέγεθος.

### **2.7.7 Πως τα μέσα μαζικής μεταφοράς βοηθούν στη μείωση της εκπομπής ρύπων**

Είναι λοιπόν, εύκολα αντιληπτό από όλα τα παραπάνω πόσο σημαντικός είναι ο τομέας των μεταφορών για την κλιματική αλλαγή και για την ποιότητα του αέρα τόσο για λόγους υγείας όσο και για λόγους περιβάλλοντος. Ιδιαίτερα η χρήση των ιδιωτικών αυτοκινήτων, όπως έχει προαναφερθεί , παρά τα ποικίλα πλεονεκτήματα που έχουν (δε χρειάζεται να τηρείς δρομολόγια, επιλέγεις τη διαδρομή κτλ) συνδέονται και με τεράστια προβλήματα, όπως είναι:

- Συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην ρύπανση του αέρα και την ηχορρύπανση
- Καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας ανά επιβάτη
- Προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση και ηχορύπανση ιδιαίτερα στις πόλεις. Η συμμετοχή του αυτοκινήτου στη συνολική ατμοσφαιρική ρύπανση είναι:
- 60% για το διοξείδιο
- 50% για τους υδρογονάνθρακες
- 30% για τα οξείδια του αζώτου
- 3,5% για το διοξείδιο του άνθρακα.

Στον αντίποδα, η προώθηση των Δημοσίων Συγκοινωνιών είναι ίσως η καλύτερη λύση για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, της ρύπανσης και κατ' επέκταση της κλιματικής αλλαγής. Οι Δημόσιες Συγκοινωνίες καταναλώνουν 3 με 4 φορές λιγότερη ενέργεια ανά επιβάτη ανά χιλιόμετρο από τα αυτοκίνητα. Παράλληλα, εκπέμπουν λιγότερους ρύπους CO<sub>2</sub> σε σχέση με τα υπόλοιπα μέσα μεταφοράς, σύμφωνα με την Αμερικάνικη Ένωση Φυσικών.



Πηγή διαγράμματος : [www.eu-portal.net](http://www.eu-portal.net)

## Διάγραμμα 2.2

Εκπομπές ρύπων CO<sub>2</sub> στα διάφορα μέσα μαζικής μεταφοράς στην Αμερική.

Κάθε πολίτης ο οποίος χρησιμοποιεί τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς, το περπάτημα και το ποδήλατο για τις καθημερινές του μετακινήσεις καταναλώνει 500 με 600 λίτρα βενζίνης λιγότερα το χρόνο. Συγκεκριμένα:

1. Τα δημόσια μέσα μεταφοράς, μεταφέρουν το επιβατικό κοινό παράγοντας πολύ λιγότερη ατμοσφαιρική ρύπανση, σε σύγκριση με τη μετακίνηση ενός ατόμου με ένα αυτοκίνητο.
2. Τα λεωφορεία εκπέμπουν μόνο 20% μονοξείδιο του άνθρακα ανά επιβατικό μίλι, όπως ένα όχημα με έναν επιβάτη.
3. Τα λεωφορεία εκπέμπουν μόνο 10% υδρογονάνθρακες ανά επιβατικό μίλι, όπως και ένα όχημα με έναν επιβάτη.
4. Τα λεωφορεία εκπέμπουν μόνο 75% νιτρικά οξείδια ανά επιβατικό μίλι, όπως και ένα όχημα με έναν επιβάτη.
5. Τα τραίνα εκπέμπουν μόνο 25% νιτρικά οξείδια ανά επιβατικό μίλι, όπως ένα όχημα με έναν επιβάτη, και σχεδόν 100% λιγότερους υδρογονάνθρακες και μονοξείδια του

άνθρακα.

Ξεκάθαρα, η χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς κάνει σίγουρα τη διαφορά στην ποιότητα της ατμόσφαιρας και στη χρήση των φυσικών πηγών ενέργειας. Κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, όταν τα επίπεδα του βλαβερού όζοντος είναι ιδιαίτερα υψηλά, η χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς κάνει ακόμη μεγαλύτερη διαφορά, ιδιαίτερα για όσους έχουν προβλήματα υγείας και κυρίως αναπνευστικά προβλήματα [26].

Είναι επιτακτική ανάγκη, λοιπόν, η ύπαρξη δημόσιων μεταφορών, οι οποίες να είναι καλής ποιότητας, αξιόπιστες, τακτικές, συχνές, ασφαλείς και καθαρές, δίχως να είναι ακριβές. Είναι απαραίτητη η ύπαρξη κόμβων μετεπιβίβασης, όπου οι επιβάτες θα μπορούν να αλλάζουν εύκολα και γρήγορα μέσο μεταφοράς (λόγου χάρι, λεωφορείο/τραίνο, τραίνο/λεωφορείο). Αυτός είναι, άλλωστε και ο απώτερος σκοπός και το κίνητρο για την κατασκευή του multimodal δικτύου αυτής της μελέτης.

## **2.8 Αλγόριθμοι εύρεσης βέλτιστης διαδρομής**

Το πρόβλημα εύρεσης της συντομότερης διαδρομής (shortest path problem) σε δίκτυα οδικά, σιδηροδρομικά, δίκτυα κοινής ωφέλειας, δίκτυα τηλεπικοινωνιών κ.λπ., συνιστά ένα από τα θεμελιώδη προβλήματα της σύγχρονης επιστήμης των υπολογιστών και αφορά ένα πλήθος εφαρμογών πλοήγησης και σχεδιασμού δικτύων. Η συμβολή της θεωρίας των γράφων όσον αφορά την επίλυση προβλημάτων σε δίκτυα είναι σημαντική, καθώς η δομή ενός γράφου είναι κατάλληλη για τη μοντελοποίηση των δικτύων, των αντικειμένων τους και των συνδέσεων που υφίστανται μεταξύ των αντικειμένων αυτών. Το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής εκφράζεται κατά περίπτωση με ορισμένες διαφοροποιήσεις και ανάλογα με την περίπτωση, έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι προσαρμοσμένοι στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερο είναι ένα δίκτυο και όσο πιο πολύπλοκη καθίσταται η δομή του, ανάλογος είναι και ο βαθμός δυσκολίας που υπεισέρχεται κατά τις διαδικασίες επίλυσής του. Ως εκ τούτου, αρκετά προβλήματα που αφορούν την επίλυση δικτύων που αναπαρίστανται διαγραμματικά ως γράφοι, παραμένουν ακόμη άλυτα είτε λόγω του τεράστιου υπολογιστικού χρόνου που η επίλυσή τους

προϋποθέτει είτε λόγω περιορισμών μνήμης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, έχουν προταθεί διάφορες ad hoc προσεγγίσεις για την επίλυση αυτού του είδους των προβλημάτων, όπως για παράδειγμα το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή, αλλά η εξαγωγή μιας γενικής μεθοδολογίας που θα καθιστά δυνατή την επίλυση αποτελεί αντικείμενο περαιτέρω έρευνας και μελέτης.

Η ανάπτυξη εφαρμογών πλοήγησης, στις οποίες υπεισέρχεται συνήθως το ζήτημα εύρεσης συντομότερων διαδρομών σε δίκτυα, συνιστά έναν ραγδαία αναπτυσσόμενο κλάδο της πληροφορικής, με στόχο την προσφορά βελτιωμένων και αποτελεσματικών υπηρεσιών πλοήγησης στους χρήστες των εκάστοτε δικτύων. Οι διαρκώς αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών και οι απαιτήσεις για την εξαγωγή αποτελεσμάτων ακριβείας, καθιστούν απαραίτητη τη διαρκή αναβάθμιση και βελτίωση των υπηρεσιών αυτών μέσα από την εισαγωγή καινοτόμων μεθόδων, εργαλείων και τεχνικών δρομολόγησης. Η διαχείριση των χωρικών δεδομένων, η μοντελοποίησή τους, η χαρτογραφική αναπαράστασή τους και η επεξεργασία τους μέσα από την εφαρμογή αντίστοιχων αλγόριθμων δρομολόγησης συνιστούν μερικές από τις βασικότερες παραμέτρους που υπεισέρχονται στις διαδικασίες σχεδιασμού εφαρμογών δρομολόγησης. Η αποτελεσματική διαχείριση και ενσωμάτωση των παραπάνω παραμέτρων σε ολοκληρωμένες εφαρμογές δρομολόγησης απαιτεί συνήθως τη συνδυασμένη χρήση υπολογιστικών εργαλείων, όπως τα Συστήματα Διαχείρισης Χωρικών Βάσεων Δεδομένων, οι διαδικτυακές χαρτογραφικές υπηρεσίες κ.λπ., προκειμένου να καταστεί δυνατή η πολυδιάστατη διαχείριση των χωρικών δεδομένων που αφορούν τα στοιχεία και τα χαρακτηριστικά του εκάστοτε χωρικού δικτύου.

Οι εφαρμογές πλοήγησης προσφέρουν στους χρήστες τη δυνατότητα εύρεσης της βέλτιστης διαδρομής μέσω της οποίας είναι δυνατή η μετάβασή τους από το σημείο που βρίσκονται σε κάποιο άλλο σημείο προορισμού, της χρονικής διάρκειας που απαιτεί η διάσχιση μιας συγκεκριμένης διαδρομής, της απόστασης που υφίσταται μεταξύ δύο σημείων του δικτύου κ.ά. Συνιστούν τεχνολογίες αιχμής οι οποίες βελτιώνονται διαρκώς προκειμένου να ανταποκρίνονται πλήρως στις αυξανόμενες απαιτήσεις των χρηστών, μέσα από το σχεδιασμό νέων βελτιωμένων αλγόριθμων και την εισαγωγή καινοτόμων μεθόδων και τεχνικών διαχείρισης χωρικών δεδομένων και χωρικών δικτύων.

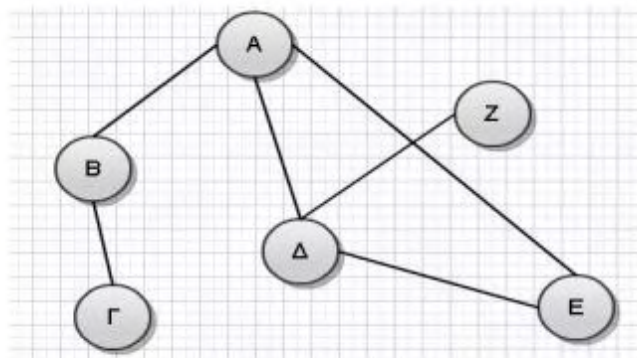


## 2.8.1 Βασικοί ορισμοί – Εννοιολογικό πλαίσιο

Οι βάσεις της θεωρίας των γράφων τέθηκαν από την επιστήμη των διακριτών μαθηματικών στο πρώτο μισό περίπου του 18ου αιώνα. Η διαχρονική εξέλιξη και ανάπτυξη του συγκεκριμένου πεδίου των μαθηματικών κατέστησε το γράφο μια δομή, η οποία υιοθετείται πλέον από διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους καθώς είναι κατάλληλη για την αναπαράσταση πάσης φύσεως δικτύων και συστημάτων τα στοιχεία των οποίων συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις αλληλεπίδρασης. Η πρώτη ιστορικά δημοσιευμένη, επιστημονική εργασία που σήμανε την παραγωγή της μελέτης των γράφων και των προβλημάτων η αναπαράσταση των οποίων υλοποιείται με τη βοήθεια γράφων, ήταν αυτή που δημοσιεύτηκε το 1736 από τον Leonhard Euler και αφορούσε ένα χωρικό πρόβλημα που εντοπιζόταν στην πόλη Königsberg της Πρωσίας (σημερινή επαρχία Kalinigrad στη Ρωσία). Η πόλη του Königsberg περιστοιχιζόταν από ποτάμια ύδατα και συνδεόταν με την υπόλοιπη ενδοχώρα μέσω επτά γεφυρών. Το πρόβλημα τέθηκε ως εξής: «Είναι δυνατό κάποιος να διασχίσει και τις επτά γέφυρες της πόλης επιστρέφοντας στο ίδιο ακριβώς σημείο από το οποίο ξεκίνησε τη διαδρομή του περνώντας από κάθε γέφυρα το πολύ μια φορά;».

Η διατύπωση του προβλήματος παραπέμπει σε παρόμοια προβλήματα που τίθενται σήμερα και αφορούν δίκτυα και την επίλυση προβλημάτων που εντοπίζονται σε αυτά, όπως για παράδειγμα η εύρεση της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ δύο σημείων ενός δικτύου, το πρόβλημα του πλανόδιου πωλητή, η αναζήτηση πιθανών διαδρομών που συνδέουν μεταξύ τους δύο ή περισσότερα σημεία κ.ά. Σε αντίθεση με τη μελέτη μεμονωμένων χωρικών αντικειμένων, όπου οι σχέσεις μεταξύ τους αναλύονται με βασικό άξονα την εγγύτητα, η μελέτη χωρικών αντικειμένων που συναποτελούν ένα δίκτυο βασίζεται στις σχέσεις συνδεσιμότητας που αναπτύσσονται μεταξύ των επιμέρους στοιχείων του δικτύου. Το αντικείμενο της θεωρίας γράφων είναι η μελέτη των γράφων, μαθηματικών δομών δηλαδή, που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση και την αναπαράσταση των σχέσεων που υφίστανται μεταξύ ζευγών αντικειμένων. Σύμφωνα με τον ορισμό που προέρχεται από τα μαθηματικά, ένας γράφος  $G = (V, E)$  συνιστά μια αναπαράσταση ενός συνόλου αντικειμένων που συνδέονται μεταξύ τους. Τα αντικείμενα καλούνται κόμβοι ή κορυφές (vertices) του γράφου και συμβολίζονται με  $V$  και οι συνδέσεις που υφίστανται ανάμεσα σε ένα ζεύγος κόμβων ονομάζονται ακμές (edges) του γράφου και συμβολίζονται με  $E$ . Οι Aldous and Wilson ορίζουν το γράφο ως ένα διάγραμμα αποτελούμενο από σημεία που

ονομάζονται κόμβοι, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές που ονομάζονται ακμές, ενώ κάθε ακμή συνδέει ακριβώς δύο κόμβους [1]. Κάθε ακμή του γράφου ορίζεται από ένα ζεύγος κόμβων που κείνται στα άκρα της και οι οποίοι καλούνται άκρα της ακμής. Κάθε κόμβος του γράφου χαρακτηρίζεται από το βαθμό του, ο οποίος ορίζεται ίσος με τον αριθμό των ακμών που συνδέονται με το συγκεκριμένο κόμβο. Δύο ακμές που συνδέονται στον ίδιο κόμβο καλούνται γειτονικές ακμές, ενώ δύο κόμβοι που συνδέονται μεταξύ τους μέσω μιας κοινής ακμής καλούνται γειτονικοί κόμβοι αντίστοιχα. Το σύνολο των ακμών ενός γράφου δύναται να είναι κενό ενώ το σύνολο των κόμβων είναι απαραίτητως μη-κενό. Οι ακμές ενός γράφου μπορεί να είναι κυκλικές (loops), δηλαδή να καταλήγουν στον ίδιο κόμβο από τον οποίο ξεκινούν. Στην περίπτωση που μια ακμή συνδέεται με έναν κόμβο, ο οποίος με τη σειρά του δε συνδέεται μέσω ακμής με κάποιο άλλο κόμβο του γράφου, καλείται τυφλή ακμή, ενώ μια ακμή, η οποία δε συνδέεται με άλλη ακμή και τα άκρα της είναι βαθμού ένα, καλείται αιωρούμενη ακμή. Ακμές που συνδέουν ακριβώς το ίδιο ζεύγος κόμβων καλούνται πολλαπλές ακμές. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένας κόμβος δύναται να ανήκει σε ένα γράφο, χωρίς απαραίτητα να ανήκει ταυτόχρονα σε κάποια από τις ακμές του γράφου 29, [27].



**Σχηματική αναπαράσταση γράφου**

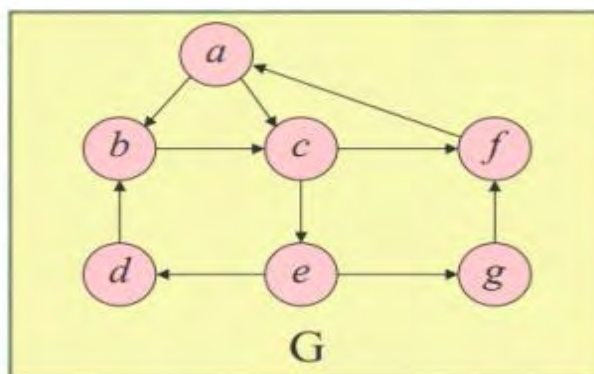
### **Τύποι Γράφων**

Οι γράφοι εμφανίζονται διαφοροποιημένοι μεταξύ τους, ανάλογα με την ιδιαίτερη δομή και τα χαρακτηριστικά τους. Ως εκ τούτου, ταξινομούνται σε επιμέρους κατηγορίες στη βάση

ενός αριθμού κριτηρίων που τίθενται κατά περίπτωση, όπως για παράδειγμα η ανάθεση ή μη φοράς στις ακμές του γράφου, η συνδεσιμότητα του γράφου, η ανάθεση βαρών στις ακμές του γράφου κ.λπ. Ανάλογα με τη δομή και τα χαρακτηριστικά τους, οι γράφοι υιοθετούνται για τη μοντελοποίηση διαφορετικής φύσεως προβλημάτων. Ένας κατευθυνόμενος γράφος για παράδειγμα, συνιστά την καταλληλότερη δομή για τη μοντελοποίηση δικτύων ενώ ένας απλός μη κατευθυνόμενος γράφος, αποτελεί κατάλληλη δομή για την αναπαράσταση των χημικών δεσμών που υφίστανται μεταξύ των ατόμων ενός μορίου. Κάθε κατηγορία γράφων χαρακτηρίζεται από την ιδιαίτερη διαγραμματική αναπαράσταση των γράφων που ανήκουν σ'αυτή, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των δομικών στοιχείων των γράφων και τους κανόνες που τίθενται από τα μαθηματικά και χαρακτηρίζουν τους γράφους κάθε κατηγορίας.

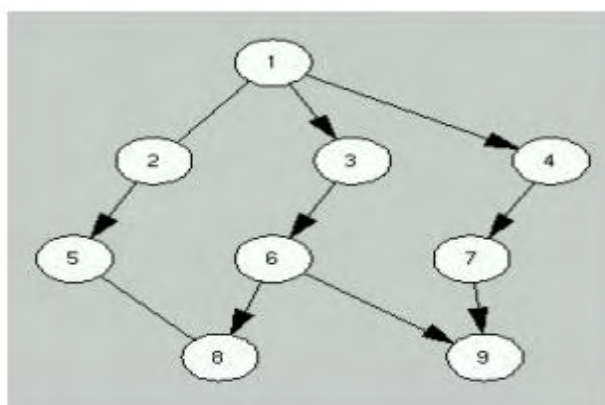
Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι βασικότερες κατηγορίες στις οποίες ταξινομούνται οι γράφοι ανάλογα με τη δομή και τα χαρακτηριστικά τους.

- **Απλοί Γράφοι (Simple Graphs):** Ένας απλός γράφος  $G = (V, E)$  ορίζεται ως ένα διάγραμμα αποτελούμενο από κόμβους και ακμές, ενώ μεταξύ δύο κόμβων του γράφου υφίσταται μία και μόνο μία ακμή. Ένας απλός γράφος δεν περιλαμβάνει κυκλικές ακμές [1].
- **Κατευθυνόμενοι Γράφοι (Directed Graphs):** Ένας γράφος ορίζεται ως κατευθυνόμενος γράφος  $G = (V, A)$  όταν οι ακμές που συνδέουν τους κόμβους του είναι προσανατολισμένες προς μια κατεύθυνση (φορά), οπότε και αυτές με τη σειρά τους χαρακτηρίζονται ως κατευθυνόμενες ακμές (directed edges) ή τόξα (arcs). Ένα τόξο  $a = (x, y)$  που ανήκει σε έναν κατευθυνόμενο γράφο, έχει κατεύθυνση από τον κόμβο  $x$  προς τον κόμβο  $y$ . Ο κόμβος  $y$  καλείται άμεσος διάδοχος (direct successor) του  $x$  και ο κόμβος  $x$  άμεσος προκάτοχος (direct predecessor) του κόμβου  $y$  [27].



### Κατευθυνόμενος Γράφος

- Μεικτοί Γράφοι (Mixed Graphs): Μεικτός καλείται ένας γράφος  $G = (V, E, A)$  ο οποίος είναι δυνατό να περιλαμβάνει ταυτόχρονα κατευθυνόμενες και μη κατευθυνόμενες ακμές. Οι γράφοι αυτού του είδους συνιστούν ειδική περίπτωση γράφου [28].

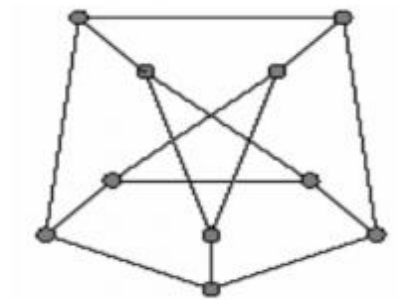


### Μεικτός Γράφος

- • Συνδεδεμένοι Γράφοι (Connected Graphs) και μη Συνδεδεμένοι Γράφοι: Ως συνδεδεμένος χαρακτηρίζεται ένας γράφος, στον οποίο υπάρχουν ένα ή περισσότερα μονοπάτια μέσω των οποίων συνδέονται δύο οποιοδήποτε κόμβοι του γράφου. Ως μη συνδεδεμένος χαρακτηρίζεται ένας γράφος, στον οποίο δεν υφίσταται απαραίτητα σύνδεση μεταξύ του συνόλου των κόμβων που περιλαμβάνονται στο γράφο. Σε ένα μη συνδεδεμένο γράφο, δύο κόμβοι  $u$  και  $v$  ονομάζονται συνδεδεμένοι εάν υφίσταται στο γράφο μονοπάτι μέσω του οποίου συνδέονται οι δύο κόμβοι. Η αφαίρεση κόμβων ή ακμών δύναται να καταστήσει ένα

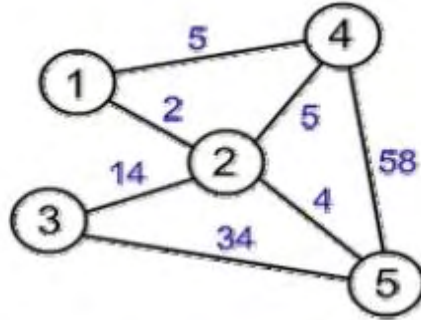
συνδεδεμένο γράφο, μη συνδεδεμένο. Ένας γράφος είναι ισχυρά συνδεδεμένος (strongly connected graph) όταν, δύο οποιοδήποτε κόμβοι του συνδέονται μέσω ενός μονοπατιού είτε αυτό κατευθύνεται από τον κόμβο  $u$  στον κόμβο  $v$  είτε έχει αντίστροφη κατεύθυνση από τον  $v$  στον  $u$ . Στην περίπτωση που οι κατευθυνόμενες ακμές ενός μη συνδεδεμένου γράφου αντικατασταθούν με μη κατευθυνόμενες ακμές, ένας γράφος που πριν την αντικατάσταση ήταν μη συνδεδεμένος δύναται να καταστεί συνδεδεμένος αλλά όχι ισχυρά συνδεδεμένος γράφος [29]

- **Κανονικοί Γράφοι (Regular Graphs):** Ένας γράφος ορίζεται ως κανονικός όταν όλοι οι κόμβοι του έχουν ίσο αριθμό γειτονικών κόμβων. Στην περίπτωση αυτή, όλοι οι κόμβοι του γράφου έχουν ακριβώς τον ίδιο βαθμό [29].



