



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ
ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ
ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΣΤΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΤΟ ΔΙΑΣΤΗΜΑ 1990-2005

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

Ναυσικάς Παϊσιου

Επιβλέπουσα : Διακουλάκη Δανάη
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2011

Περιεχόμενα

Κατάλογος Σχημάτων και Διαγραμμάτων	05
Κατάλογος Πινάκων	08
Εισαγωγή.....	10
Περίληψη	12
Κεφάλαιο 1: Κλιματική Αλλαγή & CO₂	14
1.1 Εισαγωγή	14
1.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	17
1.3 Το πρωτόκολλο του Κιότο	21
1.4 Πολιτικές του Σήμερα. Πακέτο 20-20-20.....	23
Κεφάλαιο 2: Συστήματα Ενέργειας, Μεταφορές και Εκπομπές CO₂	25
2.1 Εισαγωγή	25
2.2 Ενεργειακή κατανάλωση.....	26
2.3 Μεταφορικό έργο	29
2.3.1 Εξέλιξη.....	29
2.3.2 Χρήση μέσων μεταφοράς.....	30
2.3.3 Υποδομές οδικών μεταφορών	31
2.3.4 Επιπτώσεις στο περιβάλλον -Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.....	35
Κεφάλαιο 3: Ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων.....	38
3.1 Εισαγωγή	38
3.2 Μέθοδοι και τεχνικές	40
3.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση	42
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογική προσέγγιση	44
4.1 Εισαγωγή	44
4.2 Χρησιμοποιούμενη μέθοδος.....	45
4.3 Στόλος οχημάτων	51
4.4 Εκπομπές CO ₂ από τις οδικές μεταφορές	52
4.5 Δεδομένα εισόδου - Πηγές.....	56
4.6 Επιβεβαίωση τεχνικής – Απόκλιση αποτελεσμάτων	58

Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα	60
5.1 Επιβατικά οχήματα (Private cars)	60
5.1.1 Γενικά στοιχεία	60
5.1.2 Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων (<i>decomposition analysis</i>)	66
5.2 Ελαφρά φορτηγά (Light duty trucks)	71
5.2.1 Γενικά στοιχεία	71
5.2.2 Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων (<i>decomposition analysis</i>)	75
5.3 Βαρέα φορτηγά (Heavy duty trucks).....	78
5.3.1 Γενικά στοιχεία	78
5.3.2 Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων (<i>decomposition analysis</i>)	82
5.4 Δίκυκλα οχήματα (Mopeds and Motorcycles)	87
5.4.1 Γενικά στοιχεία	87
5.4.2 Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων (<i>decomposition analysis</i>)	89
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	93
Βιβλιογραφία	96
Ελληνική.....	96
Διεθνή.....	97
Ιστοσελίδες.....	99

Κατάλογος Σχημάτων και Διαγραμμάτων

Σχήμα 1.1. Σχήμα 1.1: α) Ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας που εκτιμήθηκε σε παγκόσμια κλίμακα και στην Ευρώπη την χρονική περίοδο 1850-2007 καθώς η β) αντίστοιχη μέση ετήσια μεταβολή που παρατηρήθηκε στην Ευρώπη την χρονική περίοδο 1976-2006	15
Σχήμα 1.2. Διαδικασία δημιουργίας φαινομένου του θερμοκηπίου	17
Σχήμα 1.3. Ποσοστιαία επίπτωση των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την πάροδο του χρόνου (CH_4 = μεθάνιο; N_2O = Υποξείδιο του αζώτου; CO_2 = διοξείδιο του άνθρακα; CFCs = υδροφθοράνθρακες)	20
Σχήμα 2.1: Εξέλιξη μεταφορικού έργου στην ΕΕ-27 για την περίοδο 1995-2007.....	30
Σχήμα 2.2: Εξέλιξη μεταφορικού έργου στην Ελλάδα ανά μέσο μεταφοράς (1980-96)	31
Σχήμα 2.3: Μήκος οδικού δικτύου ανά χώρα για το έτος 2006 (σε χιλιάδες km).....	32
Σχήμα 2.4. Ποσοστό κάλυψης του οδικού δικτύου από αυτοκινητόδρομους διαφόρων χωρών για το έτος 2006 (σε χιλιάδες km)	33
Σχήμα 2.5. Πυκνότητα του οδικού δικτύου ανά χώρα για το έτος 2006 (σε km/km^2)	34
Σχήμα 2.6 Εκπομπές CO_2 (εκατ. τόνοι;%) α) ανά τομέα και β) μέσο μεταφοράς στην ΕΕ-27 το έτος 2005.....	36
Διάγραμμα 1.1. Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το 2000, κατά προέλευση.....	18
Διάγραμμα 4.1. Εκπομπές ανά τομέα στην Ελλάδα	53
Διάγραμμα 4.2. Διαχρονική εξέλιξη της κατανάλωσης υγρών καυσίμων (Ντίζελ και βενζίνης σε χιλιάδες τόνους) για μεταφορές στην Ελλάδα, 1963-2007.	55
Διάγραμμα 5.1. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή στόλου βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων ανά υποδύναμη μηχανής για την χρονική περίοδο 1990-2005	63

Διάγραμμα 5.2. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων μεσαίας ιπποδύναμης (1.4-1.6 l) για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	64
Διάγραμμα 5.3. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή στόλου ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων ανά ιπποδύναμη μηχανής για την χρονική περίοδο 1990-2005	66
Διάγραμμα 5.4. Επίδραση του πληθυσμού (DP), των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV), της απόστασης της ετήσιας διανυόμενης διαδρομής (Δd), του κυβισμού της μηχανής (ΔS), της τεχνολογίας (ΔT) και της έντασης του καυσίμου (ΔF) στην μεταβολή των εκπομπών CO ₂ από τα βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα επιβατικά οχήματα.	67
Διάγραμμα 5.5. Μεταβολή ετήσιας διανυόμενης απόστασης από επιβατικά οχήματα για την χρονική περίοδο 1999-2007 (Odyssee, 2007).....	70
Διάγραμμα 5.6. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή βενζινοκίνητων ελαφρών φορτηγών για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	73
Διάγραμμα 5.7. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	74
Διάγραμμα 5.8. Επίδραση του πληθυσμού (DP), των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV), της τεχνολογίας (ΔT) και της έντασης του καυσίμου (ΔF) στην μεταβολή των εκπομπών CO ₂ από ελαφρά φορτηγά	75
Διάγραμμα 5.9. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή του στόλου των ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών ανά χωρητικότητα μικτού ωφέλιμου βάρους, για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	80
Διάγραμμα 5.10. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών μικρού ωφέλιμου μικτού βάρους (3.5-7 t) για την χρονική περίοδο 1990-2005	82
Διάγραμμα 5.11. Επίδραση του πληθυσμού (DP), των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV), του κυβισμού της μηχανής (ΔS), της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων (ΔT) και της έντασης του καυσίμου (ΔF) στην μεταβολή των εκπομπών CO ₂ από βαρέα φορτηγά.....	83

Διάγραμμα 5.12. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή του στόλου των βενζινοκίνητων βαρέων φορτηγών ανά χωρητικότητα μικτού ωφέλιμου βάρους, για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	87
Διάγραμμα 5.13. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή βενζινοκίνητων μοτοσικλετών μικρού κυβισμού (50-250 cc) για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	88
Διάγραμμα 5.14. Επίδραση του πληθυσμού (DP), των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV), του κυβισμού της μηχανής (ΔS), της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων (ΔT) και της έντασης του καυσίμου (ΔF) στην μεταβολή των εκπομπών CO ₂ από ελαφρά φορτηγά.	89
Διάγραμμα 6.1. Μεταβολή εκπομπών CO ₂ από τις οδικές μεταφορές ανά κατηγορία οχημάτων για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	94

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1. Αυξο-μειώσεις εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για διάφορες χώρες της Ε.Ε σύμφωνα με τις δεσμεύσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο.	21
Πίνακας 2.1. Κατανάλωση ενέργειας (σε εκ. τόνους ΠΙ) ανά τομέα στην Ελλάδα, την ΕΕ-15 και στην ΕΕ-27, το έτος 2005.	27
Πίνακας 2.2. Επιμέρους δομή οδικών δικτύων διαφόρων χωρών της Ε.Ε.....	33
Πίνακας 2.3. Μέση εκπομπή ρύπων (Tg/έτος) στους κλάδους των μεταφορών, 2000	35
Πίνακας 4.1. Στόλος κυκλοφορούντων οχημάτων του έτους 2007.....	51
Πίνακας 4.2. Προβλεπόμενες τάσεις στα μερίδια (%) κατανάλωσης ενέργειας στις οδικές μεταφορές στις χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης μέχρι το 2030.	54
Πίνακας 4.3. Κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο και ηλικία οχήματος.....	56
Πίνακας 5.1. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου ανά κατηγορία βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	61
Πίνακας 5.2. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου ανά κατηγορία ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	62
Πίνακας 5.3. Κατηγοριοποίηση βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων βάσει κοινοτικών προδιαγραφών εκπομπών ρύπων.....	65
Πίνακας 5.4. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων των ετήσιων μεταβολών εκπομπών CO ₂ από χρήση επιβατικών οχημάτων για την χρονική περίοδο 1990-2005	68
Πίνακας 5.5. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών (<3.5 t) για την χρονική περίοδο 1990-2005.....	72
Πίνακας 5.6. Κατηγοριοποίηση βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών βάσει κοινοτικών προδιαγραφών εκπομπών ρύπων	74
Πίνακας 5.7. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων των ετήσιων μεταβολών εκπομπών CO ₂ από χρήση ελαφρών φορτηγών για την χρονική περίοδο 1990-2005	77