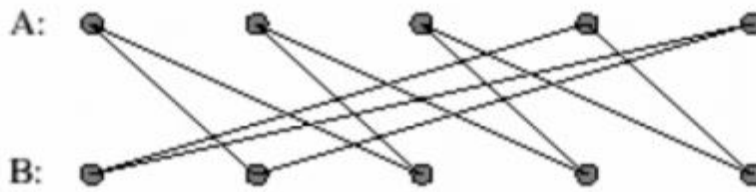
**Κανονικός Γράφος**

- **Πλήρεις Γράφοι (Complete Graphs):** Καλούνται οι γράφοι όπου μεταξύ κάθε ζεύγους κόμβων υφίσταται οπωσδήποτε μια σύνδεση. Οι γράφοι αυτής της κατηγορίας, περιλαμβάνουν το μέγιστο δυνατό αριθμό ακμών [30].
- **Σταθμισμένοι Γράφοι (Weighted Graphs):** Ένας σταθμισμένος γράφος, είναι ένας γράφος στις ακμές του οποίου ανατίθενται βάρη. Τα βάρη αυτά μπορεί να αναπαριστούν το κόστος μιας διαδρομής, το μήκος της, το χρόνο που απαιτείται για τη συνολική διάσχιση της συγκεκριμένης διαδρομής κ.λπ. [29], .



### Σταθμισμένος Γράφος

- Επίπεδοι (Planar Graphs) και μη Επίπεδοι Γράφοι. Ένας γράφος καλείται επίπεδος όταν μπορεί να σχεδιαστεί στο επίπεδο χωρίς να διασταυρώνονται οι πλευρές του. Δύο οποιεσδήποτε ακμές ενός επίπεδου γράφου συναντώνται μόνο σε προσκείμενους ή τερματικούς κόμβους. Στην περίπτωση που οι ακμές και οι κόμβοι του γράφου κείνται στο χώρο, ο γράφος καλείται μη επίπεδος. Στις τομές των ακμών ενός μη επίπεδου γράφου δεν παρεμβάλλεται κόμβος [29], [30].
- Διμερείς Γράφοι (Bipartite Graphs): Ένας γράφος καλείται διμερής όταν οι κορυφές του μπορούν να διαιρεθούν σε δύο σύνολα έτσι ώστε κάθε στοιχείο του ενός να συνδέεται με κάποιο στοιχείο του άλλου. Δύο στοιχεία που ανήκουν στο ίδιο σύνολο δε συνδέονται μεταξύ τους [30].



## Διμερής Γράφος

- **Κυκλικοί Γράφοι (Cycle Graphs):** Ένας γράφος καλείται κυκλικός όταν αποτελείται από έναν κύκλο, δηλαδή έναν κόμβο και μια κυκλική ακμή όπου η αρχή και το πέρας της είναι ο μοναδικός κόμβος του γράφου. Επίσης, ένας κυκλικός κόμβος ορίζεται και ως μια κλειστή «αλυσίδα» ακμών που συνδέονται μεταξύ τους, ενώ ο κόμβος αφετηρίας της πρώτης ακμής είναι ο ίδιος με τον κόμβο πέρατος της τελευταίας ακμής [30].

## Ιδιότητες Γράφων

Το παρόν εδάφιο αφορά σε μια συνοπτική παρουσίαση των κυριότερων ιδιοτήτων των γράφων και των δομικών τους στοιχείων. Οι ιδιότητες των γράφων απορρέουν κατά βάση από τη δομή και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε κατηγορίας στην οποία εντάσσονται. Κάθε κατηγορία γράφων χαρακτηρίζεται από ένα πλήθος ιδιοτήτων που αφορούν αποκλειστικά τους γράφους της εκάστοτε κατηγορίας, ενώ ορισμένες βασικές ιδιότητες αφορούν το σύνολο των γράφων ανεξαρτήτως κατηγορίας.

Οι βασικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν κάθε γράφο είναι αυτές που σχετίζονται με το βαθμό του γράφου και των δομικών του στοιχείων, το μέγεθος του γράφου και τις σχέσεις γειτνίασης που αναπτύσσονται μεταξύ των κόμβων και των ακμών του.

Ο βαθμός ενός κόμβου ορίζεται ίσος με το πλήθος των ακμών που συνδέονται με αυτόν τον

κόμβο, ενώ ο βαθμός ενός γράφου αντίστοιχα ορίζεται ίσος με το συνολικό αριθμό των κόμβων που περιλαμβάνει και συμβολίζεται με  $|V|$ . Το μέγεθος ενός γράφου ορίζεται ίσο με τον αριθμό των ακμών του και συμβολίζεται με  $|E|$ . Ο βαθμός ενός κόμβου που είναι το πέρας μιας τυφλής ακμής είναι πάντα ίσος με ένα. Ίσος με ένα είναι επίσης και ο βαθμός των δύο κόμβων που ορίζουν μια αιωρούμενη ακμή. Σε κάθε γράφο, το άθροισμα των βαθμών των κόμβων του ισούται με το διπλάσιο του αριθμού των ακμών του [29].

Οι ιδιότητες που αφορούν σχέσεις γειτνίασης σε γράφους, σχετίζονται με τις σχέσεις γειτνίασης που αναπτύσσονται μεταξύ των δομικών στοιχείων των γράφων. Έτσι, δύο ακμές που συνδέονται με τον ίδιο κόμβο καλούνται γειτονικές ακμές (adjacent edges), ενώ δύο κόμβοι που συνδέονται με μια κοινή ακμή καλούνται γειτονικοί κόμβοι (adjacent nodes). Μία ακολουθία γειτονικών ακμών σε ένα γράφο, κάθε μια από τις οποίες έχει έναν κοινό κόμβο με την ακμή που προηγείται, ορίζει ένα μονοπάτι (path) που συνδέει δύο οποιουδήποτε κόμβους του γράφου [31]. Κάθε ακμή που ανήκει σε ένα σταθμισμένο γράφο χαρακτηρίζεται από το βάρος που της αντιστοιχεί και το οποίο ανάλογα με την περίπτωση μπορεί να συμβολίζει το κόστος διάσχισής της, το μήκος της ή οποιοδήποτε άλλο μέγεθος απαιτεί η εκάστοτε εφαρμογή. Το συνολικό βάρος ενός σταθμισμένου γράφου ισούται με το άθροισμα των βαρών του συνόλου των ακμών του γράφου [29].

Επιπρόσθετα, από έναν ή περισσότερους υπάρχοντες γράφους δύναται να προκύψει ένας νέος γράφος μέσα από την πρόσθεση ή την αφαίρεση κόμβων ή ακμών, τη συγχώνευση κόμβων ή τη σύνδεση κόμβων που ανήκουν σε διαφορετικούς γράφους. Οι διαδικασίες δημιουργίας ενός νέου γράφου από έναν ή περισσότερους υφιστάμενους γράφους συνιστούν στοιχειώδεις λειτουργίες οι βασικότερες των οποίων κατηγοριοποιούνται ως ακολούθως:

- Στοιχειώδεις (elementary) λειτουργίες: Αφορούν τη δημιουργία ενός νέου γράφου από έναν ήδη υπάρχοντα γράφο μέσω μιας απλής τοπικής αλλαγής όπως η πρόσθεση ή διαγραφή κόμβου ή ακμής, η συγχώνευση κόμβων κ.λπ.
- «Μοναδιαίες» (unary) λειτουργίες: Αφορούν τη δημιουργία ενός νέου γράφου, γραμμικού, συμπληρωματικού κ.α. από ήδη υπάρχοντα γράφο.
- Δυαδικές (binary) λειτουργίες: Αφορούν τη δημιουργία ενός νέου γράφου από δύο



προϋπάρχοντες αρχικούς γράφους.

Τέλος, έχει αποδειχθεί ότι για έναν επίπεδο γράφο, το σύνολο των πιθανών αναπαραστάσεων του απαρτίζεται από το ίδιο πλήθος πολυγώνων. Συνεπώς, εάν ένας επίπεδος γράφος αποτελείται από  $\kappa$  κόμβους,  $\alpha$  ακμές και  $\mu$  πολύγωνα ισχύει η σχέση:

$$\pi - \alpha + \kappa - \mu = 1$$

Η παραπάνω σχέση είναι γνωστή ως κριτήριο του Euler και αποτελεί έναν απλό έλεγχο για τη μη-επιπεδότητα ενός γράφου. Συνιστά ικανή αλλά όχι αναγκαία συνθήκη για την επιπεδότητα, δηλαδή κάποιος γράφος που δεν ικανοποιεί το κριτήριο είναι γράφος μη-επίπεδος. Ωστόσο, ένας γράφος που ικανοποιεί το κριτήριο του Euler δεν είναι απαραίτητα επίπεδος. Η γενικευμένη μορφή του κριτηρίου του Euler, προκειμένου να ισχύει και για μη-συνδεδεμένους γράφους είναι η ακόλουθη:

$$\pi - \alpha + \kappa - \mu = 1$$

όπου  $\mu$ , ο αριθμός των συστατικών μερών που απαρτίζουν ένα μη-συνδεδεμένο γράφο [23].

### **Δομές Δεδομένων για την Αναπαράσταση Γράφων**

Η αναπαράσταση των γράφων στον υπολογιστή απαιτεί την εφαρμογή ειδικών δομών δεδομένων, κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Όπως αναφέρεται και στη συνέχεια του παρόντος εδαφίου, ανάλογα με το πρόβλημα που τίθεται κάθε φορά προς επίλυση, εφαρμόζεται η αντίστοιχη δομή δεδομένων που εξασφαλίζει είτε την ταχύτερη επίλυση του προβλήματος είτε την εξοικονόμηση χώρου μνήμης που απαιτείται για την αποθήκευση του γράφου.

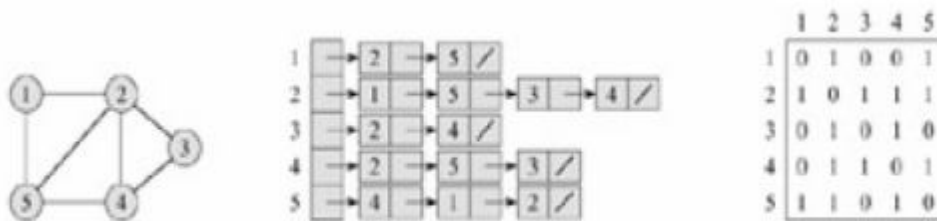
Οι δομές που χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποθήκευση γράφων, είναι οι συνδεδεμένες λίστες ή λίστες γειτνίασης, οι δυδιάστατοι πίνακες και ορισμένες δομές δεδομένων που προκύπτουν ως συνδυασμός των δύο προαναφερθεισών δομών. Η δομή που κάθε φορά υιοθετείται για την αναπαράσταση ενός γράφου εξαρτάται, τόσο από τη δομή του γράφου όσο και από τον αλγόριθμο που εφαρμόζεται για το χειρισμό του γράφου.

Η συνδεδεμένη λίστα ή λίστα γειτνίασης (adjacency list), εφαρμόζεται συνήθως για την αποθήκευση αραιών και σχετικά μικρών γράφων (sparse graphs) όπου ο αριθμός των

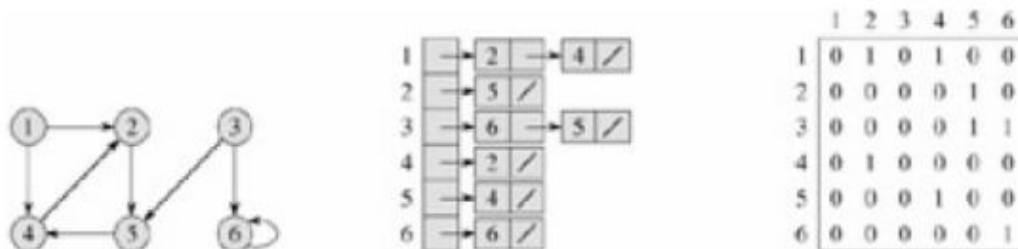
ακμών τους  $|E|$  είναι κατά πολύ μικρότερος από τον αριθμό του τετραγώνου των κόμβων τους  $|V^2|$ . Σε κάθε κόμβο του γράφου, αντιστοιχεί μια λίστα η οποία περιλαμβάνει το σύνολο των κόμβων προς τους οποίους υπάρχει δυνατότητα άμεσης πρόσβασης από τον αρχικό κόμβο. Η λίστα ενός κόμβου ο οποίος ανήκει σε μη-κατευθυνόμενο γράφο περιλαμβάνει όλους τους κόμβους- γείτονες του αρχικού. Στην περίπτωση ενός κατευθυνόμενου γράφου με βάρη, η λίστα ενός κόμβου περιλαμβάνει το σύνολο των γειτονικών του κόμβων, που είναι προσβάσιμοι από τον αρχικό, συνοδευόμενων από το βάρος που αντιστοιχεί στην εκάστοτε παρεμβαλλόμενη ακμή. Η συνδεδεμένη λίστα ως δομή έχει μικρότερες απαιτήσεις μνήμης σε σχέση με τον πίνακα γειτνίασης, καθώς για ένα γράφο με  $K$  κόμβους και  $A$  ακμές οι απαιτήσεις σε χωρητικότητα είναι ίσες με  $K+A$ , ενώ συνιστά καταλληλότερη δομή για την απάντηση ερωτημάτων που σχετίζονται με την απαρίθμηση κόμβων του γράφου, όπως για παράδειγμα το ερώτημα: Βρες το σύνολο των γειτονικών κόμβων ενός κόμβου  $u$  [31].

Ο δυδιάστατος πίνακας συνιστά την απλούστερη δομή που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση ενός γράφου. Οι γραμμές και οι στήλες του πίνακα περιλαμβάνουν τους κόμβους του γράφου, κάθε κόμβος δηλαδή περιγράφεται από μια γραμμή και μια στήλη. Στην περίπτωση ενός μη-κατευθυνόμενου γράφου, τα κελιά του πίνακα παίρνουν τιμές 1 ή 0, ανάλογα με το εάν υφίσταται ή όχι σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων, του κόμβου γραμμής και του κόμβου στήλης. Ο πίνακας στην περίπτωση αυτή είναι συμμετρικός ως προς τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στην κύρια διαγώνιο και είναι ίσα με 1. Η ίδια λογική ακολουθείται και κατά τη διαδικασία αναπαράστασης ενός κατευθυνόμενου γράφου, με τη διαφορά ότι στους κόμβους που περιλαμβάνονται στις γραμμές του πίνακα ανατίθεται ο ρόλος «από», ενώ στους κόμβους που περιλαμβάνονται στις στήλες του πίνακα ανατίθεται ο ρόλος «προς». Στην περίπτωση αναπαράστασης σταθμισμένου γράφου με δυδιάστατο πίνακα, τα πεδία του πίνακα περιλαμβάνουν τα βάρη των αντίστοιχων ακμών, ενώ στην περίπτωση που μεταξύ δύο κόμβων δεν υφίσταται ακμή, στο αντίστοιχο κελί του πίνακα ανατίθεται τιμή ίση με το άπειρο ( $\infty$ ). Ο δυδιάστατος πίνακας εφαρμόζεται συνήθως για την αναπαράσταση πυκνών γράφων όπου ο αριθμός των ακμών  $|E|$  του γράφου είναι περίπου ίσος με τον αριθμό του τετραγώνου των κόμβων του  $|V^2|$ . Επιπρόσθετα, όταν απαιτείται γρήγορη απάντηση σε ερωτήματα του τύπου εάν υπάρχει μια ακμή που να συνδέει δύο οποιουσδήποτε κόμβους ενός γράφου, ο πίνακας προτιμάται ως δομή καθώς συνεπάγεται ταχύτερη προσπέλαση των στοιχείων που βρίσκονται αποθηκευμένα σε αυτόν, σε αντίθεση με τη λίστα, η οποία πρέπει να προσπελάσει τα αποθηκευμένα στοιχεία ένα προς ένα

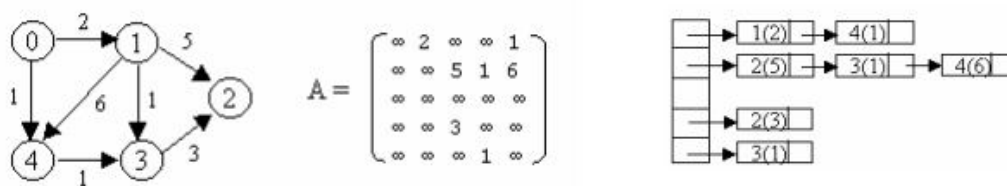
προκειμένου να δοθεί απάντηση στο ερώτημα που έχει τεθεί. Ωστόσο, ο πίνακας έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις διαθέσιμης μνήμης οι οποίες για ένα γράφο που περιλαμβάνει  $K$  κόμβους μεταφράζονται σε απαιτήσεις χωρητικότητας ίσες με  $K^2$ . Τέλος, όταν ο γράφος δεν έχει βάρη, ο πίνακας ως δομή παρέχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα που συνίσταται στο γεγονός ότι για κάθε είσοδο στον πίνακα απαιτείται μόνο ένα bit για την αναπαράστασή της [31].



**Παράδειγμα Αναπαράστασης μη-Κατευθυνόμενου Γράφου σε Δομή Λίστας και Πίνακα**  
**Πηγή: [30]**



**Παράδειγμα Αναπαράστασης Κατευθυνόμενου Γράφου σε Δομή Λίστας και Πίνακα**  
**Πηγή: [30]**



### Παράδειγμα Αναπαράστασης Κατευθυνόμενου Γράφου με Βάρη σε Δομή Πίνακα και Λίστας Πηγή: [22]

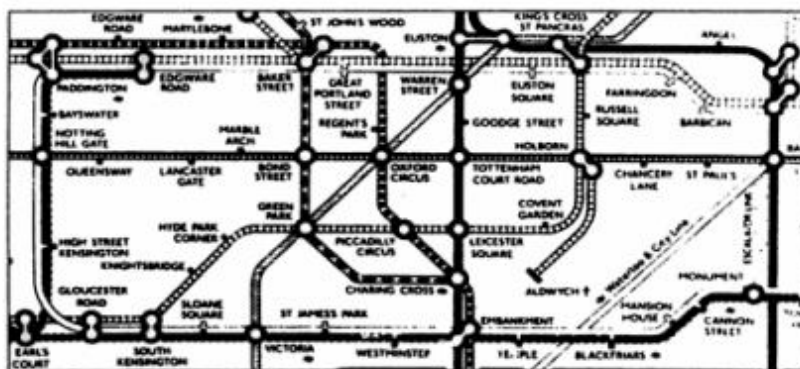
## Μοντελοποίηση Προβλημάτων με Γράφους

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο εδάφιο, παρά το γεγονός ότι τα θεμέλια της θεωρίας των γράφων τέθηκαν από τα μαθηματικά, οι βασικές αρχές της υιοθετούνται από διάφορα επιστημονικά πεδία προκειμένου να αναλυθούν και να ερευνηθούν προβλήματα, η επίλυση των οποίων απαιτεί τη μοντελοποίησή τους με τη βοήθεια γράφων. Οι βασικές κατηγορίες προβλημάτων η επίλυση των οποίων ανάγεται σε επίλυση γράφου, αφορούν προβλήματα όπου απαιτούνται επιλύσεις δικτύων και προβλήματα που σχετίζονται με τη μοντελοποίηση και διαγραμματική αναπαράσταση συστημάτων, αποτελούμενων από στοιχεία μεταξύ των οποίων υφίστανται κάποιου είδους σχέσεις αλληλεπίδρασης. Τα αντικείμενα αναπαρίστανται ως κόμβοι, ενώ οι συνδέσεις που υφίστανται μεταξύ τους ως ακμές.

Στο παρόν εδάφιο παρουσιάζονται ορισμένες περιπτώσεις προβλημάτων, τα οποία αναπαρίστανται διαγραμματικά ως γράφοι και η αναζήτηση των λύσεών τους ανάγεται στην επίλυση γράφου μέσα από την αξιοποίηση των βασικών αρχών της θεωρίας των γράφων.

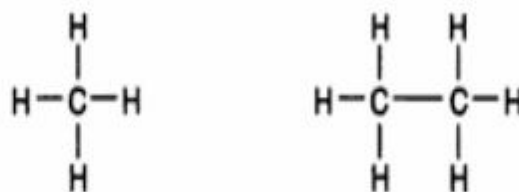
Το πρώτο ιστορικά πρόβλημα που παραπέμπει σε μοντελοποίηση δικτύου και επίλυση γράφου είναι αυτό που αφορούσε την περιστοιχιζόμενη από ποτάμια ύδατα πόλη του Königsberg, η οποία συνδεόταν μέσω επτά γεφυρών με την υπόλοιπη ενδοχώρα. Το πρόβλημα στην περίπτωση αυτή διατυπώθηκε ως ακολούθως: «Είναι δυνατό κάποιος να διασχίσει και τις επτά γέφυρες της πόλης επιστρέφοντας στο ίδιο σημείο από το οποίο ξεκίνησε διασχίζοντας την κάθε γέφυρα μία μόνο φορά;» και μπορεί να αναχθεί στη

σχεδίαση των διαδρομών επάνω σε ένα φύλλο χαρτί με την προϋπόθεση ότι ο σχεδιαστής δεν θα σηκώσει καμία φορά το μολύβι έως ότου ολοκληρωθεί η ζητούμενη διαδρομή. Η γραφική αναπαράσταση του προβλήματος παρουσιάζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί [29].



**Διάγραμμα 2.3:** Ο Υπόγειος Σιδηρόδρομος του Λονδίνου Πηγή: [29]

Το επόμενο παράδειγμα προέρχεται από το χώρο της χημείας και τη διαγραμματική αναπαράσταση με τη μορφή γράφου της μοριακής δομής των αλκανίων, όπου τα άτομα του άνθρακα και του υδρογόνου αναπαρίστανται ως κόμβοι του γράφου ενώ οι χημικοί δεσμοί που υφίστανται μεταξύ των ατόμων αναπαρίστανται ως ακμές του γράφου. Η αναπαράσταση των μορίων με αυτόν τον τρόπο βοηθά στη μελέτη της δομής των μορίων, των χημικών δεσμών μεταξύ των ατόμων και της χημικής συμπεριφοράς των μορίων ως αποτέλεσμα της συγκεκριμένης χημικής δομής.



**Διάγραμμα 2.4:** Αναπαράσταση Μορίων Μεθανόλης και Αιθανόλης με τη βοήθεια Γράφου Πηγή: [29]

Τα παραπάνω παραδείγματα συνιστούν ενδεικτικές περιπτώσεις προβλημάτων, η μελέτη των οποίων καθίσταται δυνατή μέσω της διαγραμματικής τους αναπαράστασης με τη βοήθεια ενός γράφου. Η θεωρία των γράφων, έχει σημαντικές εφαρμογές στην επίλυση γεωγραφικών προβλημάτων όπως το πρόβλημα εύρεσης συντομότερης διαδρομής, το πρόβλημα «του πλανόδιου πωλητή», η προσομοίωση του οδικού δικτύου μιας περιοχής, ο σχεδιασμός δικτύων κοινής ωφέλειας, η αναπαράσταση γειτονικών χωρών σε θεματικούς χάρτες κ.ά.