Πίνακας 5.8. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών (>3.5 t) ανά κατηγορία ωφέλιμου μικτού βάρους για την χρονική περίοδο 1990-2005.	79
Πίνακας 5.9. Κατηγοριοποίηση βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών βάσει κοινοτικών προδιαγραφών εκπομπών ρύπων	81
Πίνακας 5.10. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων των ετήσιων μεταβολών εκπομπών CO ₂ από χρήση βαρέων φορτηγών (> 3.5 t) για την χρονική περίοδο 1990-2005	85
Πίνακας 5.11. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων των ετήσιων μεταβολών εκπομπών CO ₂ από χρήση δίκυκλων οχημάτων στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 1990-2005	91

Εισαγωγή

Οι μεταφορές αποτελούν έναν από τους πλέον σημαντικούς και συνεχώς αναπτυσσόμενους τομείς της οικονομίας, αλλά και ταυτόχρονα έναν τομέα από τους πλέον ενεργοβόρους και ρυπογόνους. Ως προς την παραγωγή αερίων θερμοκηπίου, οι μεταφορές ευθύνονται σε παγκόσμιο επίπεδο για περίπου το 30% των εκπομπών CO₂. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των τεσσάρων συμβατικών τύπων βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων οχημάτων ανά προσδιοριστικό παράγοντα ώστε να αξιολογηθεί το ποσοστό συνεισφοράς στις εκπομπές στις οδικές μεταφορές κατά τη χρονική περίοδο 1990-2005.

Τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα στην προσπάθεια ανάπτυξης σωστής πολιτικής και σχεδιασμού στον τομέα των οδικών επιβατικών και εμπορικών μεταφορών με στόχο την πλήρη συμμόρφωση της χώρας με τις διεθνείς περιβαλλοντικές της δεσμεύσεις.

Στο κεφάλαιο 1 (θεωρητικό μέρος) γίνεται αναφορά στις σημαντικές κλιματικές αλλαγές των τελευταίων χρόνων, στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τις εκπομπές αερίων και το πώς σχετίζονται με το φαινόμενο αυτό. Επίσης, παρουσιάζονται συνοπτικά το Πρωτόκολλο του Κιότο και οι Ευέλικτοι Μηχανισμοί που αυτό προβλέπει.

Στο κεφάλαιο 2 (θεωρητικό μέρος) παρουσιάζονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά της ενεργειακής κατανάλωσης δίνοντας έμφαση στην πορεία και τις τάσεις του μεταφορικού έργου σε συνάρτηση με οικονομικά, ενεργειακά και περιβαλλοντικά μεγέθη.

Στο κεφάλαιο 3 (θεωρητικό μέρος) γίνεται παρουσίαση των μεθόδων ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων, στην τεχνική τους καθώς και μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των μεθόδων αυτών.

Στο κεφάλαιο 4 (θεωρητικό) παρουσιάζεται ολοκληρωμένη η επιλεγείσα μέθοδος και το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία. Επίσης, αναφέρονται οι πηγές των δεδομένων και οι παραδοχές που απαιτούνται για την εφαρμογή της ανάλυσης.

Στο κεφάλαιο 5 (αποτελέσματα) παρουσιάζονται συγκριτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων, δηλαδή η κατανομή των εκπομπών CO₂

στους επιμέρους τύπους οχημάτων του κλάδου των μεταφορών και ανά προσδιοριστικό παράγοντα.

Η εργασία ολοκληρώνεται με το Κεφάλαιο 6 όπου παραθέτονται σχόλια και παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων που λήφθηκαν από την ολοκλήρωση της παραπάνω μελέτης.

Περίληψη

Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών και, ιδιαίτερα, στον κλάδο των οδικών μεταφορών, έχει οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στη σημαντική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από εκπεμπόμενους από τα οχήματα ρύπους καθώς ευθύνονται για το 73,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ στον τομέα των μεταφορών (και για το 13,8% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών CO₂).