## 2.9 Δρομολόγηση

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η μηχανή αναζήτησης που θα στηριχθεί στη μελέτη μας, χρησιμοποιεί αλγόριθμους που βασίζονται στην επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης.

Η έννοια της Δρομολόγησης, όπως προαναφέρθηκε, σχετίζεται με την κατάστροψη και σχεδίαση της βέλτιστης διαδρομής πάνω σε ένα δίκτυο, του οποίου οι ακμές (δυνατές μεταβάσεις μεταξύ των κόμβων) χαρακτηρίζονται από κόστη. Τα κόστη αυτά μπορεί να είναι ο χρόνος μεταφοράς, η απόσταση, τα έξοδα μεταφοράς ή και ο συνδυασμός αυτών, ανάλογα με τη φύση του προβλήματος που εξετάζεται. Ο αντικειμενικός σκοπός του προβλήματος είναι ο εντοπισμός της βέλτιστης διαδρομής, δηλαδή της διαδρομής που οδηγεί από έναν κόμβο σε έναν άλλο και το κόστος αυτής είναι το ελάχιστο δυνατόν. Το πρόβλημα της δρομολόγησης αποτελεί ένα από τα πιο πολυσυζητημένα προβλήματα της επιστημονικής περιοχής της βελτιστοποίησης. Οι αλγόριθμοι και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την εύρεση ή την προσέγγιση της βέλτιστης διαδρομής, απαντώνται τακτικά σε προβλήματα Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης (Combinational Optimization) και Βέλτιστου Ελέγχου (Optimal Control).

## 2.9.1 Δημοφιλή προβλήματα δρομολόγησης

Ο τρόπος και η δυσκολία εντοπισμού της βέλτιστης διαδρομής εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο που είναι ορισμένο το πρόβλημα και την τοπολογία του δικτύου όπως στην περίπτωση κατά την οποία η ζητούμενη διαδρομή είναι κλειστή ή ανοιχτή (μονοπάτι ή κύκλος), αν τα κόστη μεταβάλλονται ή είναι σταθερά, αν η τοπολογία του δικτύου αλλάζει με το χρόνο κ.α. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τόσο της ζητούμενης διαδρομής όσο και του δικτύου, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα προβλήματα σε κλάσεις με κοινά χαρακτηριστικά. Παρακάτω δίνουμε τις συνοπτικές περιγραφές ορισμένων από τα πιο γνωστά προβλήματα που συναντούμε στην επιστημονική βιβλιογραφία.

***Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (Travelling Salesman Problem – TSP)*** αποτελεί το πλέον διαδεδομένο πρόβλημα δρομολόγησης. Απαντάται συχνά στην περιοχή της Θεωρητικής Πληροφορικής και της Μαθηματικής Βελτιστοποίησης και μας λέει το εξής [21]:

*«Δοθείσας μιας λίστας πόλεων και των μεταξύ τους αποστάσεων, να βρεθεί η συντομότερη διαδρομή, που επισκέπτεται κάθε πόλη ακριβώς μία φορά, και καταλήγει στην πόλη από την οποία ξεκινά (αφετηρία)»*

Το πρόβλημα διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1930, και αποτελεί βασικό αντικείμενο μελέτης και ανάλυσης για πολλά ακόμη προβλήματα βελτιστοποίησης. Η απλότητα της διατύπωσης του προβλήματος είναι παραπλανητική. Αυτό διαφαίνεται από το γεγονός ότι το TSP είναι ένα από τα πιο εντόνως μελετημένα προβλήματα των Υπολογιστικών Μαθηματικών, αφού καμία γενική μέθοδος επίλυσης του δεν έχει βρεθεί μέχρι σήμερα.

Λόγω αυτής της μεγάλης δυσκολίας που παρουσιάζει το TSP ως προς την υπολογισσιμότητα του και την πολυπλοκότητα του, ένας μεγάλος αριθμός ευρετικών αλγορίθμων έχουν προταθεί, παρουσιάζοντας λύσεις ακόμα και στις περιπτώσεις όπου υπάρχουν πολλές πόλεις στα δεδομένα του προβλήματος. Ορισμένες παραλλαγές του προβλήματος εισάγουν διάφορους περιορισμούς, όπως η ύπαρξη χρονοπαραθύρων (time windows), ή ύπαρξη περιορισμένων πόρων (limited sources), οπότε το πρόβλημα γίνεται δυσκολότερο. Στην θεωρία της Υπολογιστικής Πολυπλοκότητας, το TSP κατατάσσεται στην NP κλάση προβλημάτων. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει αλγόριθμος που να επιλύει το πρόβλημα σε

πολυωνυμικό χρόνο, δηλαδή σε χρόνο που εξαρτάται πολυωνυμικά από το πλήθος των πόλεων που περιέχει στα δεδομένα το πρόβλημα. Επομένως όταν αυξάνονται οι πόλεις, ο απαιτούμενος χρόνος μεγαλώνει εκθετικά, με αποτέλεσμα ένα πρόβλημα μερικών εκατοντάδων πόλεων να απαιτεί μερικά χρόνια να λυθεί ακριβώς με υπολογιστή.

**Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (Vehicle Routing Problem)** αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που συναντούμε στην περιοχή της Συνδυαστικής Βελτιστοποίησης (Combinatorial Optimization) και εντάσσεται στην κατηγορία των προβλημάτων Ακέραιου Προγραμματισμού (Linear Programming), στα οποία όμως οι μεταβλητές λαμβάνουν επιτρεπτές τιμές από ένα σύνολο ακέραιων αριθμών. Τα προβλήματα του Ακέραιου Προγραμματισμού παρουσιάζουν και αυτά πολυπλοκότητα NP-τύπου, δηλαδή δεν έχει βρεθεί αλγόριθμος που να τα επιλύει σε μη πολυωνυμικό χρόνο. Η διατύπωση του προβλήματος είναι αρκετά απλή [21]:

*«Ζητούμε τον καθορισμό του συνόλου βελτίστων διαδρομών για ένα στόλο οχημάτων, προκειμένου να εξυπηρετηθούν κάποιοι πελάτες που εντοπίζονται σε καθορισμένους κόμβους ενός δικτύου. Τα οχήματα αναχωρούν από μία ή περισσότερες αποθήκες ανεφοδιασμού (depots), στις οποίες και επιστρέφουν με το πέρας της αποστολής τους»*

Η θεωρητική έρευνα και οι πρακτικές εφαρμογές στο πεδίο δρομολόγησης οχημάτων ξεκίνησαν το 1959 με το «πρόβλημα αποστολής φορτηγών» (truck dispatching problem), το οποίο παρουσιάστηκε από του Dantzing και Ramser [23]. Ο ορισμός του προβλήματος αυτού έλεγε ότι:

*«Να βρεθεί η βέλτιστη δρομολόγηση (σχεδιασμός διαδρομής) ενός στόλου φορτηγών διανομής καυσίμου, μεταξύ ενός τερματικού σταθμού ανεφοδιασμού και ενός μεγάλου αριθμού σταθμών εξυπηρέτησης, οι οποίοι τροφοδοτούνται με καύσιμο από το σταθμό ανεφοδιασμού»*

Χρησιμοποιώντας μια μέθοδο βασισμένη στις αρχές του Γραμμικού Προγραμματισμού, οι Dantzig και Ramser κατέληξαν σε μία προσεγγιστικά βέλτιστη λύση που περιελάμβανε τέσσερις διαδρομές για ένα πρόβλημα δώδεκα σταθμών εξυπηρέτησης. Μερικά χρόνια αργότερα και συγκεκριμένα το 1964, οι Clarke και Wright πρότειναν έναν ευρετικό αλγόριθμο βασισμένο στην άπληστη μέθοδο (greedy method) [23], ο οποίος πέτυχε



καλύτερες προσεγγίσεις από αυτές των Dantzig και Ramser. Ακολουθώντας τις παραπάνω μελέτες, εκατοντάδες αλγόριθμοι και μοντέλα προτάθηκαν για την ακριβή και προσεγγιστική επίλυση διαφόρων περιπτώσεων VRP.

Σήμερα, υπάρχουν διαθέσιμα στην αγορά αρκετά πακέτα λογισμικού που χρησιμοποιούνται για την επίλυση πραγματικών προβλημάτων διαχείρισης στόλων οχημάτων. Τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες, η επιστημονική κοινότητα έχει στρέψει έντονα την προσοχή της στη μελέτη του VRP. Αυτή η στροφή συμπίπτει με την αύξηση της χρήσης των Καταναμημένων Συστημάτων (Distributed Systems). Ένα καταναμημένο σύστημα αποτελείται από γεωγραφικά ανεξάρτητες, αυτόνομες υπολογιστικές συσκευές, που έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους και να λειτουργούν συντονισμένα για την επίτευξη ενός κοινού στόχου. Σε αντίθεση με τα ανεξάρτητα συστήματα, ο σχεδιασμός των καταναμημένων συστημάτων, η κατανόηση της λειτουργίας τους υπό ιδιαίτερες συνθήκες καθώς και η ανάλυση της συμπεριφοράς τους απαιτεί ειδικές γνώσεις και ικανότητες. Το VRP φέρει ως επίκεντρο την ιδέα της διανομής αγαθών ανάμεσα σε ένα σύνολο αποθηκών (depots) και ένα σύνολο γεωγραφικά διασκορπισμένων πελατών (customers). Μπορούμε να θεωρήσουμε τις θέσεις των πελατών σαν κόμβους εξυπηρέτησης πάνω σε ένα (οδικό) δίκτυο, στο οποίο σημειώνουμε όλες τις δυνατές μεταβάσεις (ακμές) που ενώνουν τους κόμβους εξυπηρέτησης μεταξύ τους, αλλά και με τους σταθμούς ανεφοδιασμού. Η συλλογή στερεών αποβλήτων (solid waste collection), η δρομολόγηση σχολικών λεοφορείων (school bus routing), η μεταφορά ατόμων με αναπηρία (transportation of handicapped persons) και η διαχείριση μονάδων συντήρησης (management of maintenance units) αποτελούν μερικά παραδείγματα πραγματικών προβλημάτων στα οποία εφαρμόζονται παρεμφερείς τεχνικές επίλυσης με αυτές που χρησιμοποιούμε στο VRP.

***Το Πρόβλημα του Συντομότερου Μονοπατιού (Shortest Path Problem - SPP)*** αποτελεί ένα κλασσικό, συνδυαστικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, του οποίου η επίλυση έχει εφαρμογή σε πολλά πραγματικά τεχνικά προβλήματα. Ο ορισμός του προβλήματος δίνεται ως εξής [22]:

*«Δίνεται ένας κατευθυνόμενος γράφος ( $G = (V, A)$ ) με τους κόμβους του αριθμημένους  $1, 2, \dots, N$ . Κάθε ακμή  $(i, j)$  φέρει κόστος ή μήκος ίσο με  $a_{ij}$ . Το μήκος του μονοπατιού  $(i_1, i_2, \dots, i_k)$  είναι το μήκος των ακμών του, δηλαδή η ποσότητα  $\Sigma$ . Το μονοπάτι αυτό χαρακτηρίζεται ως το συντομότερο αν έχει το μικρότερο μήκος από όλες τις διαδρομές με τους ίδιους κόμβους*

πηγής και προορισμού. Το μήκος του συντομότερου μονοπατιού λέγεται αλλιώς και συντομότερο απόσταση. Το πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού αφορά στον υπολογισμό της βέλτιστης διαδρομής μεταξύ επιλεγμένων ζευγών κόμβων.

Παρόλο που η περιγραφή του SPP είναι απλή, το πεδίο εφαρμογής του εν λόγω προβλήματος είναι ιδιαίτερος ευρύ. Οι περισσότεροι αλγόριθμοι που έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσουν το συγκεκριμένο πρόβλημα ή την ειδική περίπτωση του προβλήματος του ελαχίστου κόστους ροής, μπορούν να θεωρηθούν ως τεχνικές βελτιστοποίησης βασικού ή δυϊκού κόστους. Βέβαια μέσα στα πλαίσια της σχετικής απλοποίησης του SPP, η επίλυση βασίζεται πάνω σε απλές αρχές, χωρίς να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στο κόστος βελτιστοποίησης. Το SPP, όπως και το TSP, αποτελεί θεμελιώδες πρόβλημα βελτιστοποίησης. Και αυτό για δύο λόγους κυρίως:

- Πρώτον, γιατί οι αλγόριθμοι που το επιλύουν χρησιμοποιούνται σε μια γενικότερη πληθώρα ζητημάτων βελτιστοποίησης.
- Και δεύτερον, γιατί το πρόβλημα του SPP μοντελοποιείται με την χρήση γράφων και η επίλυση του στηρίζεται στην εξαγωγή συμπερασμάτων και ιδιοτήτων των δοσμένων δομών. Αυτή η έντονη ανάλυση των γράφων κεντρίζει το ενδιαφέρον των ατόμων που ασχολούνται με την επιστημονική περιοχή της Θεωρίας Γράφων.

## 2.9.2 Αλγόριθμοι Δρομολόγησης

Στη συνέχεια ασχολούμαστε με τους πιο διαδεδομένους αλγόριθμους που έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσουν τα παραπάνω προβλήματα. Οι αλγόριθμοι δρομολόγησης μπορούν να διαχωριστούν σε στατικούς και δυναμικούς ανάλογα με τη συμπεριφορά τους σε πιθανές αλλαγές στη δομή του δικτύου. Στα εμβρυακά στάδια της δρομολόγησης, οι επιστήμονες τροποποιούσαν στατικούς αλγορίθμους βελτιστοποίησης [22]. Τα τελευταία χρόνια το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας έχει στραφεί προς τους δυναμικούς αλγορίθμους μιας και διαφαίνεται ότι μπορούν να εφαρμοστούν καλύτερα σε πραγματικά προβλήματα. Οι αλγόριθμοι δυναμικής δρομολόγησης αντιδρούν ιδιαίτερα καλά στις ειδικές περιπτώσεις όπου μια συγκεκριμένη διαδρομή του δικτύου γίνεται για κάποιο λόγο μη διαθέσιμη. Οι

αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να δρομολογήσουν τους επιβάτες μέσα από εναλλακτικές διαδρομές άμεσα και χωρίς να χρειαστεί να ξανατρέξει ο αλγόριθμος.

Μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους που αξιοποιείται από πληθώρα δυναμικών αλγορίθμων δρομολόγησης είναι αυτή της απόδοσης ετικέτας. Κάθε ακμή του δικτύου χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό ο οποίος αναφέρεται ως ετικέτα. Η ετικέτα δεν αποτελεί στοιχείο του γράφου αλλά αποδίδεται στις ακμές του μέσω μίας μεθόδου η οποία είναι γνωστή ως labeling method. Η μέθοδος αυτή κατασκευάζει ένα δέντρο το οποίο αναπαριστά τα συντομότερα μονοπάτια από τον κόμβο αφετηρία προς κάθε άλλο κόμβο  $i$  (Zhan, Three Fastest Shortest Path Algorithms on Real Road Networks : Data Structures and Procedures, 2001). Για κάθε κόμβο  $i$  αποθηκεύονται τρεις πληροφορίες:

- Η τιμή της ετικέτας που αποτελεί το άνω όριο της απόστασης του συντομότερου μονοπατιού από τον κόμβο-αφετηρία έως τον τρέχοντα κόμβο  $i$ .
- Η κόμβος-πατέρας, που είναι ο κόμβος που προηγείται άμεσα του τρέχοντος κόμβου  $i$  στο δέντρο.
- Η κατάσταση του κόμβου  $i$ , η οποία μπορεί να είναι μία από τις παρακάτω:
- Δεν έχει εξεταστεί (unreached). Αυτή είναι η αρχική κατάσταση όλων των κόμβων. Συνηθίζεται μάλιστα να δίνουν ετικέτα με τιμή άπειρο ( $\infty$ ) σε όσους κόμβους έχουν αυτή την κατάσταση.
- Προσωρινή ετικέτα (temporarily labeled ή απλά labeled). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι κόμβοι που αναμένεται περαιτέρω βελτίωση του συντομότερου μονοπατιού προς αυτούς.
- Μόνιμη ετικέτα (permanently labeled ή scanned). Ένας κόμβος αποκτά μόνιμη ετικέτα, όταν γνωρίζουμε ότι το τρέχον συντομότερο προς αυτόν μονοπάτι είναι και το απόλυτο συντομότερο μονοπάτι που μπορεί να επιτευχθεί.

### 2.9.3 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Αλγορίθμων

Οι τρεις πιο διαδεδομένοι αλγόριθμοι επίλυσης του προβλήματος δρομολόγησης είναι ο αλγόριθμος των Bellman-Ford, ο αλγόριθμος του Dijkstra και ο αλγόριθμος του Floyd-Warshall. Και οι τρεις αλγόριθμοι παρόλο που είναι γνωστοί για την επίλυση του προβλήματος συντομότερου μονοπατιού (Shortest Path Problem, SPP), έχουν χρησιμοποιηθεί με μικρές τροποποιήσεις για την επίλυση και άλλων προβλημάτων χρονοπρογραμματισμού χωρίς να χάνουν τις βασικές τους ιδιότητες (Cormen, Leiserson, Rivest, & Stein, 2001). Παρακάτω γίνεται αναφορά στους παραπάνω αλγορίθμους αλλά και σε άλλους οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση συνδυαστικών μεταφορών.

**Ο αλγόριθμος των Bellman-Ford** υπολογίζει τα συντομότερα μονοπάτια μιας πηγής (single source paths) σε γράφους που φέρουν βάρη επί των ακμών. Για γράφους με μόνο μη αρνητικά βάρη, ο αλγόριθμος Dijkstra επιλύει το πρόβλημα SPP πολύ πιο σύντομα από ότι ο αντίστοιχος των Bellman-Ford. Για αυτόν το λόγο ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για γραφήματα με αρνητικά βάρη. Ο αλγόριθμος πήρε το όνομα του από τους δημιουργούς του, τον Richard Bellman και τον Ford Lester. Εάν κάποιος γράφος περιέχει έναν "αρνητικό κύκλο", δηλαδή έναν κύκλο του οποίου το άθροισμα των βαρών είναι αρνητικό, τότε μπορούν να κατασκευαστούν μονοπάτια αυθαίρετα μικρού συνολικού βάρους, οπότε δεν μπορεί να υπάρξει συντομότερη διαδρομή. Ο αλγόριθμος των Bellman-Ford μπορεί να ανιχνεύσει κύκλους αρνητικού βάρους και δεν πρόκειται να κατασκευάσει μονοπάτι στο οποίο επαναλαμβάνεται κάποιος κόμβος [12].

**Ο αλγόριθμος του Dijkstra** επινοήθηκε από τον Ολλανδό επιστήμονα Edsger Dijkstra το 1959 [9], και είναι ένας αλγόριθμος αναζήτησης που επιλύει το πρόβλημα του συντομότερου μονοπατιού πάνω σε ένα γράφο με μη αρνητικά βάρη. Ο αλγόριθμος παράγει το συντομότερο δέντρο (Shortest Path Tree) όλων των μονοπατιών που οδηγούν από τον κόμβο πηγής στον κόμβο προορισμού. Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται πολύ συχνά στα προβλήματα δρομολόγησης. Ο Edward F. Moore είχε παρουσιάσει το 1957 έναν αλγόριθμο παρόμοιο με αυτό του Dijkstra [22]. Για έναν δοσμένο κόμβο πηγής πάνω στο γράφο, ο αλγόριθμος του Dijkstra υπολογίζει το μονοπάτι με το χαμηλότερο κόστος (δηλ. το συντομότερο μονοπάτι) ανάμεσα στον κόμβο πηγής και οποιονδήποτε κόμβο του γράφου (single-source algorithm). Ακόμα ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε προβλήματα συντομότερου μονοπατιού ενός προορισμού, σταματώντας τα βήματα του μόλις ο

επιθυμητός κόμβος προορισμού περιληφθεί στο βέλτιστο μονοπάτι που σταδιακά υπολογίζουμε. Στην περίπτωση που οι κόμβοι ενός γράφου αναπαριστούν πόλεις και τα κόστη των δυνατών μεταβάσεων (ακμών) αναπαριστούν τις χιλιομετρικές αποστάσεις, είναι προφανές πως ο αλγόριθμος του Dijkstra μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βρεθούν οι συντομότερες διαδρομές μεταξύ μιας δεδομένης πόλης και όλων των άλλων πόλεων. Για το λόγο αυτό, ο συγκεκριμένος αλγόριθμος χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην επίλυση προβλημάτων δρομολόγησης και συγκεκριμένα όσον αφορά στη μεταφορά πακέτων στα δίκτυα υπολογιστών μιας και αποτελεί τμήμα γνωστών πρωτοκόλλων δρομολόγησης όπως το IS-IS και το OSPF (Open Shortest Path First).

**Ο αλγόριθμος των Floyd-Warshall** (αλλιώς WFI αλγόριθμος ή Roy-Floyd) είναι μια αναλυτική μέθοδος εύρεσης των βέλτιστων μονοπατιών πάνω σε γράφους που φέρουν κόστη επί των ακμών τους (θετικά και/ή αρνητικά). Μια εκτέλεση του αλγόριθμου θα υπολογίσει τα συνολικά μήκη (total lengths) των βέλτιστων μονοπατιών για όλα τα δυνατά ζεύγη των διακεκριμένων κόμβων του γράφου, χωρίς ωστόσο να μας επιστρέφει την ακολουθία των κόμβων που απαρτίζουν τα μονοπάτια αυτά. Ο αλγόριθμος βασίζεται στον Δυναμικό Προγραμματισμό. Δημοσιεύτηκε με την τρέχουσα μορφή του από τον Bernard Roy το 1959 [10] και από τον Stephen Warshall το 1962 [11].

**Ο αλγόριθμος  $A^*$**  είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιείται ευρέως για τον εντοπισμό διαδρομών και για την διάσχιση γράφων. Περιγράφηκε για πρώτη φορά από τους Peter Hart, Nils Nilsson και Bertram Raphael το 1968 [21] και αποτελεί μια παραλλαγή του Dijkstra. Ο  $A^*$  πετυχαίνει καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά τον χρόνο εκτέλεσης εφαρμόζοντας ευριστικές τεχνικές για την αποφυγή διάσχισης κόμβων που δείχνουν ότι δεν μπορούν να προσφέρουν καλές λύσεις.

**Ο αλγόριθμος δυναμικής δρομολόγησης *time-dependent intermodal least-time path TDILTP* [32]** αναζητάει βέλτιστες διαδρομές σε ένα δίκτυο όπου κινούνται πολλαπλά μεταφορικά μέσα. Όπως γίνεται άμεσα αντιληπτό, η εφαρμογή του συγκεκριμένου αλγόριθμου βρίσκει άμεση εφαρμογή στην καθημερινότητα του απλού πολίτη ο οποίος καλείται να ταξιδέψει στο αστικό δίκτυο και όχι μόνο επιλέγοντας συνδυασμό μεταφορικών μέσων που θα τον οδηγήσουν στον προορισμό του στον ελάχιστο χρόνο.