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο ακριβής προσδιορισμός του μερίδιου ευθύνης του στόλου των οχημάτων ανά τύπο στο συνολικό ύψος εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα και ο εντοπισμός των παραγόντων εκείνων που συνέβαλαν θετικά ή αρνητικά στην κατεύθυνση περιορισμού τους βάση του Πρωτοκόλλου του Κυότο. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί κυρίως στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στη χρήση των επιβατικών οχημάτων καθώς αποτελούν το 80% του συνόλου των οχημάτων στην Ε.Ε..

Αρχικά ορίζονται οι τέσσερις επιμέρους συμβατικοί τύποι βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων οχημάτων που μελετώνται, δηλαδή: επιβατικά αυτοκίνητα, βαρέα και ελαφρά φορτηγά, και τα δίκυκλα οχήματα. Η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται στον εντοπισμό των προσδιοριστικών παραμέτρων μεταβολής των εκπομπών μέσω της χρήσεως ενός αλγεβρικού μοντέλου ανάλυσης παραγόντων (decomposition analysis) που χρησιμοποιείται ευρύτατα για την ερμηνεία πολυσύνθετων οικονομικών και τεχνολογικών μεταβολών. Οι παράγοντες που εξετάστηκαν στα πλαίσια αυτής της ανάλυσης ήταν ο πληθυσμός, η ιδιοκτησία οχημάτων, η ετήσια διανυόμενη απόσταση, το μίγμα καυσίμου, ο κυβισμός της μηχανής αλλά και το επίπεδο της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα που αφορούν κυρίως τις τάσεις των εκπομπών CO₂ στους επιμέρους τύπους οχημάτων του κλάδου των μεταφορών. Την σημαντικότερη συμβολή αλλά και τις μεγαλύτερες μετατοπίσεις που πραγματοποιήθηκαν στις εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές, κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο 1990-2005, παρουσίασε ο κλάδος των επιβατικών οχημάτων. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο κλάδος αυτός κυμάνθηκε σε ποσοστό 50-60 % του συνολικού ύψους των εκπομπών.

Πέραν των τάσεων αυτών, προκύπτει θετική επίδραση του αριθμού ιδιοκτησίας νέων οχημάτων, η αύξηση του πληθυσμού και η ετήσια διανυόμενη απόσταση, στην αύξηση των εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές. Αντίθετα δυσμενής ως προς την αύξηση των εκπομπών CO₂ ήταν οι επιδράσεις του

κυβισμού της μηχανής, της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων και της έντασης του καυσίμου. Οι επιδράσεις αυτές μεταβλήθηκαν σημαντικά από το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο και τις μεταβολές της ζήτησης/αγοράς του στόλου των οχημάτων.

Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν κατάλληλα μέσω της ανάδειξης των βασικών κατευθύνσεων πολιτικής στον τομέα των οδικών επιβατικών και εμπορικών μεταφορών με στόχο την πλήρη συμμόρφωση της χώρας με τις διεθνείς περιβαλλοντικές της δεσμεύσεις αλλά και με τον ευρύτερο στόχο της αειφόρου πράσινης βιώσιμης ανάπτυξης.

Κεφάλαιο 1

Κλιματική αλλαγή και CO₂

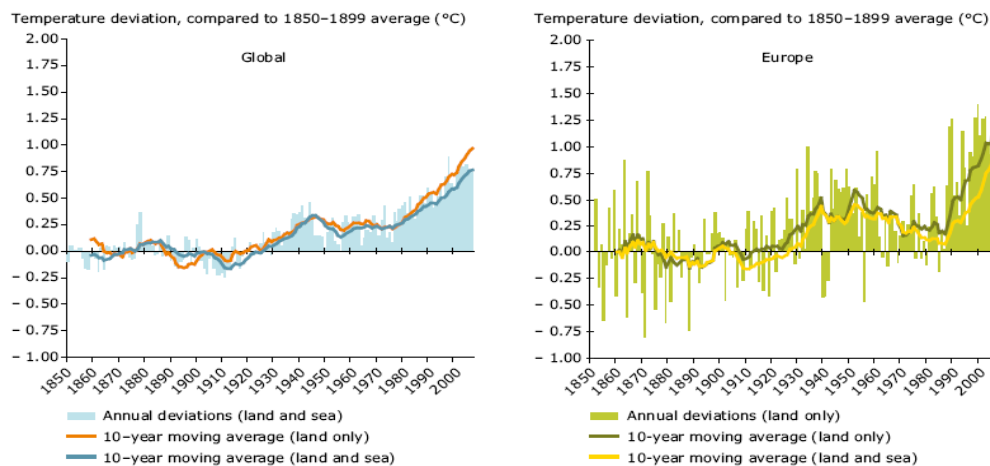
1.1. Εισαγωγή

Η αλλαγή του κλίματος είναι μια από τις μεγαλύτερες απειλές για το περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη είναι αδιαμφισβήτητη, σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Οι παρατηρήσεις δείχνουν αυξήσεις στις μέσες τιμές θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και των ωκεανών παγκοσμίως, ευρύτατη τήξη χιονιού και πάγου και αύξηση σε παγκόσμιο επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης. Είναι πολύ πιθανό, το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της θερμοκρασίας να μπορεί να αποδοθεί στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