***Ο αλγόριθμος για Σχεδιασμό Δρομολογίων σε Δίκτυα Πολυτροπικών Μεταφορών [18]*** χρησιμοποιείται για την επίλυση των προβλημάτων σχεδιασμού διαδρομής, δηλαδή, καθορίζει το δρομολόγιο που βελτιστοποιεί ένα σύνολο κριτηρίων (π.χ. συνολικός χρόνος ταξιδιού, ο αριθμός των μεταφορών και το συνολικό περπάτημα και την ώρα), και το οποίο καταλήγει στον επιθυμητό προορισμό μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά όρια. Αποτελεί έναν αλγόριθμο δυναμικού προγραμματισμού που έχει ενσωματωθεί σε ένα web-based σύστημα σχεδιασμού ταξιδιών, ενώ η αποτελεσματικότητά του έχει αποδειχθεί δίνοντας ικανοποιητικές λύσεις σε προβλήματα σχεδιασμού δρομολογίων στο αστικό δίκτυο μεταφορών της Αθήνας.

***Ο αλγόριθμος για το Σχεδιασμό Δρομολογίων Διέλευσης (TIP) [19] K shortest Path*** αποτελεί έναν αλγόριθμο δύο σταδίων που χρησιμοποιείται για την εύρεση της βέλτιστης διαδρομής, με το μικρότερο δυνατό κόστος, συγκεκριμένα χρονοδιαγράμματα και με συγκεκριμένη αφετηρία και προορισμό. Ο αλγόριθμος βασίζεται στην τεχνολογία των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ/GIS). Πρόκειται για συστήματα που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και οπτικοποίηση γεωγραφικών δεδομένων, δηλαδή χωρικών δεδομένων τα οποία ορίζονται σε σχέση με ένα σύστημα αναφοράς το οποίο με τη σειρά του έχει ως επιφάνεια αναφοράς τη φυσική γήινη επιφάνεια. Χρησιμοποιείται για πολυτροπικές μεταφορές.

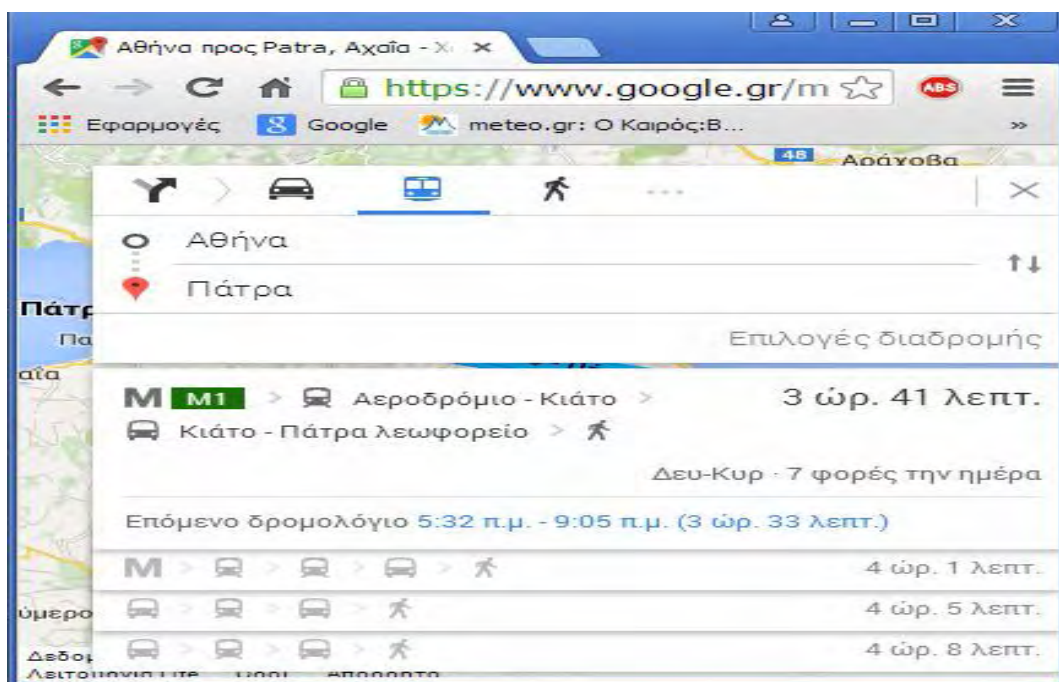
***Ένας βελτιωμένος Γενετικός Αλγόριθμος [20]*** για Σχεδιασμό Δρομολογίων σε Δίκτυα Πολυτροπικών Μεταφορών, όπου χρωμοσώματα διαφορετικών μεγεθών και με διαφορετικά τμήματα χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύουν διαδρομές και τα διάφορα τμήματα περιγράφουν ένα είδος τρόπου μεταφοράς. Τα πειραματικά αποτελέσματα συνδυάζουν ποικιλοτρόπως τα διάφορα μέσα μεταφοράς και κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά.

## ***2.10 Μηχανές Αναζήτησης Δρομολογίων***

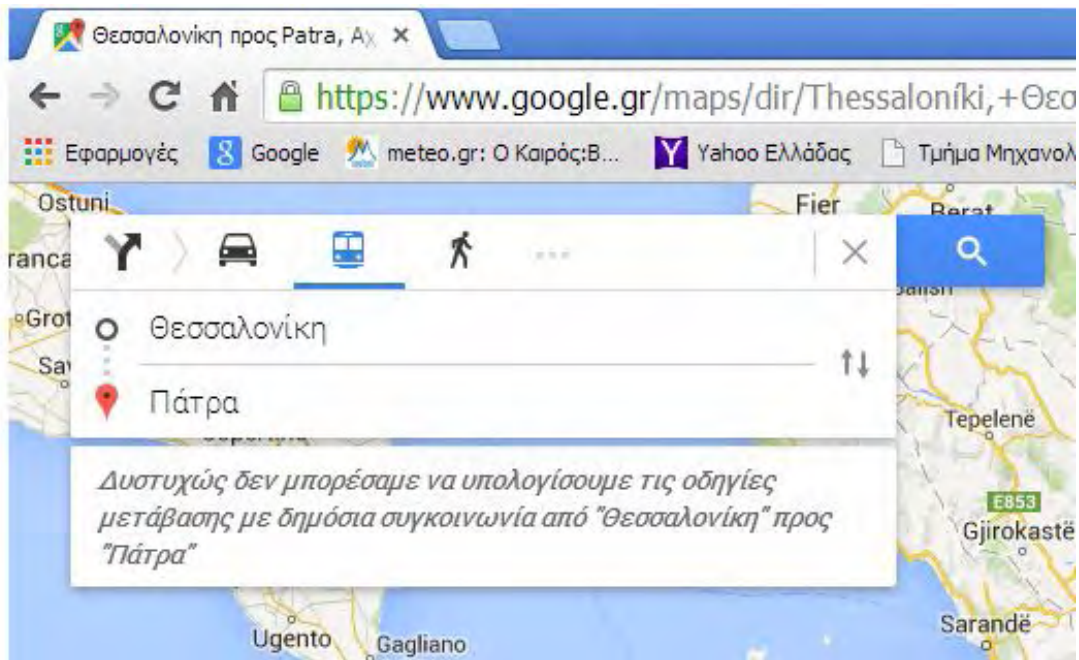
Όπως έχει προαναφερθεί και στην εισαγωγή, υπάρχουν ήδη κάποιες μηχανές αναζήτησης συνδυαστικών επιβατικών μεταφορών που μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποιος ο οποίος επιθυμεί να ταξιδέψει στον ελληνικό χώρο. Οι ιστοσελίδες οι οποίες φιλοξενούν τις συγκεκριμένες μηχανές αναζήτησης ανήκουν σε χώρες της Ευρώπης και δεν είναι

Ελληνικές. Κάποιες από αυτές περιλαμβάνουν μηχανές, που έχουν την δυνατότητα να συνδυάσουν περισσότερα από δύο μεταφορικά μέσα, αλλά σχεδόν όλες έχουν το μειονέκτημα ότι το δίκτυο τους αφορά μετακινήσεις μεταξύ μεγάλων αστικών κέντρων. Με άλλα λόγια το δίκτυο για τον ελλαδικό χώρο είναι υποτυπώδες. Παρακάτω γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα χαρακτηριστικά κάποιων από τις πιο χαρακτηριστικές μηχανές αναζήτησης.

- **Google Maps** : Η συγκεκριμένη μηχανή αναζήτησης είναι η πιο διαδεδομένη και μπορεί να δώσει πληροφορίες για αστικές μετακινήσεις στα μεγάλα αστικά κέντρα, μετακινήσεις με αυτοκίνητο όχι όμως υπεραστικές μετακινήσεις και συνδυασμό μέσων μεταφοράς για εκτεταμένο δίκτυο. Δεν περιλαμβάνει μετακινήσεις με αεροπλάνο και πλοίο. Για παράδειγμα, μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες για μετακίνηση με μέσα μαζικής μεταφοράς για το δρομολόγιο Αθήνα-Πάτρα, αλλά όχι για το Θεσσαλονίκη-Πάτρα, όπως φαίνεται παρακάτω.



**Εικόνα 2.3** : Τα αποτελέσματα της διαδρομής Αθήνα-Πάτρα στο Google Maps



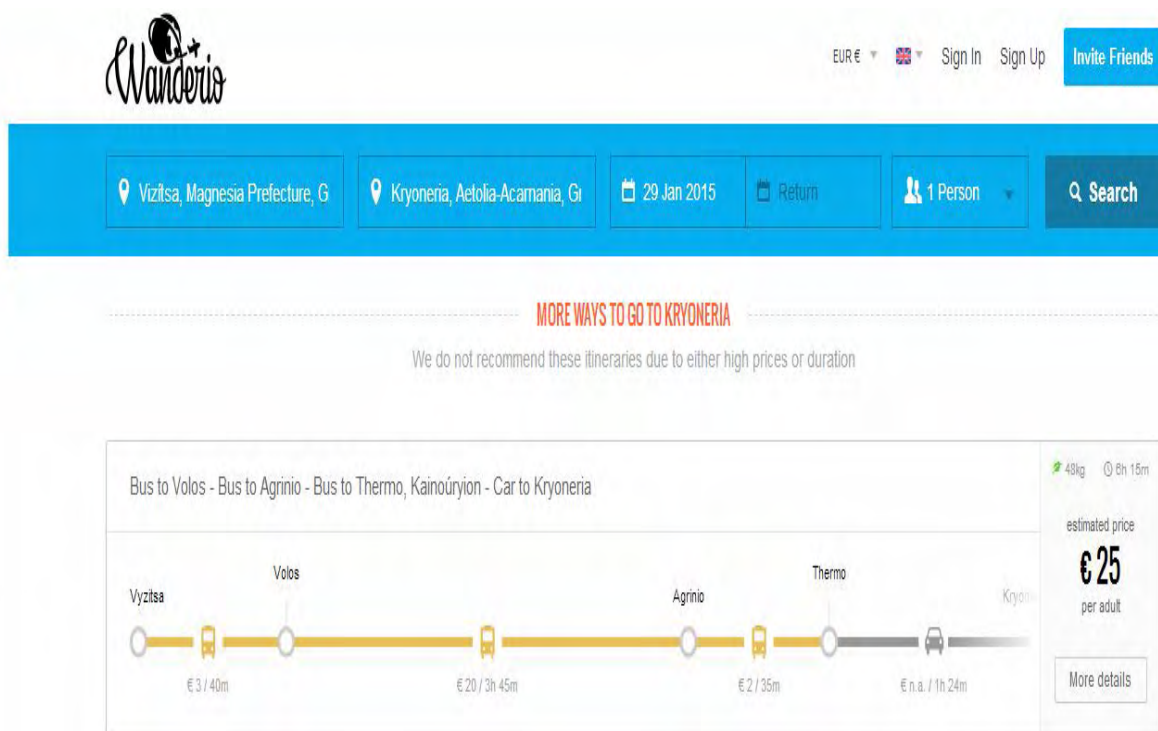
Εικόνα 2.4 : Τα αποτελέσματα της διαδρομής Θεσσαλονίκη-Πάτρα στο Google Maps

- **Wanderio:** Το Wanderio είναι ίσως η μηχανή αναζήτησης που μπορεί να εξυπηρετήσει καλύτερα από όλες όσες υπάρχουν τους ενδιαφερόμενους ταξιδιώτες, στην Ελλάδα αυτή την στιγμή. Καταγράφει αστικές και υπεραστικές μετακινήσεις, συνδυάζει όλα τα μέσα μεταφοράς, δίνει πληροφορίες για την διάρκεια, το κόστος των δρομολογίων, ακόμα και για τις εκπομπές σε CO<sub>2</sub>. Το μειονέκτημα και σε αυτή την περίπτωση είναι ενώ ότι το δίκτυο για τον ελλαδικό χώρο είναι ικανοποιητικό, οι πληροφορίες των δρομολογίων περιορίζονται στις βασικές. Όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, οι πληροφορίες που μας δίνονται για την διαδρομή Θεσσαλονίκη-Πάτρα είναι άκρως ικανοποιητικές σε αντίθεση με μία διαδρομή που περιλαμβάνει τοπικές μετακινήσεις όπως το Βυζίτσα Μαγνησίας-Κρυονέρι Αιτωλοακαρνανίας, όπου δεν μας οδηγεί στον τελικό προορισμό με χρήση συγκοινωνίας, αλλά με ιδιωτική μετακίνηση (αυτοκίνητο).





**Εικόνα 2.5 :** Τα αποτελέσματα της διαδρομής Θεσσαλονίκη-Πάτρα στο Wanderio

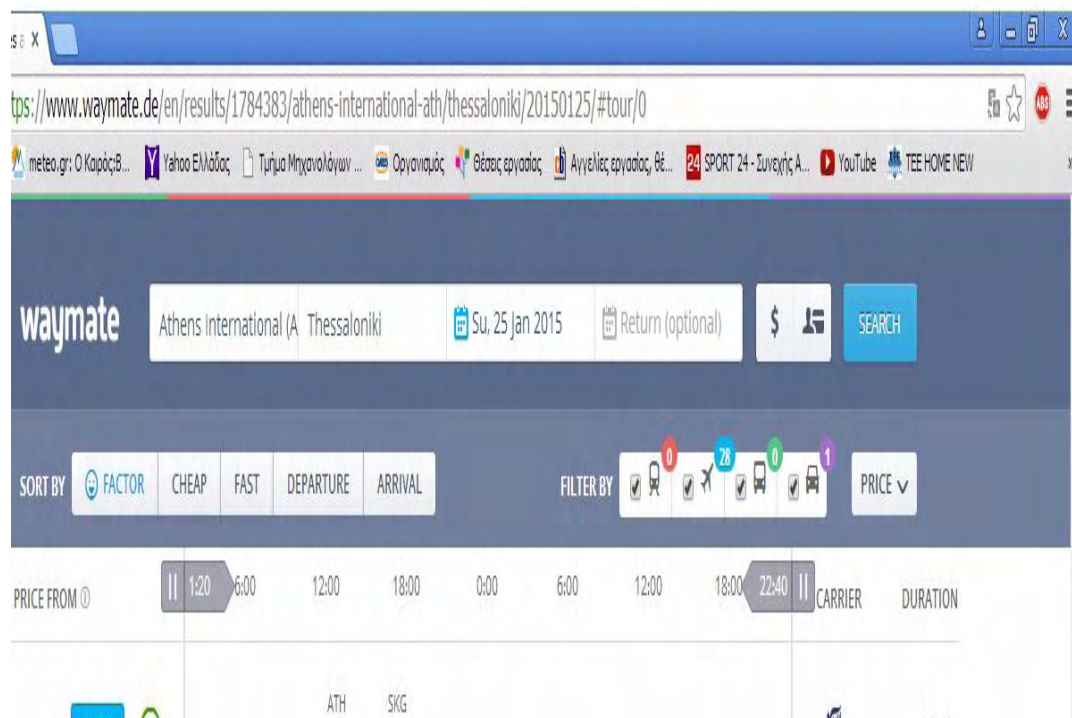


**Εικόνα 2.6 :** Τα αποτελέσματα της διαδρομής Βυζίτσα Μαγνησίας-Κρυονέρι Αιτωλοακαρνανίας στο Wanderio

- **Go Euro:** Το Go Euro είναι μία μηχανή αναζήτησης η οποία στον ελλαδικό χώρο περιορίζεται μόνο σε καταγραφή αεροπορικών μετακινήσεων. Δεν περιλαμβάνει τρένα, λεωφορεία και πλοία. Για παράδειγμα για μια διαδρομή όπως αυτή για Θεσσαλονίκη από Αθήνα, που είναι η πιο πολυσύχναστη ίσως στην Ελλάδα, δεν υπάρχουν παρά μόνο αεροπορικές πληροφορίες.

**Εικόνα 2.7 :** Τα αποτελέσματα της διαδρομής Αθήνα- Θεσσαλονίκη στο Go Euro

- **Waymate, Himpunk, Kayak:** Και τα τρία αυτά site περιλαμβάνουν μηχανές αναζήτησης οι οποίες περιορίζονται σε πληροφορίες για αεροπορικά δρομολόγια όπως ακριβώς και το Go Euro. Ενδεικτικά παρουσιάζουμε τη διαδρομή για το Αθήνα-Θεσσαλονίκη στο Waymate.



**Εικόνα 2.8** : Τα αποτελέσματα της διαδρομής Αθήνα- Θεσσαλονίκη στο Waymate.

### 3 Πειράματα και Ανάλυση Δεδομένων

#### 3.1 Κατασκευή Δικτύου

Η συγκέντρωση των δεδομένων για την κατασκευή του δικτύου μας βασίστηκε σε δύο πηγές:

- Στα δρομολόγια των υπεραστικών σταθμών των λεωφορείων (ΚΤΕΛ) και
- Στα δρομολόγια των τρενών ([ΤραίνΟΣΕ](#))

Η συλλογή των πληροφοριών πραγματοποιήθηκε με χρήση του διαδικτύου και συγκεκριμένα έγινε από τις επίσημες ιστοσελίδες των ΚΤΕΛ και της [ΤραίνΟΣΕ](#). Επιπλέον, καθώς οι ιστοσελίδες των ΚΤΕΛ δεν περιλαμβάνουν πλήρη κάλυψη των δρομολογίων για τον εκάστοτε νομό και ιδιαίτερα των τοπικών, κρίθηκε αναγκαία η τηλεφωνική επικοινωνία, η συνεργασία μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου αλλά και σε μερικές περιπτώσεις η προσωπική επαφή, με τους υπεύθυνους για τα δρομολόγια, εργαζόμενους

των ΚΤΕΛ. Η συγκέντρωση των δεδομένων ήταν μια χρονοβόρα διαδικασία που διήρκησε από τον Μάιο του 2014 έως τον Ιανουάριο του 2015. Όπως είναι εύκολο να αντιληφθεί κανείς τα δεδομένα σε ένα τέτοιο δίκτυο, απαιτούν διαρκή ενημέρωση και ενδεχομένως επέκταση.

Η πλήρης καταγραφή των δρομολογίων (νομός, πόλη ή χωριό, ώρες και ημέρες έναρξης-άφιξης) πραγματοποιήθηκε σε αρχείο Excel. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι εκτός από τα δρομολόγια καταγράφηκαν και οι συντεταγμένες κάθε πόλης ή χωριού που υπάρχει στο δίκτυο. Κάτι τέτοιο, κρίθηκε απαραίτητο προκειμένου ο κώδικάς μας να εντοπίσει την συντομότερη διαδρομή με βάση την εκπομπή του CO<sub>2</sub>. Παράλληλα, τα παραπάνω δεδομένα αποτελούν τη βάση για τη λειτουργία της εφαρμογής-μηχανής αναζήτησης (application) , που θα δημιουργηθεί στα πλαίσια του project της ΤΡΑΙΝΟΣΕ με όνομα <<Multimodal Trasportation>>, με σκοπό να εμφανίσει στον ενδιαφερόμενο τις κατάλληλες πληροφορίες. Αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εκτέλεση του κώδικα θα γίνει σε επόμενη παράγραφο.

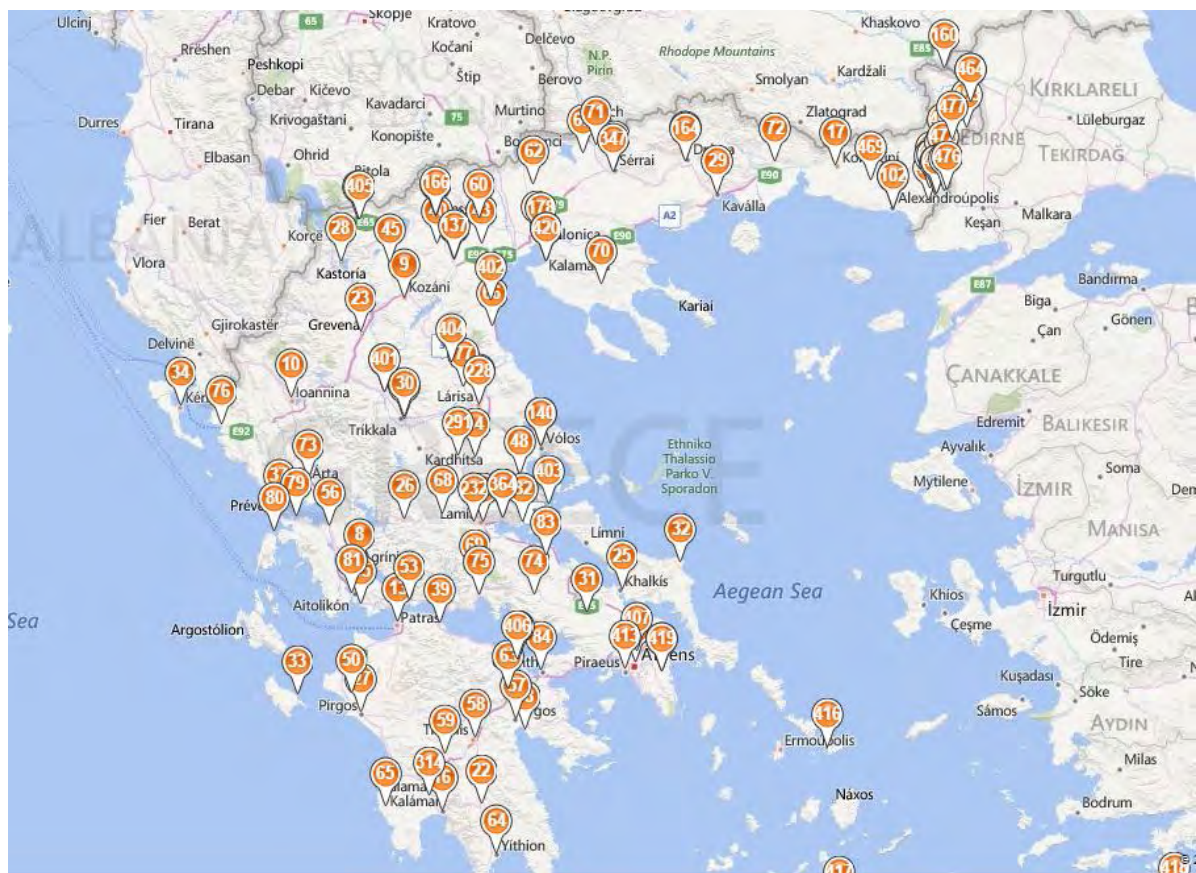
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	423.00								
2									
3	ROUTE	NAME1	NAME2	NAME3	NAME4	NAME6	NAME7		DAYS OF WEEK
4	ROUTE	A	B	C	D	E	F		
5	1	0:01	0:15	0:30	0:55	1:20	1:40		1,2,3,4,5,6,7
6	2	4:20	4:05	3:50	3:25	3:05	2:45		1,2,3,4,5,6,7
7	1	10:00	NONE	NONE	NONE	NONE	3:50		1,6
8	2	13:30	NONE	NONE	10:45	NONE	NONE		
9	route	trikala	kalambaka						
10	1	5:15	NONE						1,2,3,4,5,6,7
11	1	6:00	NONE						1,2,3,4,5
12	1	7:00	NONE						1,2,3,4,5,6,7
13	1	8:00	NONE						1,2,3,4,5
14	1	9:00	NONE						1,2,3,4,5,6,7
15	1	10:00	NONE						1,2,3,4,5
16	1	10:40	NONE						6,7
17	1	11:00	NONE						1,2,3,4,5
18	1	12:15	NONE						1,2,3,4,5,6,7
19	1	13:00	NONE						1,2,3,4,5
20	1	13:15	NONE						6,7
21	1	13:30	NONE						1,2,3,4,5
22	1	14:15	NONE						1,2,3,4,5,6,7
23	1	15:15	NONE						1,2,3,4,5
24	1	16:15	NONE						1,2,3,4,5,6,7
25	1	17:15	NONE						1,2,3,4,5
26	1	18:15	NONE						1,2,3,4,5,6,7
27	1	19:15	NONE						1,2,3,4,5
28	1	20:15	NONE						1,2,3,4,5,6,7
29	1	21:15	NONE						1,2,3,4,5
30	1	22:30	NONE						1,2,3,4,5,6,7
31	2	NONE	5:50						1,2,3,4,5,6,7
32	2	NONE	6:45						1,2,3,4,5

**Εικόνα 3.1** : Παράδειγμα καταγραφής δρομολογίων δικτύου σε αρχείο excel.



	A	B	C
1	<b>ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΤΕΛ ΤΡΙΚΑΛΩΝ</b>		
2			
3	<u>kalambaka</u>	39.7066	21.62846
4	<u>mouzaki</u>	39.429933	21.663154
5	<u>neoxwri</u>	39.607286	21.980951
6	<u>puli</u>	39.459829	21.621987
7	<u>elati</u>	39.504227	21.535067
8	<b>ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΚΤΕΛ ΒΟΛΟΥ</b>		
9	<u>agios lavrentios</u>	39.36125	23.059714
10	<u>xania</u>	39.396399	23.061611
11	MILIES	39.328108	23.150732
12	<u>agia triada</u>	39.101766	22.879391
13	<u>agios vlasios</u>	39.341662	23.067169
14	<u>almyros</u>	39.182464	22.759085
15	<u>amaliapoli</u>	39.167425	22.888674
16	<u>argalasti</u>	39.225784	23.219667
17	<u>afisos</u>	39.271885	23.165357
18	<u>axilleio</u>	39.00464	22.963038

Εικόνα 3.2 : Παράδειγμα καταγραφής συντεταγμένων σε αρχείο excel.



Εικόνα 3.3 : Οι κόμβοι που καταγράφηκαν στο δίκτυο μας

### 3.2 Παρουσίαση του ερωτηματολογίου

Το ερωτηματολόγιο αποτελεί το μέσον επικοινωνίας (interface) μεταξύ του ερευνητή και των ερωτώμενων, με άμεσο ή έμμεσο τρόπο, ανάλογα με τη μέθοδο συλλογής των δεδομένων. Η κατάρτιση του ερωτηματολογίου, λόγω των ιδιοτήτων που έχει, αποτελεί την πλέον κρίσιμη και λεπτή εργασία, καθοριστικής σημασίας για την επιτυχία μιας στατιστικής έρευνας.

Λέγεται χαρακτηριστικά ότι "καμία στατιστική έρευνα δεν μπορεί να είναι καλύτερη από το ερωτηματολόγιο που χρησιμοποιήθηκε σ' αυτή" [33]. Με τη φράση αυτή τονίζεται το γεγονός ότι σε μια έρευνα ακόμη και αν εφαρμοστεί αποτελεσματικό σχέδιο δειγματοληψίας ή η πλέον ενδεδειγμένη ανάλυση των στοιχείων δεν είναι δυνατόν να εξάγουμε σωστά συμπεράσματα αν λάβαμε μη συγκρίσιμες απαντήσεις από ένα ακατάλληλο ερωτηματολόγιο με ασαφείς ερωτήσεις.

Γενικά, τα πλεονεκτήματα της χρήσης ερωτηματολογίου για την διεξαγωγή μιας έρευνας είναι πολλά. Σ' αυτά συμπεριλαμβάνονται :

- το χαμηλό κόστος,
- η ευκολία συμπλήρωσης,
- η δυνατότητα ανωνυμίας του ερωτώμενου
- η ιδιαίτερα εύκολη στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων
- Τυποποιημένοι τρόποι ανάλυσης του υλικού.
- Ο ερευνητής δεν μπορεί να επηρεάσει τις απαντήσεις.
- Είναι η λιγότερο χρονοβόρα μέθοδος.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ερωτηματολογίων είναι:

- Ο ερευνητής δεν είναι σε θέση να αποσαφηνίσει τις ανοιχτές ερωτήσεις (αν υπάρχουν).
- Υποχρεώνει τον ερωτηθέντα να απαντήσει με έναν συγκεκριμένο τρόπο.
- η πιθανή μικρή απόκριση,

Με βάση τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζονται πιο πάνω, κρίθηκε ότι το ερωτηματολόγιο είναι το καταλληλότερο μέσο για την διεκπεραίωση αυτής της ερευνητικής μελέτης. Στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την

κατάρτιση του ερωτηματολογίου.

Για τη σωστή ανάπτυξη του κατάλληλου ερωτηματολογίου προηγήθηκαν οι ακόλουθες ενέργειες :

- Προσδιορισμός και εξειδίκευση του στόχου της έρευνας.
- Προσδιορισμός των γεγονότων που πρέπει να καταγραφούν και από ποιούς
- Επιλογή της μεθόδου συλλογής των δεδομένων.
- Κατανόηση των χαρακτηριστικών των ερωτώμενων

Παράλληλα, πρέπει να προσδιοριστεί η μορφή του ερωτηματολογίου, η οποία μπορεί να είναι είτε ελεύθερη είτε σταθερή. Η ελεύθερη αποτελείται από ερωτήσεις ανοικτού τύπου, ενώ η σταθερή από κλειστού τύπου. Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ενός ερωτηματολογίου παίζει επίσης η κατάστρωση των ερωτήσεων με σαφήνεια, ώστε να περιοριστούν τυχόν παρερμηνείες.

Η παρούσα εργασία βασίστηκε στην ανάλυση και επεξεργασία ερωτηματολογίων που περιείχαν ερωτήσεις κλειστού τύπου (Παράρτημα ). Τα ερωτηματολόγια αναρτήθηκαν σε ειδική σελίδα :

([https://docs.google.com/forms/d/1XoiDm\\_2gD3soO1CPILdxqn10qshAdu\\_ujqx8f18Bg3Q/viewform](https://docs.google.com/forms/d/1XoiDm_2gD3soO1CPILdxqn10qshAdu_ujqx8f18Bg3Q/viewform))

Υπήρχε η δυνατότητα να απαντηθούν on line και απαντημένα να σταλθούν ηλεκτρονικά στον ιστοχώρο της σχολής . Ο στόχος της έρευνας αυτής, όπως έχει προαναφερθεί, ήταν να εξαχθούν όσο το δυνατόν πιο χρήσιμα συμπεράσματα για τη χρήση πολλαπλών μέσων μεταφοράς στην Ελλάδα και τον οικολογικό τρόπο μετακινήσεων. Για την επίτευξη των παραπάνω, απαντήθηκαν 158 ερωτηματολόγια. Ο αριθμός αυτός κρίνεται ικανοποιητικός από το γεγονός ότι αποτελεί περίπου το 63% των σταλθέντων. Η χρονική διάρκεια αποστολής των ερωτηματολογίων ήταν περίπου 9 μήνες, από τον Μάιο του 2014 μέχρι και το Γενάρη του 2015. Πρέπει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι η αποστολή των ερωτηματολογίων έγινε με διάφορους τρόπους, όπως fax ή ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail) και σε ορισμένες περιπτώσεις προσωπικά.



### 3.2.1 Δειγματοληψία

Η συγκέντρωση στατιστικών δεδομένων είναι μια από τις εξαιρετικά σημαντικές ενέργειες που οφείλει να διεξαγάγει ο στατιστικός όταν επιθυμεί να μελετήσει στατιστικά ένα φαινόμενο. Πριν ξεκινήσει η στατιστική έρευνα οφείλουν, οι ερευνητές, να ορίσουν με σαφήνεια το σύνολο που θα μελετήσουν, δηλαδή, τον στατιστικό πληθυσμό. Καθώς και τις στατιστικές μονάδες που θα απαρτίζουν τον πληθυσμό. Στατιστική μονάδα είναι δυνατόν να θεωρηθεί ένα αντικείμενο, ένα άτομο, ένα νοικοκυριό κ.α. [33].

Δύο είναι οι μέθοδοι συγκέντρωσης στατιστικών στοιχείων :

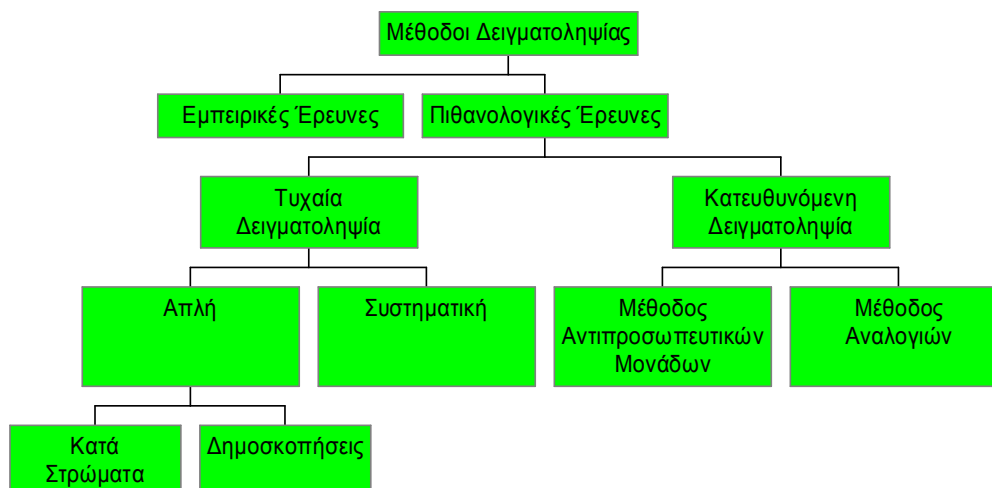
οι εξαντλητικές έρευνες ,και

- οι δειγματοληπτικές έρευνες (δειγματοληψία)

Δειγματοληψία είναι η απογραφή ορισμένων συγκεκριμένων χαρακτηριστικών ενός τμήματος του πληθυσμού. Το τμήμα του πληθυσμού που απογράφεται ονομάζεται δείγμα. Σκοπός, τώρα, των δειγματοληπτικών ερευνών είναι να προσδιορίσουμε όσο γίνεται ακριβέστερα ιδιότητες του πληθυσμού, μελετώντας απογραφικά τα στοιχεία του δείγματος. Η συνέπεια της επέκτασης των συμπερασμάτων που προέρχονται από τη μελέτη των χαρακτηριστικών του δείγματος, σ' ολόκληρο τον πληθυσμό, εξαρτάται από τη μέθοδο δειγματοληψίας που εφαρμόζουμε. Καθώς από τη ποιότητα του δείγματος εξαρτάται κατά πολύ η σημαντικότητα των εκτιμήσεων. Τέλος οι εκτιμήσεις των δειγματοληψιών δεν δίνουν ακριβείς τιμές αλλά προσεγγίσεις για το σύνολο του πληθυσμού [33]. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που επιτρέπουν την ανάλυση του δείγματος. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν διαγραμματικά και θα δικαιολογηθεί η μέθοδος που επιλέχθηκε. .

#### **Δειγματοληπτικές έρευνες**

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που επιτρέπουν την ανάλυση του δείγματος. Στη συνέχεια, θα παρουσιαστούν διαγραμματικά και θα αναφερθεί η μέθοδος που επιλέχθηκε.



Πηγή εικόνας : Παπαδημητρίου 2001

### Εικόνα 3.3 : Μέθοδοι Δειγματοληψίας

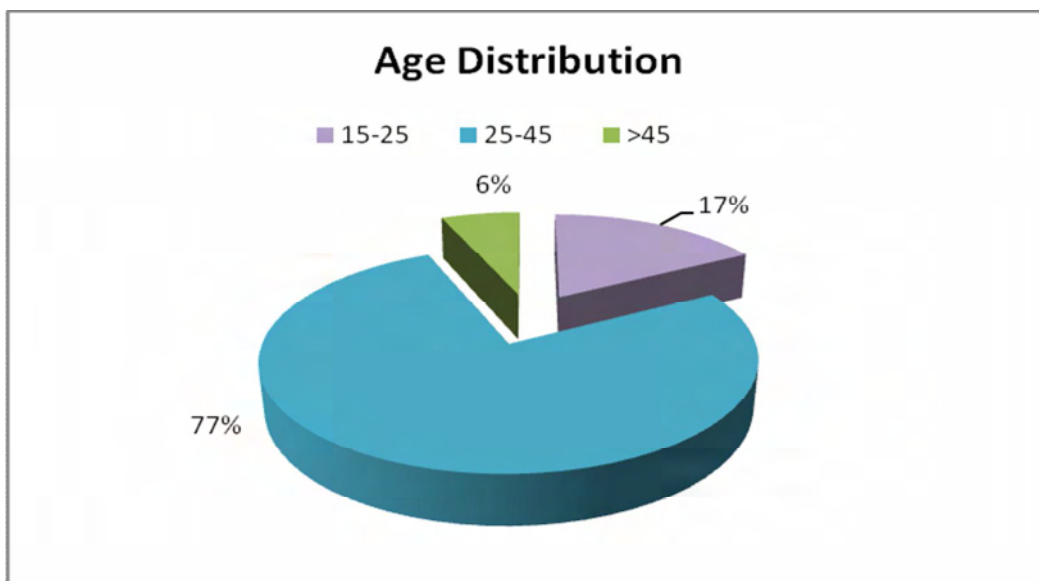
Η μέθοδος που επιλέχθηκε για την συγκεκριμένη έρευνα είναι η απλή τυχαία δειγματοληψία. Για την καλύτερη εξαγωγή συμπερασμάτων και την σφαιρική κάλυψη του θέματός μας, το δείγμα μας αποτελείτο από άτομα που εργάζονται σε διαφορετικούς τομείς της καθημερινότητας.

Η διαμόρφωση των ερωτήσεων του ερωτηματολογίου έγινε με τη βοήθεια και τη συμβουλή του επιβλέποντος καθηγητή. Τα ερωτηματολόγια αποτελούνται από ένα σύνολο 10 ερωτήσεων. Η στατιστική ανάλυση των ερωτηματολογίων έγινε με τη χρήση του προγράμματος EXCEL προκειμένου να σχηματιστούν τα κατάλληλα διαγράμματα για κάθε ερώτηση. Έπειτα, ακολουθεί ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και συμπεράσματα.

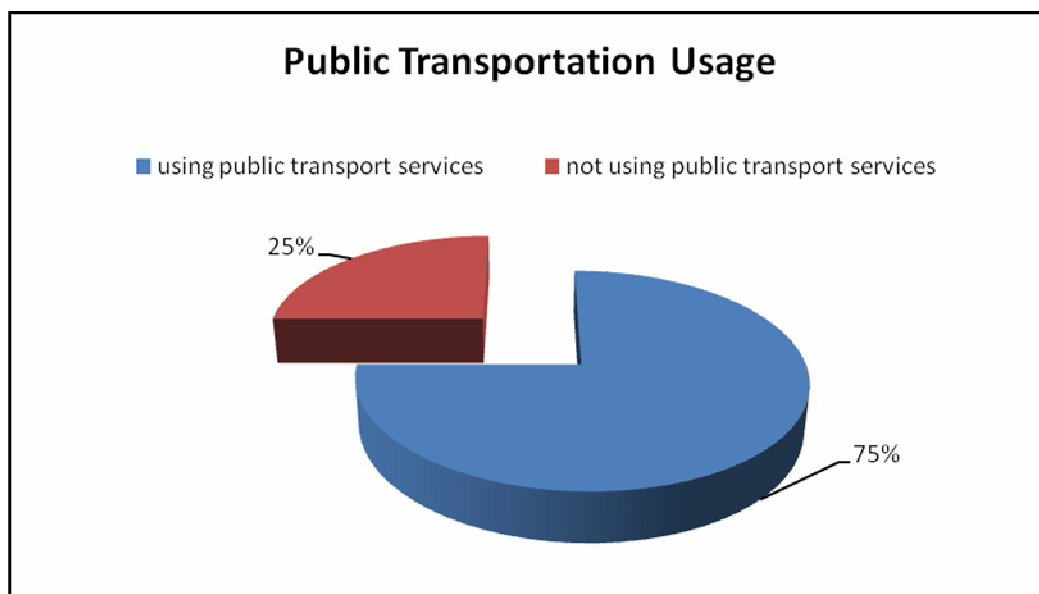
### **3.3 Ανάλυση Ερωτήσεων Ερωτηματολογίου για Μεταφορές πολλαπλών μέσων και χαμηλών εκπομπών CO2**

#### **Ερωτήσεις ερωτηματολογίου**

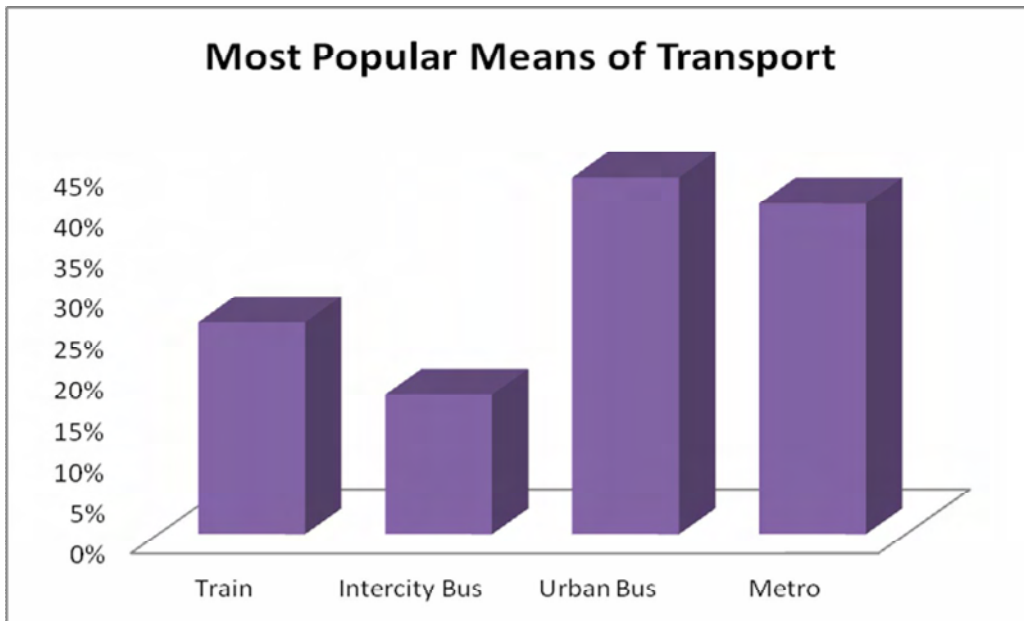
1. Ποια είναι η ηλικία σας;
2. Χρησιμοποιείτε τακτικά, μέσα μαζικής μεταφοράς;
3. Ποια μέσα μεταφοράς χρησιμοποιείτε τακτικά;
4. Έχετε αυτοκίνητο;
5. Είστε πρόθυμοι να χρησιμοποιήσετε πολλαπλά μεταφορικά μέσα για τις μετακινήσεις σας προκειμένου το ταξίδι σας να είναι περισσότερο οικολογικό;
6. Ποιος ο μεγαλύτερος χρόνος καθυστέρησης που είστε πρόθυμοι να ανεχθείτε για την μετεπιβίβασή σας από ένα μεταφορικό μέσο σε ένα άλλο, έτσι ώστε η μετακίνησή σας να είναι περισσότερο οικολογική με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων;
7. Ποιο είναι το ποσό των χρημάτων για το οποίο είστε πρόθυμοι να διαθέσετε επιπλέον (η και λιγότερο) σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο μετακίνησης έτσι ώστε η μετακίνησή σας να είναι περισσότερο οικολογική με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων;
8. Ποιός είναι ο πρόσθετος χρόνος ταξιδιού, σε σχέση με τον αρχικό χρόνο, που είστε πρόθυμοι να ανεχτείτε έτσι ώστε το ταξίδι σας να είναι περισσότερο οικολογικό με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων;
9. Για ποιο τύπο μετακίνησης είστε πρόθυμοι να ταξιδέψετε με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων έτσι ώστε το ταξίδι σας να είναι περισσότερο οικολογικό;
10. Για ποιο χιλιομετρικό μέγεθος μετακίνησης είστε πρόθυμοι να ταξιδέψετε με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων, έτσι ώστε το ταξίδι σας να είναι περισσότερο οικολογικό;



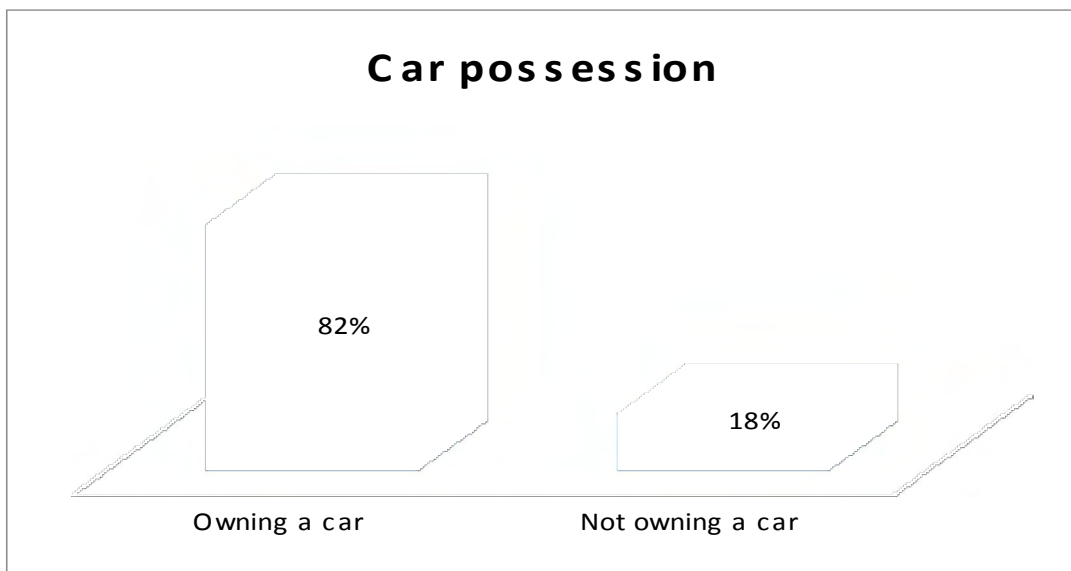
**Σχήμα 3.1** : Ανάλυση ερώτησης 1 : Οι περισσότεροι συμμετέχοντες στην έρευνα, με ένα ποσοστό της τάξεως του 77%, ανήκει στην κατηγορία 25-45 ετών.