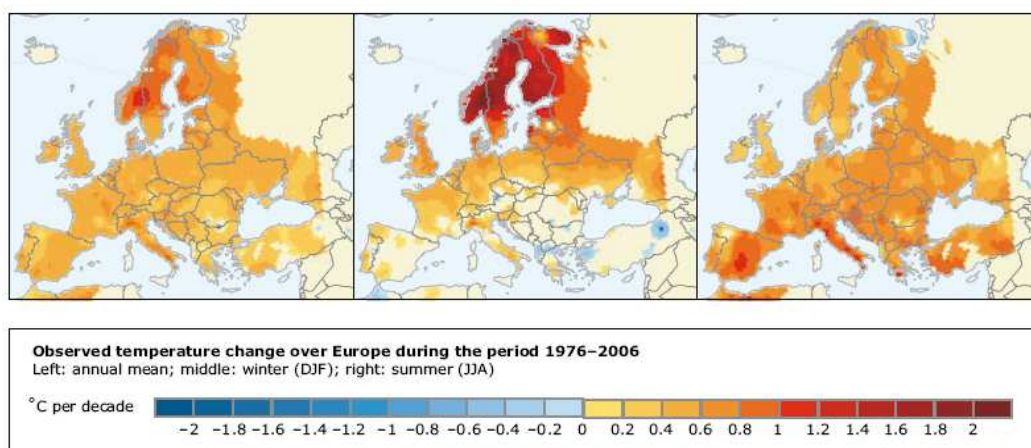
Κατά τα τελευταία 150 χρόνια, η μέση θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά σχεδόν 0,8 °C παγκοσμίως και κατά σχεδόν 1 °C στην Ευρώπη. Από τα τελευταία δώδεκα έτη (1995–2006), τα έντεκα κατατάσσονται στην πρώτη δωδεκάδα των θερμότερων ετών στο χρηστικό αρχείο της παγκόσμιας θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης (από το 1850). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), η οποία δημιουργήθηκε το 1988 από το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO), και αποτελεί την πλέον έγκυρη επιστημονικά ομάδα για θέματα κλίματος παγκοσμίως, προβλέπει ότι μέχρι το 2100 η μέση παγκόσμια θερμοκρασία είναι πολύ πιθανό να αυξηθεί περαιτέρω

κατά 1,8°C έως 4°C – και στη χειρότερη περίπτωση έως 6,4°C– εκτός αν οι άνθρωποι αναλάβουν δράση για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με την προ-βιομηχανική εποχή θα υπερβεί τους 2 °C. Πέρα από αυτό το όριο είναι πολύ πιο πιθανή η επέλευση μη αναστρέψιμων και πιθανότατα καταστροφικών αλλαγών. Στο σχήμα 1.1α,β παρουσιάζεται η ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας που εκτιμήθηκε παγκοσμίως και στην Ευρώπη την χρονική περίοδο 1850-2007 καθώς η αντίστοιχη μέση ετήσια μεταβολή που μετρήθηκε/παρατηρήθηκε στην Ευρώπη την χρονική περίοδο 1976-2006 (EEA, 2009).

α)



β)



Σχήμα 1.1: α) Ετήσια μεταβολή της θερμοκρασίας που εκτιμήθηκε σε παγκόσμια κλίμακα και στην Ευρώπη την χρονική περίοδο 1850-2007 καθώς η β)

αντίστοιχη μέση ετήσια μεταβολή που παρατηρήθηκε στην Ευρώπη την χρονική περίοδο 1976-2006(EEA, 2009).

Οι επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος παρατηρούνται ήδη και προβλέπεται ότι θα γίνουν ακόμη εντονότερες. Ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως καύσωνες, ξηρασίες και πλημμύρες αναμένεται να γίνουν πιο συχνά και πιο έντονα. Στην Ευρώπη, οι μεγαλύτερες αυξήσεις θερμοκρασίας παρατηρούνται στη νότια Ευρώπη και την περιφέρεια της Αρκτικής. Η βροχόπτωση μειώνεται στη νότια Ευρώπη και αυξάνεται στα βόρεια/βορειοδυτικά, με επιπτώσεις για τα φυσικά οικοσυστήματα, την ανθρώπινη υγεία και τους υδάτινους πόρους. Οι τομείς της οικονομίας, όπως η δασοκομία, η γεωργία, ο τουρισμός και οι οικοδομές θα υποστούν πολύ σοβαρές συνέπειες. Ο αγροτικός τομέας στη βόρεια Ευρώπη ενδεχομένως θα ωφεληθεί από μια περιορισμένη άνοδο της θερμοκρασίας (EEA, 2008).