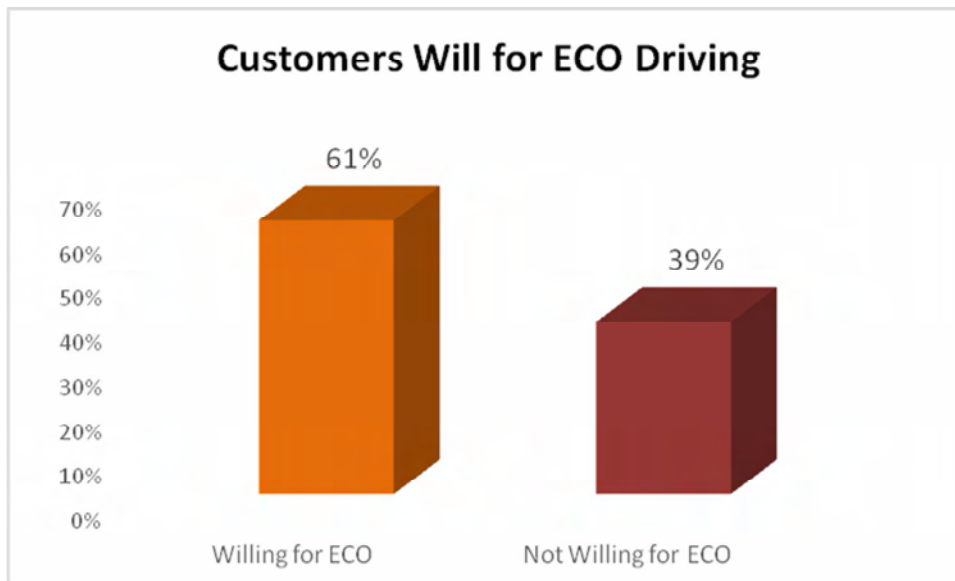
**Σχήμα 3.2** : Ανάλυση ερώτησης 2: Η πλειοψηφία των ερωτηθέντων χρησιμοποιεί μέσα μαζικής μεταφοράς με ποσοστό 75%.



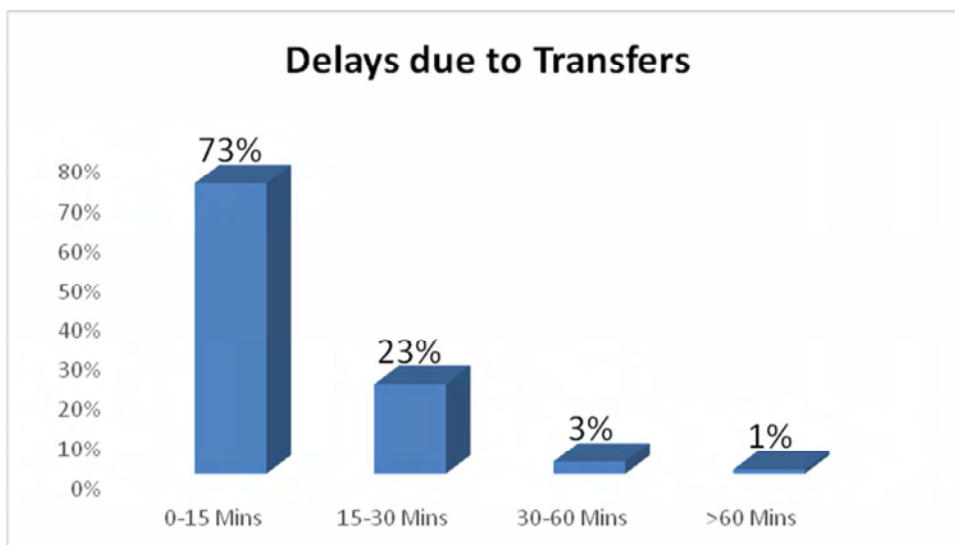
**Σχήμα 3.3** : Ανάλυση ερώτησης 3: Το μεγαλύτερο μέρος των ερωτηθέντων χρησιμοποιεί μετρό και αστικό λεωφορείο για την μετακίνησή του. Ακολουθούν με χαμηλότερα ποσοστά το τραίνο και τα υπεραστικά λεωφορεία.



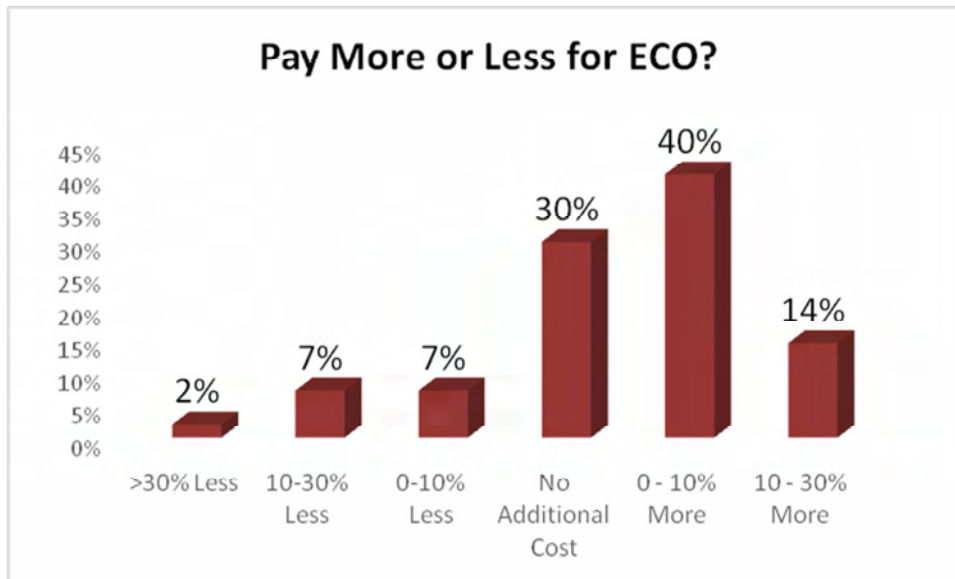
**Σχήμα 3.4** : Ανάλυση ερώτησης 3: Στην ερώτηση για το αν οι συμμετέχοντες στην έρευνα διαθέτουν αυτοκίνητο, η συντριπτική πλειοψηφία με ποσοστό 82% απάντησε θετικά.



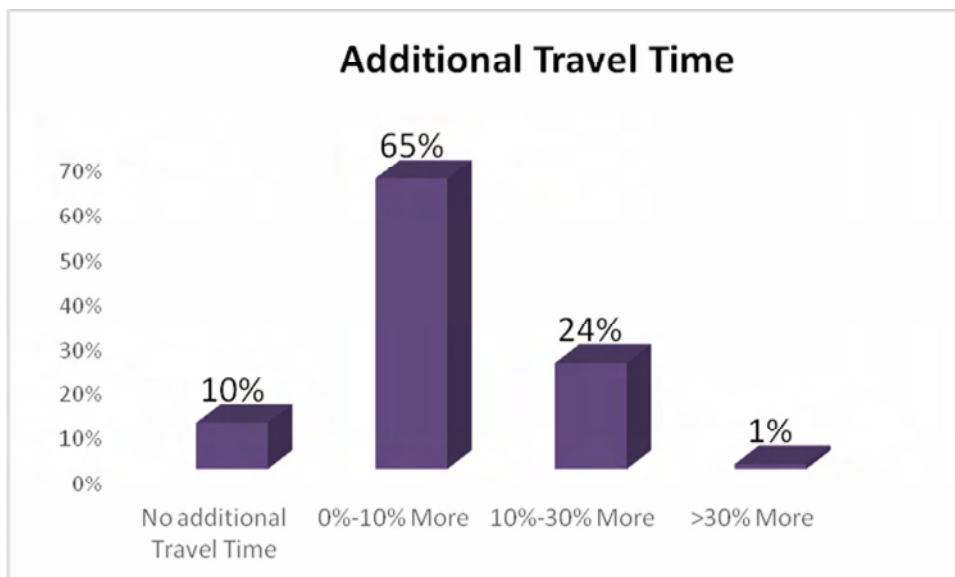
**Σχήμα 3.5 :** Ανάλυση ερώτησης 5: Ο μεγαλύτερος αριθμός των ερωτηθέντων, με ένα ποσοστό της τάξεως του 61%, είναι διατεθειμένος να κάνει το ταξίδι του πιο οικολογικό.



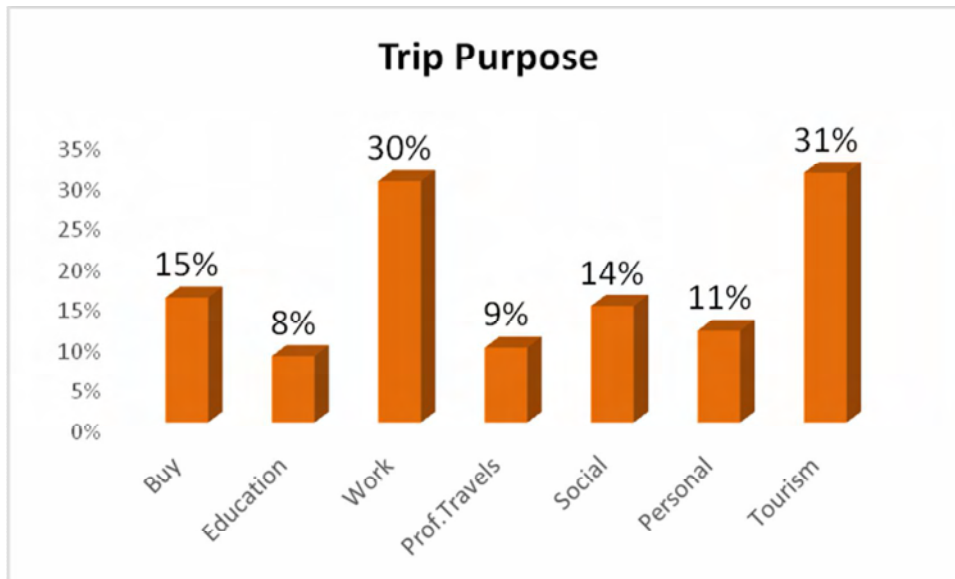
**Σχήμα 3.6 :** Ανάλυση ερώτησης 6 : Το μεγαλύτερο ποσοστό των ερωτηθέντων, της τάξεως του 73%, είναι πρόθυμο να ανεχτεί καθυστέρηση λόγω μετεπιβίβασης από ένα μεταφορικό μέσο σε ένα άλλο από 0 έως 15 λεπτά, προκειμένου η μετακίνηση του να είναι περισσότερο οικολογική με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων.



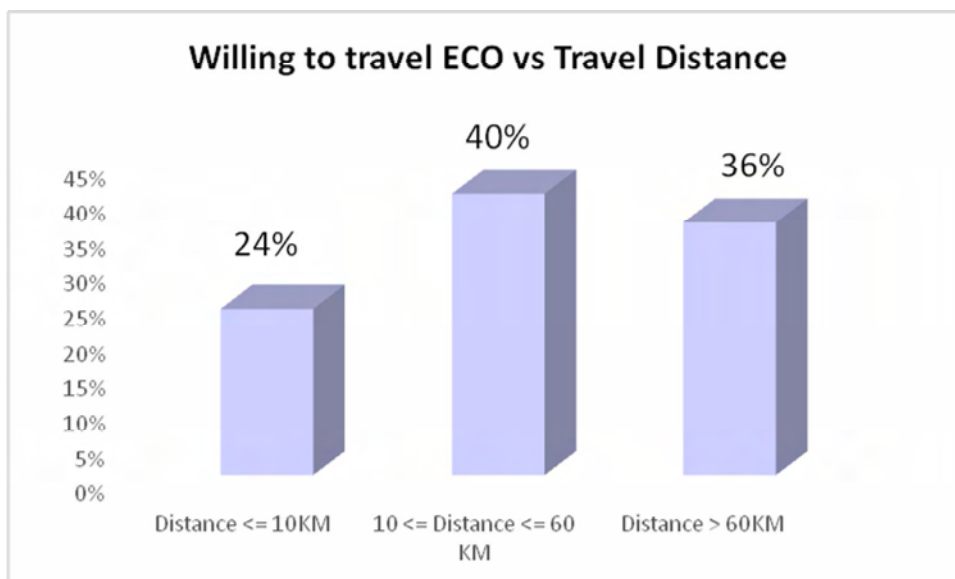
**Σχήμα 3.7 :** Ανάλυση ερώτησης 7 : Ο μεγαλύτερος αριθμός των ερωτηθέντων, με ένα ποσοστό της τάξεως του 40%, είναι διατεθειμένος να πληρώσει το πολύ μέχρι 10% επιπλέον, σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο μετακίνησης . Πρέπει όμως να αναφερθεί ότι ένα σημαντικό ποσοστό που αγγίζει το 30% δεν δείχνει διάθεση να επενδύσει επιπλέον χρήματα από ότι συνήθως για τις μετακινήσεις του, ώστε να είναι πιο φιλικές προς το περιβάλλον.



**Σχήμα 3.8 :** Ανάλυση ερώτησης 8 : Η πλειοψηφία των ερωτηθέντων με ποσοστό 65% , έχει πρόθεση, προκειμένου το ταξίδι τους να είναι πιο οικολογικό με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων, να δεχτεί πρόσθετο χρόνο ταξιδιού έως και 10% περισσότερο από το συνηθισμένο.



**Σχήμα 3.9** : Ανάλυση ερώτησης 9 : Οι δύο επικρατέστεροι τύποι μετακίνησης για τους οποίους είναι διατεθειμένοι να ταξιδέψουν με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων οι ερωτηθέντες, είναι η εργασία και ο τουρισμός με ποσοστά 30% και 31% αντίστοιχα.



**Σχήμα 3.10** : Ανάλυση ερώτησης 10 : Τα χιλιομετρικά μεγέθη για τα οποία είναι πρόθυμοι οι συμμετέχοντες στην έρευνα να τα ταξιδέψουν με συνδυαστική μεταφορά, είναι μεσαία (μεταξύ 10 και 60 χιλιομέτρων) και μεγάλα (πάνω από 60 χιλιόμετρα), με περίπου ίδιο ποσοστό.



### **3.4 Συσχέτιση Μεταφορών και Εκπομπών CO<sub>2</sub> για τον ελλαδικό χώρο**

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστούν με τη μορφή διαγραμμάτων παραδείγματα συσχέτισης των μεταφορών με την εκπομπή CO<sub>2</sub>. Τα παραδείγματα αυτά αφορούν διάφορα γεωγραφικά τμήματα της χώρας και αποσκοπούν στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για το κατά πόσο ο συνδυασμός περισσοτέρων του ενός μέσου μεταφοράς μπορεί να βοηθήσει στο να γίνει μία μετακίνηση πιο οικολογική, με χαμηλότερες εκπομπές ρύπων.

Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε κώδικας προγραμματισμού ο οποίος βασισμένος στον αλγόριθμο Dijkstra, μας δίνει τη βέλτιστη- συντομότερη διαδρομή με βάση την εκπομπή CO<sub>2</sub>, ανάμεσα σε δύο σημεία ενδιαφέροντος. Ο κώδικας μας αντλεί τις πληροφορίες του, από αρχείο EXCEL στο οποίο καταγράφονται όλα τα δεδομένα που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία του προγράμματος. Συγκεκριμένα, το αρχείο αυτό περιλαμβάνει τις πόλεις-κόμβους που θέλουμε να επισκεφθούμε, την απόσταση σε χιλιόμετρα ανάμεσα στα σημεία μετακίνησης, την εκπομπή CO<sub>2</sub> για την εκάστοτε μετακίνηση, το μέσο μετακίνησης αλλά και τις συντεταγμένες των κόμβων μας. Πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι τα δεδομένα μας στηρίχτηκαν στο multimodal δίκτυο για τα τραίνα και τα ΚΤΕΛ που έχουμε ήδη παρουσιάσει και εμπλουτίστηκε με τις χιλιομετρικές αποστάσεις και τις εκπομπές των ρύπων, για τις ανάγκες της μελέτης μας.

Σε ότι αφορά τους υπολογισμούς του CO<sub>2</sub>, πρέπει να σημειώσουμε ότι για τα υπεραστικά λεωφορεία ύστερα από έρευνα βρέθηκε ότι καταναλώνουν 30lt/100km καύσιμο τύπου diesel. Λαμβάνοντας υπόψη από τη βιβλιογραφία ότι η καύση ενός λίτρου diesel αντιστοιχεί σε εκπομπή 2632gr CO<sub>2</sub> (Πίνακας 3.1) και ότι η χωρητικότητα σε επιβάτες των λεωφορείων των ΚΤΕΛ είναι 50, υπολογίσαμε ότι η εκπομπή CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο ανά επιβάτη για τα υπεραστικά λεωφορεία είναι 31,56gr.

Πίνακας 3.1

Συντελεστές Εκπομπών Καυσίμων στις Μεταφορές		
Είδος Καυσίμου	Μονάδα Μέτρησης	Kg CO <sub>2</sub> ανά μονάδα μέτρησης
Βενζίνη	lt	2,3035
Diesel	lt	2,6391
Συμπιεσμένο Φυσικό Αέριο (CNG)	Kg	2,7278
Υγραέριο (LPG)	lt	1,4951

Πίνακας: 3.2

Country	Electricity generation [TWh]	Carbon intensity of power production [kgCO <sub>2</sub> /MWh]			
		Coal	Oil	Gas	Total (fossil and non-fossil)
Austria	60.3	886	401	292	150
Belgium	82.7	1092	733	335	284
Denmark	36.2	520	597	250	373
France	535.8	544	324	238	41
Finland	70.0	1056	526	337	253
Germany	567.1	821	440	345	468
Greece	53.4	979	736	505	807
Ireland	23.7	971	701	460	670
Italy	269.9	1058	706	431	506
Luxembourg	0.4	-	-	204	108
Netherlands	89.6	951	528	304	464
Portugal	43.4	865	574	383	468
Spain	221.7	900	634	303	421
Sweden	145.9	578	311	208	16
UK	372.2	918	554	385	467
EU 15					
Average	2572.3	808	518	332	353

Πηγή: IEA 2010

Αντίστοιχα για τα τραίνα γνωρίζοντας ύστερα από έρευνα ότι για να καλυφθεί 1 km ανά επιβάτη, απαιτείται η καύση 0,03961kwh και ότι η καύση μίας κιλοβατώρας αντιστοιχεί στην εκπομπή 505gr CO<sub>2</sub> (Πίνακας 3.2) , υπολογίσαμε ότι η εκπομπή CO<sub>2</sub> ανά χιλιόμετρο ανά επιβάτη είναι 20,00305gr. Η χωρητικότητα μιας μέσης αμαξοστοιχίας είναι 374 επιβάτες. Οι υπολογισμοί αυτοί αποτέλεσαν τη βάση για τους υπολογισμούς του CO<sub>2</sub> στην εκάστοτε διαδρομή όπως φαίνεται ενδεικτικά παρακάτω.

	A	B	C	D	E	F
1	fn	tn	co2	dist	vehicle	
2	72	6	3819	121	1	
3	72	24	3030	96	1	
4	24	72	2998	95	1	
5	24	29	1168	37	1	
6	29	24	1168	37	1	
7	24	14	20198	640	1	
8	14	24	20198	640	1	
9	24	6	4671	148	1	
10	6	24	4671	148	1	
11	29	72	1830	58	1	
12	29	14	20451	648	1	
13	14	29	20451	648	1	
14	29	6	4892	155	1	
15	6	29	4892	155	1	
16	62	6	1578	50	1	
17	6	62	1578	50	1	
18	20	14	15906	504	1	
19	14	20	15906	504	1	
20	20	6	2209	70	1	
21	6	20	2209	70	1	
22	20	40	631	20	1	
23	40	20	631	20	1	
24	20	43	947	30	1	
25	43	20	947	30	1	
26	20	47	1704	54	1	
27	47	14	17169	544	1	
28	14	47	17169	544	1	
29	47	6	2619	83	1	
30	6	47	2619	83	1	
31	47	60	1231	39	1	
32	60	47	1231	39	1	
33	47	9	3093	98	1	
34	9	47	1231	39	1	
35	47	10	7133	226	1	

**Εικόνα 3.4 :** Καταγραφή δεδομένων επεξεργασίας σε αρχείο excel.

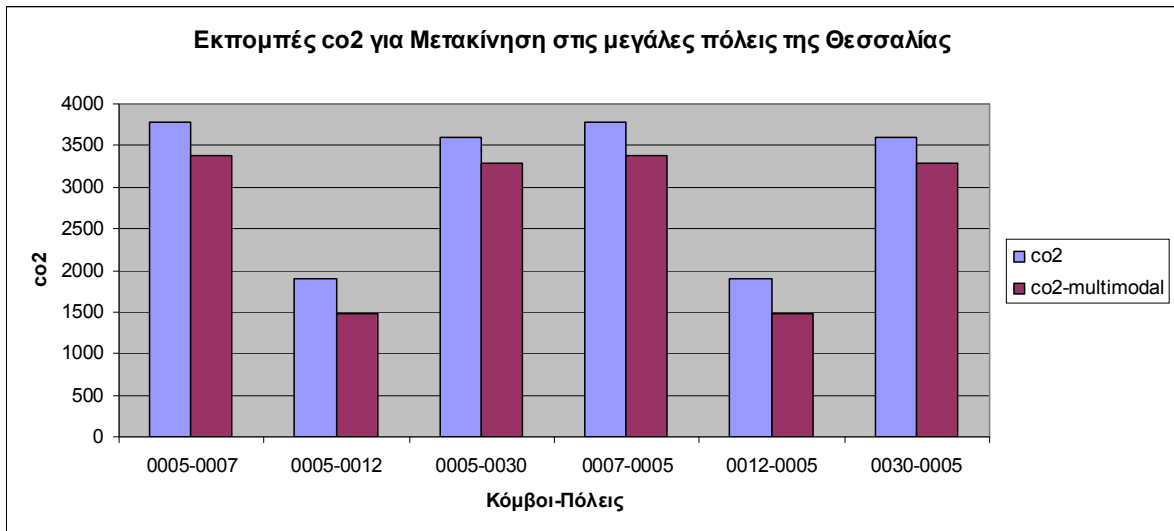
Έχοντας καταγράψει πλήρως τα δεδομένα που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία του προγράμματος μας, δημιουργήσαμε υποπροβλήματα για μετακινήσεις στον ελλάδικό χώρο, είτε με λεωφορείο είτε με συνδυασμό λεωφορείου και τραίνου. Τα υποπροβλήματα περιλαμβάνουν μετακινήσεις μέσα σε διάφορα γεωγραφικά διαμερίσματα, μετακινήσεις με μικρές χιλιομετρικές αποστάσεις (<100km), αλλά και μεγάλες (>100km). Η πληροφορίες που παίρνουμε από την εκτέλεση του προγράμματος είναι οι εκπομπές των ρύπων ανάλογα με το είδος μετακίνησης, η απόσταση σε km και η διαδρομή που ακολουθείται. Ένα παράδειγμα δίνεται στην εικόνα 3.5.