Οι κύριες πηγές των παραγόμενων από τον άνθρωπο αερίων του θερμοκηπίου είναι:

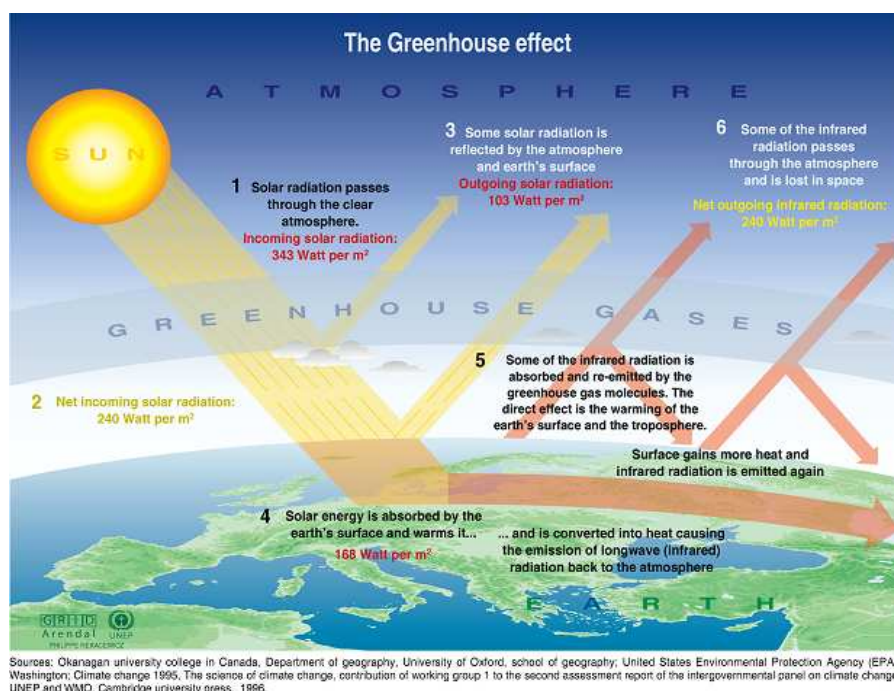
- η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι μεταφορές, η βιομηχανία και τα νοικοκυριά,
- η γεωργία και οι αλλαγές της χρήσης των γαιών, όπως η αποψίλωση των δασών,
- η εναπόθεση αποβλήτων σε χωματερές και
- η χρήση βιομηχανικών φθοριούχων αερίων.

Ακόμη και εάν οι πολιτικές και οι προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών έχουν αποτέλεσμα, η αλλαγή του κλίματος είναι εν μέρει αναπόφευκτη. Ως εκ τούτου, πρέπει να αναπτυχθούν στρατηγικές και δράσεις για την προσαρμογή στις επιπτώσεις της αλλαγής του κλίματος στην Ευρώπη και ιδίως πέρα από αυτή, καθώς οι λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες είναι και οι πλέον ευάλωτες, έχοντας τη μικρότερη οικονομική και τεχνική δυνατότητα να προσαρμοστούν (EEA, 2008).

1.2. Φαινόμενο θερμοκηπίου

Ο όρος «φαινόμενο του θερμοκηπίου» (Greenhouse Effect) αναφέρεται σε μία φυσική διαδικασία, απαραίτητη για να διατηρείται η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης στο επίπεδο των 15°C , ώστε να είναι δυνατή η ύπαρξη ζωής στον πλανήτη. Όμως τα τελευταία χρόνια το φαινόμενο εντείνεται πέρα από τα φυσιολογικά όρια και ο όρος απέκτησε αρνητική χροιά. Σήμερα κυρίως αφορά τη δημιουργία ενός στρώματος αερίων που εκπέμπονται από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες και το οποίο παγιδεύει την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα αυτή να ανακλάται στην επιφάνεια της γης και να διαχέεται στην ατμόσφαιρα, χωρίς να της επιτρέπεται να διαφύγει προς το διάστημα.

Το αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη. Στο Σχήμα 1.2 παρουσιάζεται η διαδικασία δημιουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

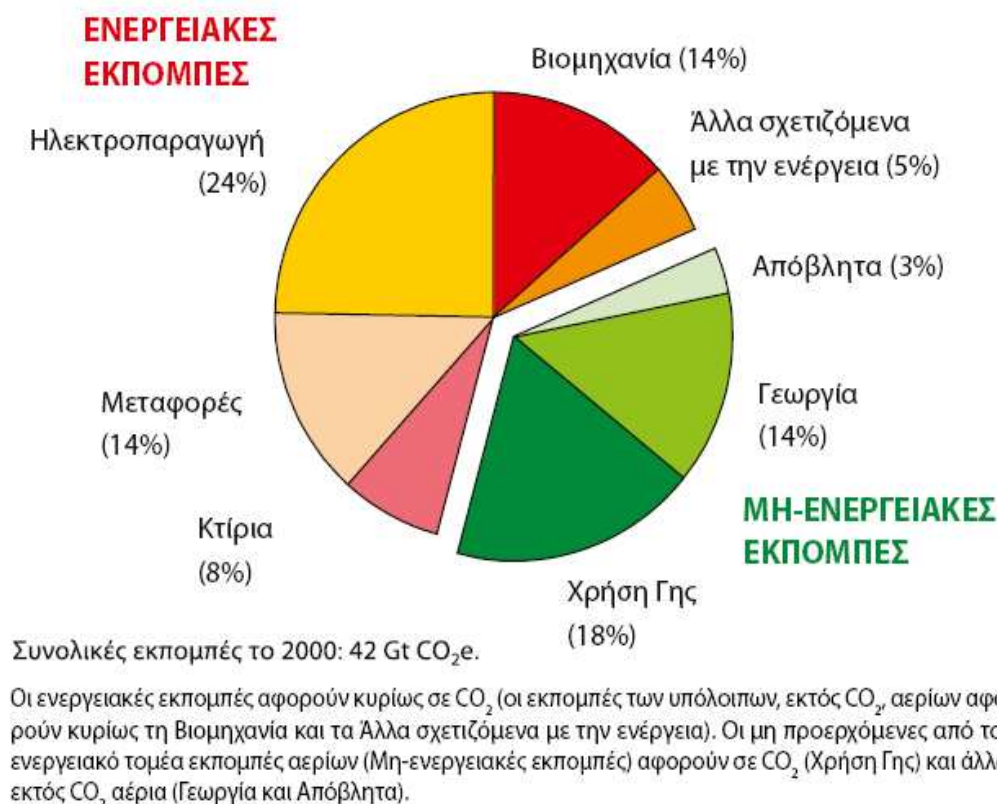


Σχήμα 1.2: Διαδικασία δημιουργίας φαινομένου του θερμοκηπίου

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.3, από τη συνολική ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που διαπερνά την ατμόσφαιρα ετησίως (343 Watt ανά m^2), μόνο το

48% απορροφάται από την επιφάνεια της γης και είναι διαθέσιμη προς παραγωγή έργου. Η ενέργεια αυτή χρησιμεύει για τη θέρμανση της επιφάνειας της γης και των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας, για την τήξη των πάγων και την εξάτμιση του νερού όπως και για κατανάλωση στη διεργασία της φωτοσύνθεσης από τα φυτά. Από το υπόλοιπο 52%, ένα ελάχιστο ποσοστό (περίπου 4%) ανακλάται αμέσως στην επιφάνεια της γης και επανεκπέμπεται στο διάστημα, 26% δεν φθάνει στην επιφάνεια της γης αλλά ανακλάται στα σύννεφα και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας και 19% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και την μάζα των νεφελωμάτων (Παπαδόπουλος, 1997).

Τα αποθέματα αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένων του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου, του υποξειδίου του αζώτου και ενός αριθμού αερίων που προέρχονται από τη βιομηχανία), αυξάνονται λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Οι πηγές παρουσιάζονται συνοπτικά στο Διάγραμμα 1.1 (Εκθεση Stern).

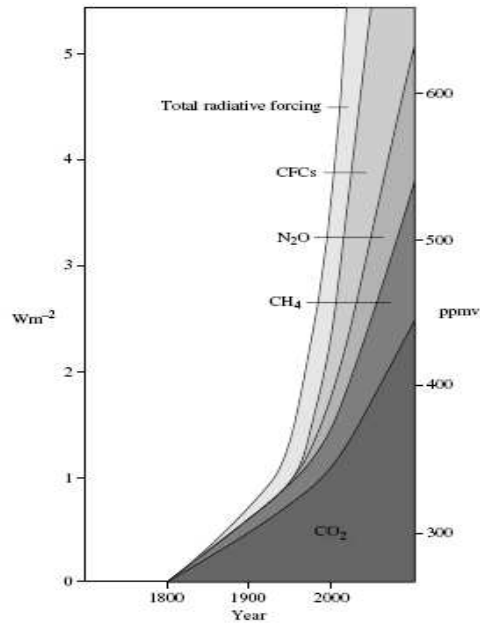


Διάγραμμα 1.1: Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το 2000, κατά προέλευση