	A	B	C	D	E	F
<b>ktel thessalia-apotelesmata</b>			<b>komvoi</b>	<b>co2</b>	<b>km</b>	<b>route</b>
0005-0005		5	5	0	0	5
0005-0007		5	7	3788	120	5=>12=>7
0005-0012		5	12	1894	60	5=>12
0005-0030		5	30	3598	114	5=>30
0007-0007		7	7	0	0	7
0007-0005		7	5	3788	120	7=>12=>5
0007-0012		7	12	1894	60	7=>12
0007-0030		7	30	789	25	7=>30
0012-0012		12	12	0	0	12
0012-0005		12	5	1894	60	12=>5
0012-0007		12	7	1894	60	12=>7
0012-0030		12	30	1799	57	12=>30
0030-0030		30	30	0	0	30
0030-0005		30	5	3598	114	30=>5
0030-0007		30	7	789	25	30=>7
0030-0012		30	12	1799	57	30=>12
				27524		
<b>ktel-traina thessalia-apotelesmata</b>			<b>komvoi</b>	<b>co2</b>	<b>km</b>	<b>route</b>
0005-0005		5	5	0	0	5
0005-0007		5	7	3376	136	>140=>228=>12=>7
0005-0012		5	12	1482	76	5=>140=>228=>12
0005-0030		5	30	3281	133	140=>228=>12=>30
0007-0007		7	7	0	0	7
0007-0005		7	5	3376	136	>12=>228=>140=>5
0007-0012		7	12	1894	60	7=>12
0007-0030		7	30	789	25	7=>30
0012-0012		12	12	0	0	12
0012-0005		12	5	1482	76	12=>228=>140=>5
0012-0007		12	7	1894	60	12=>7

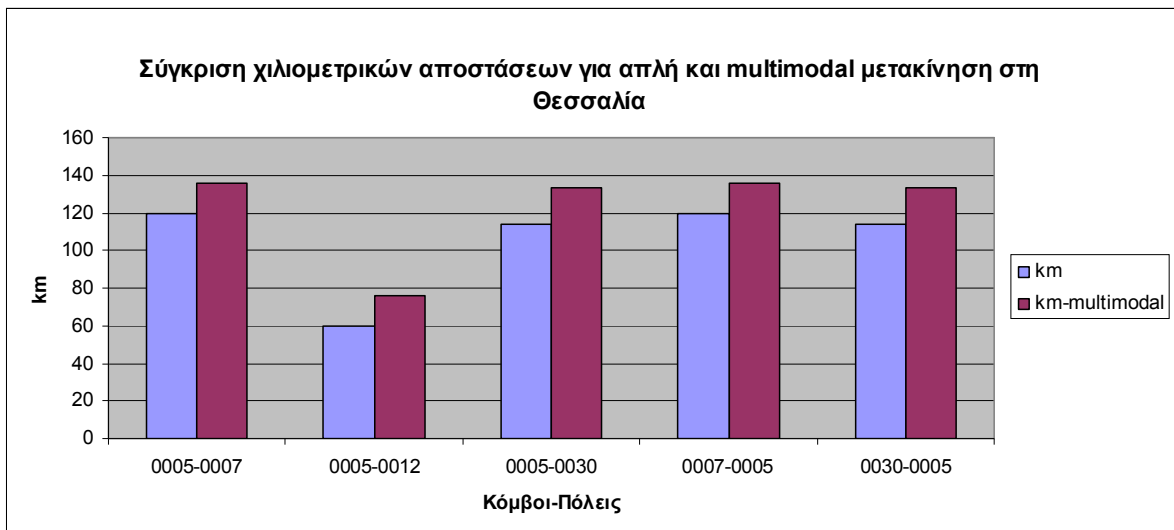
**Εικόνα 3.5** :Αποτελέσματα από την εκτέλεση του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων μας λήφθηκαν σοβαρά υπόψη οι απαντήσεις των υπονήφιων ταξιδιωτών στις ερωτήσεις του ερωτηματολογίου που περιγράψαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έτσι παρατηρούμε ότι οι συμμετέχοντες στην έρευνα εκτός από το γεγονός ότι επιθυμούν να κάνουν το ταξίδι τους πιο οικολογικό στη μεγαλύτερη πλειοψηφία τους, θα επιθυμούσαν οι μετακινήσεις τους για αυτό το λόγο να είναι για μεσαίες και μεγάλες αποστάσεις. Επιπρόσθετα, θα επιθυμούσαν ο επιπλέον χρόνος ταξιδιού να μην είναι πολύ μεγαλύτερος από ότι αν μετακινούνταν με ένα μέσο μεταφοράς. Από όλα τα παραπάνω καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η ανάλυση των αποτελεσμάτων μας και προκειμένου να οδηγηθούμε σε πιο ασφαλή συμπεράσματα, έπρεπε να περιλαμβάνει γραφήματα που εκτός από τη σύγκριση εκπομπών CO<sub>2</sub> θα περιλαμβάνει και τη σύγκριση των χιλιομετρικών αποστάσεων μεταξύ των απλών και των συνδυασμένων μετακινήσεων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων μας όπως αυτά κατασκευάστηκαν με χρήση του προγράμματος EXCEL.

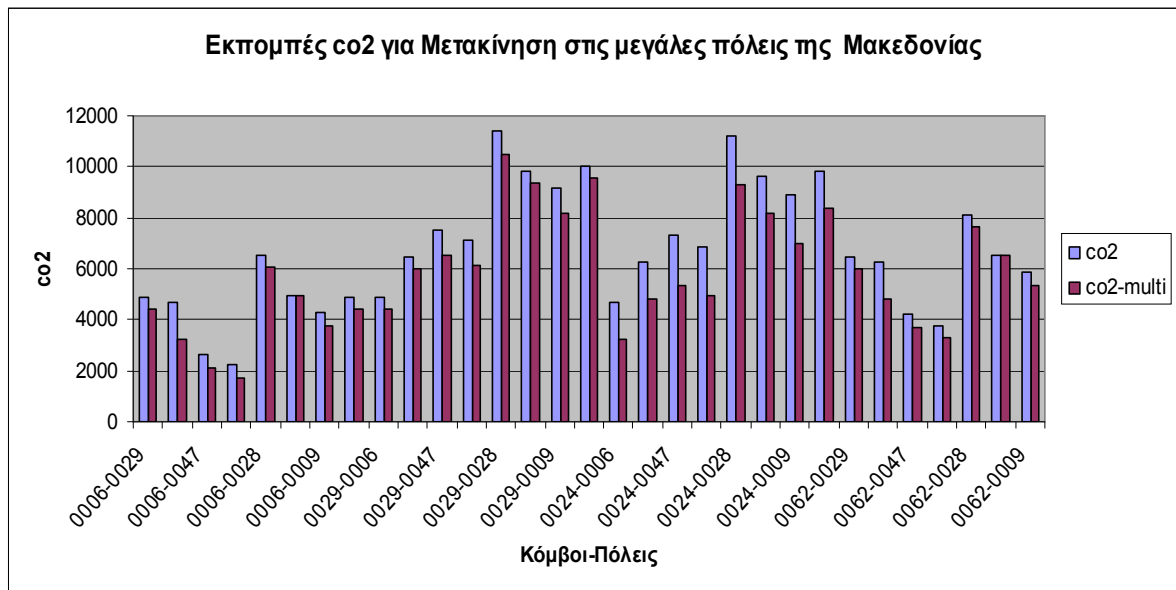


**Σχήμα 3.11 :** Εκπομπές CO<sub>2</sub> στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση

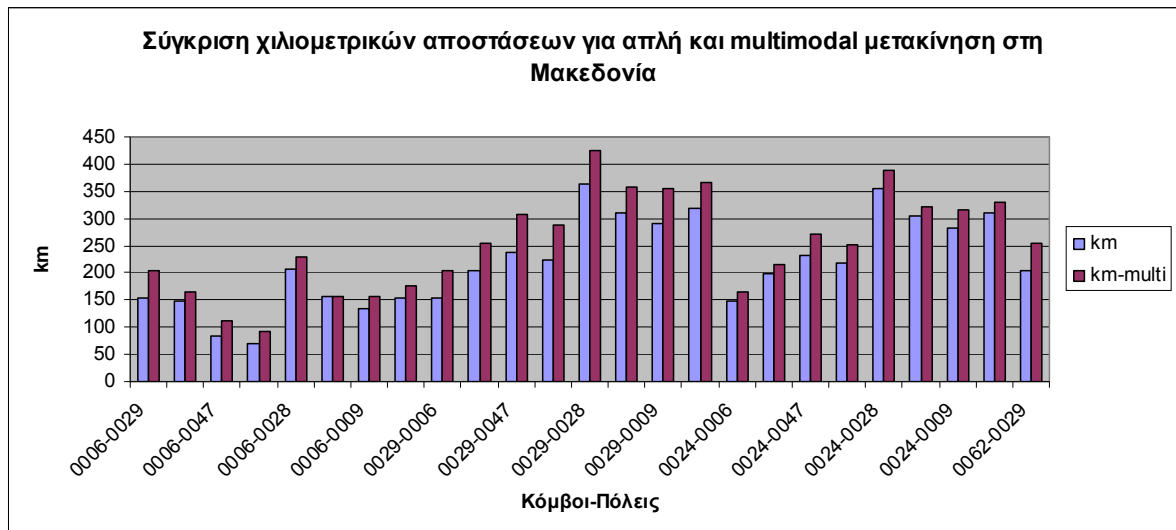


**Σχήμα 3.12 :** Χιλιομετρικές αποστάσεις στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση

Στο σχήμα 3.11 παρατηρούμε ότι στη Θεσσαλία, για μετακίνηση στις κύριες πόλεις (Βόλος, Τρίκαλα, Λάρισα, Καρδίτσα), η εκπομπή είναι μειωμένη στην περίπτωση που μετακινούμαστε με συνδυασμό τραίνου και λεωφορείου. Η απόσταση που απαιτείται για μετακίνηση σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερη όπως φαίνεται από το σχήμα 3.12.



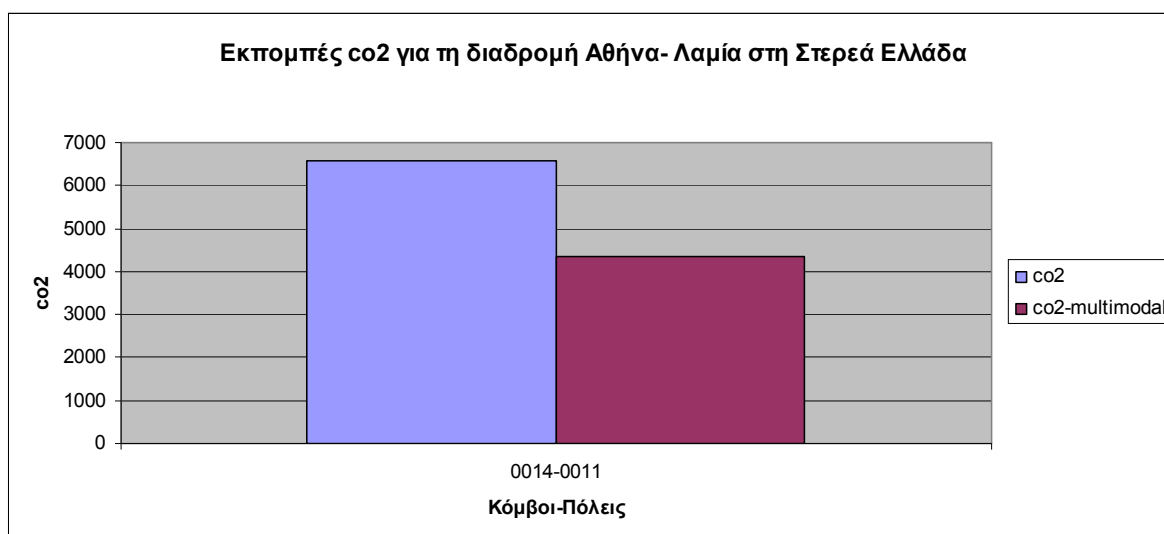
**Σχήμα 3.13 :** Εκπομπές CO2 στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Μακεδονίας, για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση



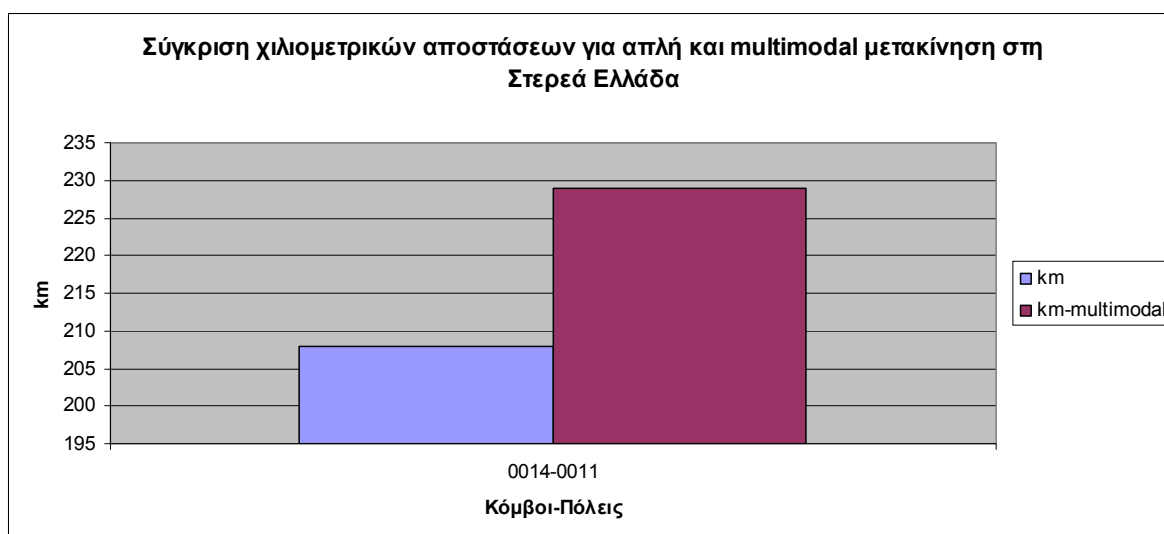
**Σχήμα 3.14 :** Χιλιομετρικές αποστάσεις στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Μακεδονίας, για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση

Στο σχήμα 3.13 παρατηρούμε ότι και στη Μακεδονία, για μετακίνηση στις κύριες πόλεις (Θεσσαλονίκη, Καβάλα, Έδεσσα, Καστοριά), η εκπομπή είναι μειωμένη στην περίπτωση που μετακινούμαστε με συνδυασμό τραίνου και λεωφορείου. Η απόσταση που απαιτείται για μετακίνηση και σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερη όπως φαίνεται από το σχήμα.

### 3.14.



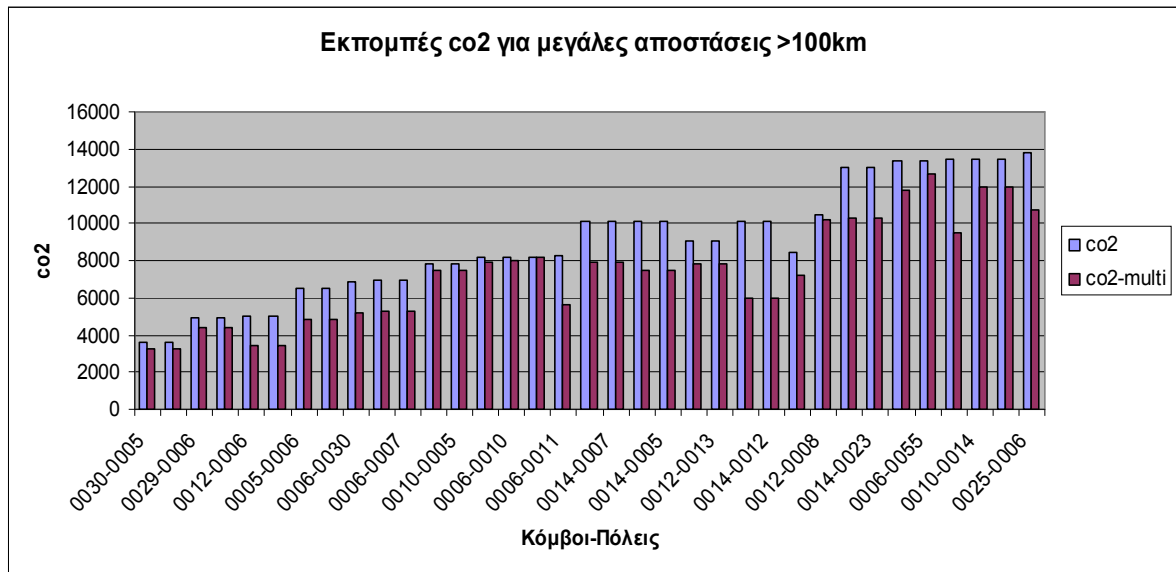
**Σχήμα 3.15 :** Εκπομπές CO<sub>2</sub> στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας, για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση



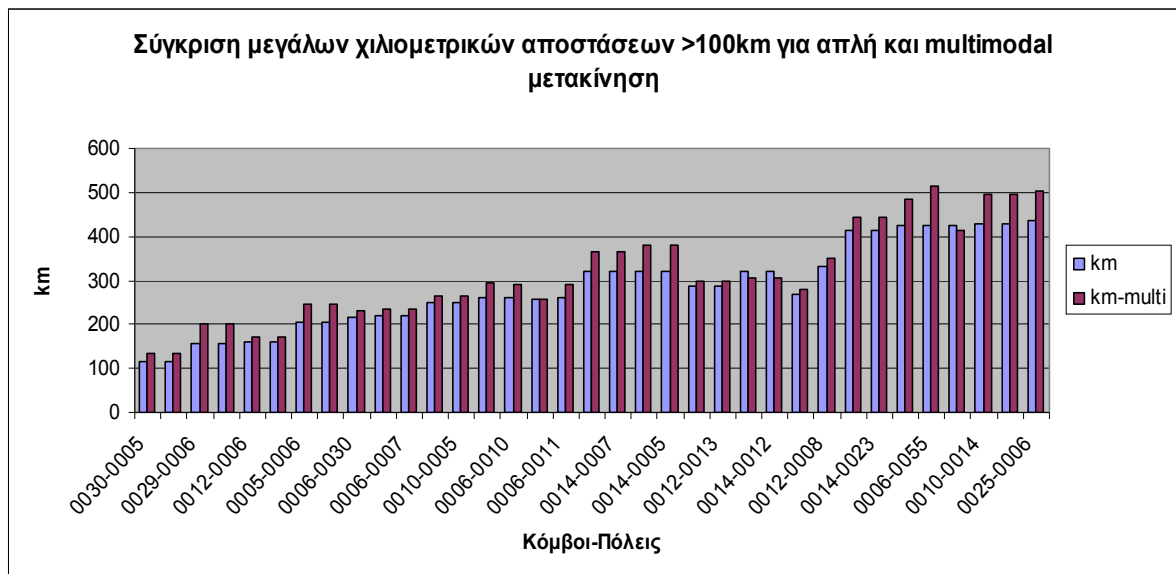
**Σχήμα 3.16 :** Χιλιομετρικές αποστάσεις στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας, για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση

Στη Στερεά Ελλάδα η μοναδική διαδρομή που παρουσιάζει ενδιαφέρον και διαφοροποίηση ως προς τον τρόπο μετακίνησης, είναι η διαδρομή από την Αθήνα στη Λαμία, όπου και πάλι ενώ η εκπομπή CO<sub>2</sub> είναι αισθητά μειωμένη, απαιτείται να διανυθεί αρκετά μεγαλύτερη απόσταση όπως φαίνεται στα σχήματα 3.15 και 3.16.





Σχήμα 3.17 : Εκπομπές CO<sub>2</sub> για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση σε αποστάσεις άνω των 100km

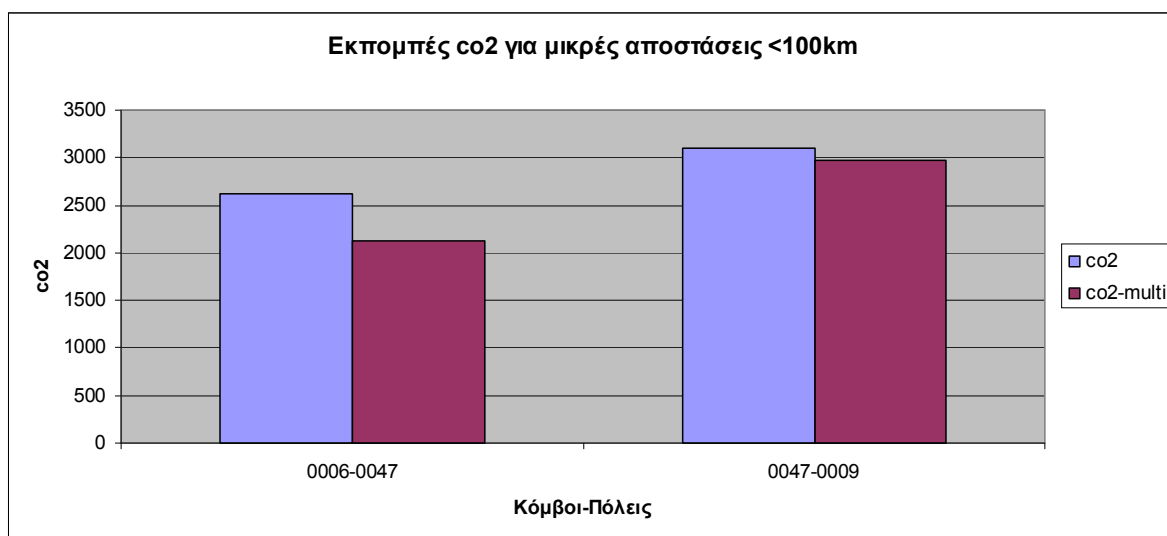


Σχήμα 3.18: Χιλιμετρικές αποστάσεις για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση σε αποστάσεις άνω των 100km

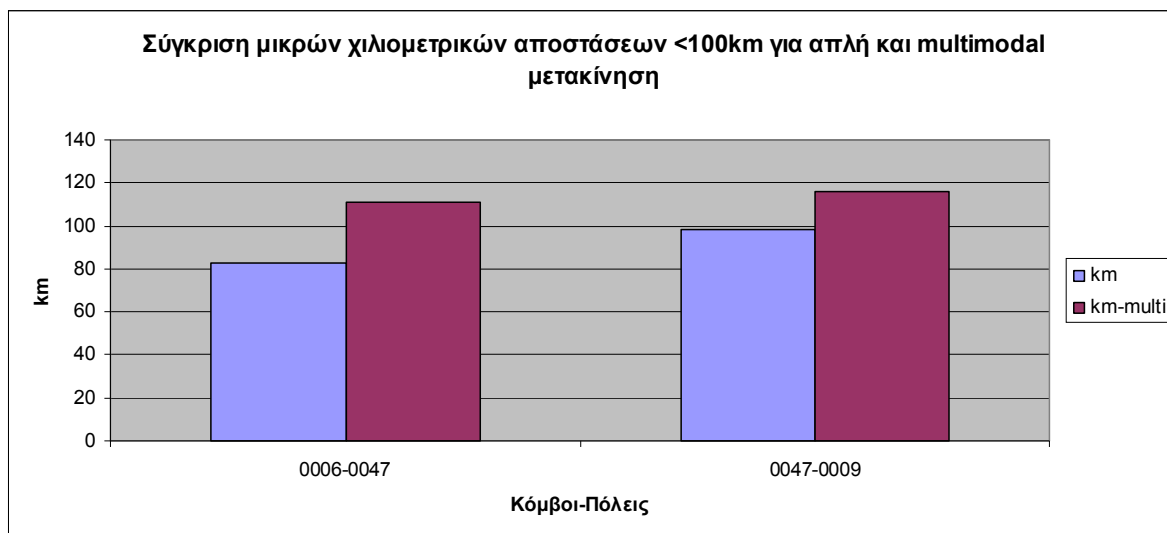
Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από τα παραπάνω διαγράμματα (3.17, 3.18), σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 100km, είναι πολύ μεγάλος ο αριθμός των διαδρομών που με συνδυασμένη μετακίνηση εμφανίζουν χαμηλότερες εκπομπές CO<sub>2</sub>, απ' ό,τι θα εμφάνιζαν με μετακίνηση μόνο με λεωφορείο. Το μειονέκτημα στη συνδυασμένη μετακίνηση είναι ότι



απαιτείται να διανύσουμε περισσότερα km για να φτάσουμε στον προορισμό μας.



**Σχήμα 3.19** : Εκπομπές CO2 για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση σε αποστάσεις κάτω των 100km



**Σχήμα 3.20** : Χιλιομετρικές αποστάσεις για απλή και συνδυασμένη μετακίνηση σε αποστάσεις κάτω των 100km

Στα διαγράμματα 3.19 και 3.20, παρατηρούμε το κέρδος και πάλι σε εκπομπή CO2 από το συνδυασμό τραίνων και λεωφορείων κατά τη μετακίνηση μας σε αποστάσεις μικρότερες των 100km, αλλά για αισθητά λιγότερα δρομολόγια.

## 4 Συμπεράσματα

Το δείγμα του ερωτηματολογίου μας αποτελούνταν κυρίως από άτομα ηλικίας 25 έως 45 ετών, γιατί θεωρήσαμε ότι αυτή η ηλικιακή ομάδα χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο τα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς. Αναλύοντας τα γραφήματα των απαντήσεων των ερωτηθέντων που συμμετείχαν στην έρευνα με βάση το ερωτηματολόγιο, καταλήγει κανείς σε ορισμένες σημαντικές διαπιστώσεις. Σε ό,τι αφορά την οικολογική συνείδηση των ερωτηθέντων, παρατηρούμε ότι έχουν γνώση των αρνητικών επιπτώσεων που ενδέχεται να έχουν οι μεμονωμένες μετακινήσεις. Ως εκ τούτου ένα σημαντικό ποσοστό έχει τη διάθεση να ταξιδέψει συνδυάζοντας πολλά μεταφορικά μέσα. Δεν μπορούμε, όμως, να παραβλέψουμε ότι δεν λίγοι και εκείνοι οι οποίοι δεν προτίθενται να κάνουν το ταξίδι τους πιο οικολογικό.

Μία ακόμη αξιοσημείωτη διαπίστωση της έρευνας είναι ότι οι ερωτηθέντες, ενώ έχουν την πρόθεση να ταξιδέψουν πιο οικολογικά, εντούτοις δεν είναι διατεθειμένοι να δαπανήσουν πολύ παραπάνω χρόνο τόσο για μετεπιβιβάσεις όσο και για τη συνολική διάρκεια του ταξιδιού. Εάν τώρα συνυπολογίσουμε και το γεγονός ότι η πλειοψηφία δεν θέλει να ξοδέψει πολλά παραπάνω χρήματα για τη χρήση πολλαπλών μέσων μεταφοράς, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ποιότητα των μετακινήσεων πρέπει να βρίσκεται σε αρκετά υψηλό επίπεδο.

Παράλληλα, η μελέτη των γραφημάτων που προκύπτουν από την έρευνα μας δείχνει ότι οι περισσότεροι ερωτηθέντες δύνανται να ταξιδέψουν με συνδυασμό πολλών μέσων μεταφοράς, μόνο για μεσαίες ή μεγάλες αποστάσεις και κυρίως για επαγγελματικούς λόγους και τουρισμό. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι για μετακινήσεις μικρών αποστάσεων, η χρήση συνδυαστικής μεταφοράς δεν μπορεί από μόνη της να κάνει το ταξίδι πιο οικολογικό, αφού δεν προτιμάται από το επιβατικό κοινό. Αποτελεί επιτακτική ανάγκη, λοιπόν, να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο αστικό αλλά και οδικό δίκτυο που να επιτρέπει την πραγματοποίηση ενός οικολογικού ταξιδιού, και κατ' επέκταση να εκπληρώνει τις προσδοκίες των επιβατών.

Εξετάζοντας αναλυτικά τα παραπάνω, διαπιστώνει κανείς ότι η κατασκευή ενός δικτύου multimodal μεταφορών που θα εξασφαλίζει στον ταξιδιώτη αξιόπιστες και οικολογικές μετακινήσεις, αποτελεί μια αναγκαιότητα. Άλλωστε, όπως αποδείχτηκε από την ανάλυση

των αποτελεσμάτων, ύστερα από την εκτέλεση του προγραμματιστικού κώδικα που χρησιμοποιήσαμε, οι συνδυαστικές μεταφορές σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις ευνοούν τις οικολογικές μετακινήσεις με αισθητά μειωμένη εκπομπή CO<sub>2</sub> με μόνο μειονέκτημα τις μεγαλύτερες χιλιομετρικές αποστάσεις.

Επιπλέον, δεν υπάρχει κάποιο ολοκληρωμένο δίκτυο για τον ελλαδικό χώρο, όπως αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την σημαντικότητα του δικτύου που δημιουργήσαμε, όσον αφορά τουλάχιστον την καταγραφή των δρομολογίων για τα τραίνα και τα υπεραστικά λεωφορεία. Με την κατασκευή ενός τέτοιου δικτύου και με την ανάλογη αξιοποίηση του μέσω μίας κατάλληλης εφαρμογής, όπως αυτών που περιγράψαμε, ο ταξιδιώτης μπορεί να έχει για πρώτη φορά στα χέρια του ένα μέσο για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς (τραίνο, λεωφορείο) στην Ελλάδα. Θα μπορεί να συνδυάζει με τον καλύτερο τρόπο αυτά τα δύο μέσα μεταφοράς, να ενημερώνετε για τα δρομολόγια που τον εξυπηρετούν, ακόμα και να παίρνει πληροφορίες και για την εκπομπή CO<sub>2</sub> της διαδρομής προτίμησης του. Έτσι ο ενδιαφερόμενος μπορεί να έχει καλύτερη ποιότητα στις μετακινήσεις του, με έμμεσο αποτέλεσμα την μείωση της εκπομπής των ρύπων, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και γενικότερα την αποφυγή όλων των αρνητικών επιπτώσεων από τη μη χρήση των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς.

#### **4.1 Προοπτικές**

Οδηγούμενοι από τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε, έχουμε κάποιες προτάσεις για μελλοντική δουλειά που θα μπορούσε να στηριχτεί στο δικό μας δίκτυο και να το βελτιώσει. Παρόλο, που έχει γίνει μία ικανοποιητική καταγραφή δρομολογίων, σίγουρα υπάρχουν αρκετά περιθώρια προσθήκης αλλά και ενημέρωσης των ήδη υπαρχόντων. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν σκεφθεί κανείς ότι τα δρομολόγια μπορούν να αλλάζουν από μέρα σε μέρα αλλά και από εποχή σε εποχή. Επιπλέον, είναι πολύ πιθανό να εμπλουτίζονται οι διάφοροι νομοί με νέα δρομολόγια ανάλογα με τη ζήτηση που υπάρχει.

Επίσης, δεν θα μπορούσαμε να μην αναφέρουμε την αναγκαιότητα εμπλουτισμού του δικτύου μας, με επιπλέον μέσα μεταφοράς. Η καταγραφή δρομολογίων από θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές, η προσθήκη τους στο ήδη υπάρχον δίκτυο και αξιοποίηση τους με την κατάλληλη εφαρμογή, πραγματικά θα αποτελούσε μια επανάσταση για τον συνδυασμό των μεταφορών στον ελληνικό χώρο.

Θα θέλαμε να επισημάνουμε στο σημείο αυτό την αναγκαιότητα της δημιουργίας κατάλληλων επενδύσεων στο τομέα των μεταφορών, ώστε αυτές να γίνουν πιο ελκυστικές στον ταξιδιώτη. Υπάρχουν διάφορες πολιτικές πρωτοδοτήσης, οι οποίες προωθούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη νέα ευρωπαϊκή πολιτική για τις υποδομές, τριπλασιάζεται η χρηματοδότηση στον τομέα των μεταφορών στα 26 δισεκατομμύρια ευρώ για την περίοδο 2014–2020. Ταυτόχρονα, η νέα αυτή πολιτική εστιάζει τη χρηματοδότηση σε ένα επακριβώς καθορισμένο νέο κεντρικό δίκτυο. Το δίκτυο αυτό θα αποτελεί τον κύριο κορμό των μεταφορών στην ενιαία ευρωπαϊκή αγορά. Επίσης, αρκετές δράσεις έχουν υιοθετηθεί από την ΕΕ για την ενίσχυση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των μεταφορών, με την Πράσινη Βίβλο (2007) «Προς μια νέα νοοτροπία για την αστική κινητικότητα», με απώτερο στόχο τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου (greenhouse gas emissions) από τις μεταφορές κατά 60% το 2050 σε σχέση με το 1990.

Σε εθνικό επίπεδο, λοιπόν, με βάση τη χρηματοδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση, μπορούν να μούνε γερές βάσεις για την επέκταση ενός multimodal δικτύου, για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> και όχι μόνο. Για παράδειγμα, στο πλαίσιο του σχεδιασμού για ανάπτυξη της διασύνδεσης μεταξύ των οδικών, σιδηροδρομικών και θαλασσιών μεταφορικών δικτύων και για την ανάπτυξη διατροπικών κόμβων, μπορούν να προωθηθούν δράσεις που θα συμβάλλουν σε προτεραιότητες όπως είναι η ανάπτυξη / ολοκλήρωση εμπορευματικών κέντρων και σύνδεσή τους με το σιδηροδρομικό δίκτυο, αλλά και οι Βιομηχανικές συνδέσεις και συνδέσεις του σ/δ δικτύου με λιμένες .

Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο και συνάμα τη μελέτη μας μπορούμε να πούμε πώς μόνο αν οι μεταφορές βελτιώσουν την ποιότητα τους, θα μπορέσουν να προσελκύσουν τον ενδιαφερόμενο, με αποτέλεσμα βέβαια την δημιουργία ενός ασφαλούς αλλά και περισσότερο φιλικού προς το περιβάλλον ταξιδιού. Η ανάπτυξη οικολογικής συνείδησης είναι ευθύνη και καθήκον όλων μας.

## 5 Βιβλιογραφία

1. Ε. Σαμπράκος (2009) : “ Ο Τομέας των Μεταφορών και οι Συνδυασμένες Εμπορευματικές Μεταφορές”. Εκδόσεις Σταμούλη
2. Ε. Σαμπράκος (2013): “Εισαγωγή στην Οικονομική των Μεταφορών”, Εκδ.Σταμούλη
3. Ε. Σαμπράκος (2005) : “ Σημειώσεις Συνδυασμένων Μεταφορών” Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:  
<http://digilib.lib.unipi.gr/dspace/bitstream/unipi/2983/1/Σαμπράκος,%20Ευάγγελος%20-%20Σημειώσεις%20συνδυασμένων%20μεταφορών.pdf> (last access 29/01/15)
4. Ρ. Θεοδοροπούλου και Μ. Κασώλης (2014): “ Μεταφορές και Logistics” Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:  
<http://www.gsrt.gr/Financing/Files/ProPeFiles76/Κείμεν%20Βάσης.pdf> (last access 25/01/15)
5. Σ. Πολύζος και Σ. Νιάβης : “ Οι Προοπτικές Συνδυασμού των Σιδηροδρομικών και Θαλάσσιων Μεταφορών στην Ελλάδα” Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:  
<http://www.prd.uth.gr/uploads/publications/2008/7c105d4b5d80563cf6c76b2c15f11ce19daada25.pdf> (last access 25/01/15)
6. Kanafani, A., Wang, R. 2010. *Measuring Multimodal Transport Level of Service*. *IRBM*, 29(6), 1-25.
7. Μ.Σαρηγιάννης (2007): “ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ” Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:  
<file:///C:/Documents%20and%20Settings/Admin/My%20Documents/Downloads/PERIBALLONTIKA%20PROBLHMATA.pdf> (last access 23/01/15)
8. Ν. Ανδρίτσος : *Ενέργεια και Περιβάλλον*” Διαθέσιμο στο δικτυακό τόπο:  
[http://users.auth.gr/karapant/tdk/Teaching/BOOK\\_1.pdf](http://users.auth.gr/karapant/tdk/Teaching/BOOK_1.pdf) (last access 25/02/15)
9. Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269-271.
10. Floyd, R. W. (1962, June). Algorithm 97: Shortest path. *Commun. ACM*, 5(6), 345--
11. Warshall, S. (1962, January). A Theorem on Boolean Matrices. *J. ACM*, 9(1), 11—12
12. Bellman, R. (1958). On a Routing Problem. *Quart. Appl. Math.* 16, 87-90.
13. ΕΕΣΥΜ, (2007), ‘ Συνδυασμένες μεταφορές και εφοδιαστική εμπορευμάτων’ 25.
14. ΕΣΥΕ,(2007), ‘Μεταφορικό έργο του Οργανισμού Σιδηροδρόμων Ελλάδος:2002-2006’

15. [Kress Gunther, R. & Van Leeuwen, T. \( 2001\), Multimodal discourse: the modes and media of contemporary communication, London : Hodder Arnold Publication](#)
16. Norris Sigrid, (2004), [Analyzing multimodal interaction: a methodological framework , New York : Routledge Publication](#)
17. Scollon , R. & LeVine, P. (2004), Washington [Discourse and technology: multimodal discourse analysis, Georgetown University Press](#)
18. [Zografos, K., Androutopoulos, K. 2007. Algorithms for Itinerary Planning in Multimodal Transportation Networks. pp.1-10.](#)
19. [LI, Q., Kurt, C. 2013. GIS-Based Itinerary Planning System for Multimodal and Fixed-Route Transit Network. pp. 47-50.](#)
20. Yu, H., Lu, F. 2010. A Multi- Modal Route Planning Approach with an Improved Genetic Algorithm . pp. 343-348.
21. I. Μαρινάκης, Μ. Μαρινάκη, Ν. Ματσατσίνης και Κ. Ζοπουνίδης (2011) “Μεθευρετικοί και Εξελικτικοί Αλγόριθμοι σε Προβλήματα Διοικητικής Επιστήμης”, Εκδ. Κλειδάριθμος.
22. Μπότσικας, Χ.. 2011. “ Μελέτη και Εφαρμογή Αλγορίθμου Δυναμικής Δρομολόγησης με Πολλαπλά Μέσα Μεταφοράς ”, Πτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, σελ. 29-35.
23. Παπαδοπούλου Χρ.. 2011. “ Επεξεργασία και Αναπαράσταση Βέλτιστων Διαδρομών σε Οδικά Δίκτυα ”, Πτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, Αθήνα, σελ 18-35.
24. Wikipedia: <http://el.wikipedia.org/wiki/ΤΡΑΙΝΟΣΕ> (last access 20/02/15)
25. Γ. ΚΙΟΥΣΗΣ. «Χαρτογράφηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση» ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ, 2004
26. Ν. Χαϊνης, «Η ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα και οι επιπτώσεις στην υγεία», Ιούνιος 2007
27. Στεφανάκης Εμμανουήλ (2003), Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
28. Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Graph\\_\(mathematics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_(mathematics))
29. Aldous M. Joan, Wilson J. Robin (2000), Graphs and Applications: An Introductory Approach, Springer Publications, London.
30. Ιστοσελίδα Μαθήματος: Αλγόριθμοι και Πολυπλοκότητα, Ακαδημαϊκό Έτος 2010-2011, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ Ε.Μ.Π.: <http://www.corelab.ntua.gr/courses/algorithms/slides/NewGraphs2.pdf>

31. Shekhar Shashi, Chawla Sanjay (2003), Spatial Databases: A Tour, Pearson Education Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458.
32. A.K. Ziliaskopoulos (2000) and Wardell, W.W. “A Intermodal Optimum Path Algorithm for Dynamic Multimodal Networks,” European Journal of Operational Research , 125, pp.486-502.
33. Παρασκευόπουλος, Ι.Ν. (1993). Μεθοδολογία επιστημονικής έρευνας (τομ. 1 & 2).Αθήνα: Ιδίου.

## 6 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Ερωτηματολόγιο

**Ερωτηματολόγιο για Μεταφορές πολλαπλών μέσων και χαμηλών εκπομπών CO<sub>2</sub>**

\* Απαιτείται

1. Ποια είναι η ηλικία σας \*

15-25

25-45

45+

2. Χρησιμοποιείτε τακτικά, μέσα μαζικής μεταφοράς? \*

Ναι

Όχι

3. Ποια μέσα μεταφοράς χρησιμοποιείτε τακτικά? \*

Τραίνο

ΚΤΕΛ

Αστικό λεωφορείο

Μετρό

Κανένα

4. Έχετε αυτοκίνητο? \*

Ναι

Όχι

5. Είστε πρόθυμοι να χρησιμοποιήσετε πολλαπλά μεταφορικά μέσα για τις μετακινήσεις σας προκειμένου το ταξίδι σας να είναι περισσότερο οικολογικό? \*

Ναι

Όχι



## Ερωτηματολόγιο για Μεταφορές πολλαπλών μέσων και χαμηλών εκπομπών CO<sub>2</sub>

\* Απαιτείται

6. Ποιος ο μεγαλύτερος χρόνος καθυστέρησης που είστε πρόθυμοι να ανεχθείτε για την μετεπιβίβασή σας από ένα μεταφορικό μέσο σε ένα άλλο, έτσι ώστε η μετακίνησή σας να είναι περισσότερο οικολογική με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων? \*

- 0-15 λεπτά
- 15-30 λεπτά
- 30-60 λεπτά
- 60-120 λεπτά
- >120 λεπτά

7. Ποιο είναι το ποσό των χρημάτων για το οποίο είστε πρόθυμοι να διαθέσετε επιπλέον (η και λιγότερο) σε σχέση με τον παραδοσιακό τρόπο μετακίνησης έτσι ώστε η μετακίνησή σας να είναι περισσότερο οικολογική με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων? \*

- 0 - 10% περισσότερο
- 10 - 30% περισσότερο
- >30 % περισσότερο
- καμία επιβάρυνση
- 0-10% λιγότερο
- 10-30% λιγότερο
- >30% λιγότερο

8. Ποιός είναι ο πρόσθετος χρόνος ταξιδιού, σε σχέση με τον αρχικό χρόνο, που είστε πρόθυμοι να ανεχθείτε έτσι ώστε το ταξίδι σας να είναι περισσότερο οικολογικό με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων? \*


- 0%-10% περισσότερο
- 10%-30% περισσότερο
- >30% περισσότερο
- Καθόλου πρόσθετος χρόνος

9. Για ποιο τύπο μετακίνησης είστε πρόθυμοι να ταξιδέψετε με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων έτσι ώστε το ταξίδι σας να είναι περισσότερο οικολογικό? \*

- Εργασία
- Κοινωνικές εκδηλώσεις
- Εκπαίδευση
- Αγορές
- Τουρισμός
- Προσωπικοί λόγοι
- Εργασιακά ταξίδια
- Άλλο

10. Για ποιο χιλιομετρικό μέγεθος μετακίνησης είστε πρόθυμοι να ταξιδέψετε με συνδυασμό πολλών μεταφορικών μέσων, έτσι ώστε το ταξίδι σας να είναι περισσότερο οικολογικό? \*

- Μικρά (έως 10 χιλιόμετρα)
- Μεσαία (μεταξύ 10 και 60 χιλιομέτρων)
- Μεγάλα (πάνω από 60 χιλιόμετρα)

Με την υποστήριξη της  
 Google Forms

Αυτή η φόρμα δημιουργήθηκε μέσα στον τομέα TRAINOSE S.A. .  
Αναφορά κακής χρήσης - Όροι Παροχής Υπηρεσιών - Πρόσθετοι όροι

## Κώδικας

```
using System;  
using System.Collections.Generic;  
using System.Linq;  
using System.Text;
```

```
namespace Program  
{  
    public class Node  
    {  
        private string _name;  
  
        /// <summary>  
        /// </summary>  
        public Node(string name)  
        {  
            this._name = name;  
        }  
  
        /// <summary>  
        /// </summary>  
        public string Name
```

```

    {
        get { return this._name; }
        set { this._name = value; }
    }
}
}

=====
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;

namespace Program
{
    class Edge
    {
        private Node _origin;
        private Node _destination;
        private double _distance;

        /// <summary>
        public Edge(Node origin, Node destination, double distance)
        {
            this._origin = origin;
            this._destination = destination;
            this._distance = distance;
        }

        public Node Origin
        {
            get { return _origin; }
            set { _origin = value; }
        }

        public Node Destination
        {
            get { return _destination; }
            set { _destination = value; }
        }

        public double Distance
        {
            get { return _distance; }
            set { _distance = value; }
        }
    }
}

=====
using System;
using System.Collections.Generic;

```

```

using System.Linq;
using System.Text;

namespace Program
{
    class Dijkstra
    {
        private List<Node> _nodes;
        private List<Edge> _edges;
        private List<Node> _basis;
        private Dictionary<string, double> _dist;
        private Dictionary<string, Node> _previous;

        public Dijkstra(List<Edge> edges, List<Node> nodes)
        {

            Edges = edges;
            Nodes = nodes;
            Basis = new List<Node>();
            Dist = new Dictionary<string, double>();
            Previous = new Dictionary<string, Node>();

            foreach (Node n in Nodes)
            {
                Previous.Add(n.Name, null);
                Basis.Add(n);
                Dist.Add(n.Name, double.MaxValue);
            }
        }

        public void calculateDistance(Node start)
        {
            Dist[start.Name] = 0;

            while (Basis.Count > 0)
            {
                Node u = getNodeWithSmallestDistance();
                if (u == null)
                {
                    Basis.Clear();
                }
                else
                {
                    foreach (Node v in getNeighbors(u))
                    {
                        double alt = Dist[u.Name] +
                            getDistanceBetween(u, v);
                        if (alt < Dist[v.Name])
                        {
                            Dist[v.Name] = alt;
                            Previous[v.Name] = u;
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        }
    }
    Basis.Remove(u);
}
}
}

public List<Node> getPathTo(Node d)
{
    List<Node> path = new List<Node>();

    path.Insert(0, d);

    while (Previous[d.Name] != null)
    {
        d = Previous[d.Name];
        path.Insert(0, d);
    }

    return path;
}

public Node getNodeWithSmallestDistance()
{
    double distance = double.MaxValue;
    Node smallest = null;

    foreach (Node n in Basis)
    {
        if (Dist[n.Name] < distance)
        {
            distance = Dist[n.Name];
            smallest = n;
        }
    }

    return smallest;
}

public List<Node> getNeighbors(Node n)
{
    List<Node> neighbors = new List<Node>();

    foreach (Edge e in Edges)
    {
        if (e.Origin.Equals(n) && Basis.Contains(n))
        {
            neighbors.Add(e.Destination);
        }
    }

    return neighbors;
}

```

```

    }

    public double getDistanceBetween(Node o, Node d)
    {
        foreach (Edge e in Edges)
        {
            if (e.Origin.Equals(o) && e.Destination.Equals(d))
            {
                return e.Distance;
            }
        }

        return 0;
    }

    public List<Node> Nodes
    {
        get { return _nodes; }
        set { _nodes = value; }
    }

    public List<Edge> Edges
    {
        get { return _edges; }
        set { _edges = value; }
    }

    public List<Node> Basis
    {
        get { return _basis; }
        set { _basis = value; }
    }

    public Dictionary<string, double> Dist
    {
        get { return _dist; }
        set { _dist = value; }
    }

    public Dictionary<string, Node> Previous
    {
        get { return _previous; }
        set { _previous = value; }
    }
}
}

```