Η χημική σύσταση του στρώματος των αερίων του θερμοκηπίου περιλαμβάνει κυρίως τοξικά και μη τοξικά αέρια όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , το μεθάνιο CH_4 , το υποξείδιο του αζώτου N_2O (ή Νιτρώδες οξείδιο) και οι υδροφθοράνθρακες CFCs (HFCs, PFCs, SF_6). Το τρέχον επίπεδο συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα ανέρχεται σε περίπου 430 ppm CO_2 , συγκρινόμενο με μόλις 280 ppm πριν τη Βιομηχανική Επανάσταση. Αυτές οι συγκεντρώσεις αερίων έχουν ήδη οδηγήσει σε μια θέρμανση του πλανήτη μεγαλύτερη από μισό βαθμό Κελσίου και πρόκειται να οδηγήσουν, λόγω της αδράνειας του κλιματικού συστήματος, σε μια θέρμανση τουλάχιστον μισού επιπλέον βαθμού στις επόμενες δεκαετίες.

Ακόμη κι αν ο ρυθμός αύξησης της ετήσιας εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου παραμείνει στα τρέχοντα επίπεδα, τα αποθέματά τους στην ατμόσφαιρα το 2050 θα έχουν διπλασιαστεί σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά τους επίπεδα (ήτοι φτάνοντας δηλαδή τα 550 ppm CO_2) και θα συνεχίσουν να αυξάνονται από εκεί και πέρα. Ωστόσο οι ετήσιες εκπομπές επιταχύνονται, καθώς οικονομίες που αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς επενδύουν σε υποδομές υψηλής χρήσης άνθρακα και καθώς η ζήτηση για ενέργεια και μεταφορές αυξάνεται σε ολόκληρο τον κόσμο. Μπορεί τελικά να αγγίξουμε το επίπεδο των 550 ppm CO_2 πολύ νωρίτερα, μόλις το 2035. Σε αυτό το επίπεδο υπάρχει πιθανότητα τουλάχιστον 77% και ίσως ακόμη και 99% (ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιείται) μιας αύξησης της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 2 °C.

Στο Σχήμα 1.3 που ακολουθεί παρουσιάζεται γραφικά η ποσοστιαία επίπτωση των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την πάροδο του χρόνου (Kaltschmitt et al., 2007).



Σχήμα 1.3: Ποσοστιαία επίπτωση των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την πάροδο του χρόνου (CH_4 = μεθάνιο; N_2O = Υποξείδιο του αζώτου; CO_2 = διοξείδιο του άνθρακα; CFCs = υδροφθοράνθρακες) (Kaltschmitt et al., 2007)

Πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα, γνωστά ως General Circulation Models (GCM), τα οποία επεξεργάζονται όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για να προβλεφθούν οι μελλοντικές κλιματικές αλλαγές που προκύπτουν από την έξαρση του φαινομένου του θερμοκηπίου, δείχνουν ότι η μέση θερμοκρασία της Γης θα αυξάνεται κατά μέσο όρο περίπου $0,3^\circ \text{C}$ ανά δεκαετία για τα επόμενα 100 χρόνια, ενώ σύμφωνα με τις πιο απαισιόδοξες προβλέψεις, στο τέλος του αιώνα θα έχει αυξηθεί κατά $5,8^\circ \text{C}$ σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες του 1990. Συνέπειες του φαινομένου αυτού είναι η όλο και συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, προβλήματα στην ύδρευση λόγω της ανακατανομής των υδάτων, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας που απειλεί με εξαφάνιση ολόκληρες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. Ολλανδία) και η διατάραξη της ισορροπίας των οικοσυστημάτων.

1.3. Το πρωτόκολλο του Κιότο

Το Πρωτόκολλο του Κιότο προέκυψε από τη Σύμβαση-Πλαίσιο για τις Κλιματικές Αλλαγές που είχε υπογραφεί στη διάσκεψη του Ρίο, τον Ιούνιο του 1992 από το σύνολο σχεδόν των κρατών (η Ελλάδα κύρωσε τη σύμβαση αυτή με νόμο τον Απρίλιο του 1994). Στόχος της Σύμβασης είναι «η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδα τέτοια, ώστε να προληφθούν επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες».

Το Πρωτόκολλο του Κιότο, που υπογράφηκε το 1997 και τέθηκε σε ισχύ στις 16 Φεβρουαρίου 2005, αποτελεί το σημαντικότερο νομικό εργαλείο που αναγνωρίζει την ανάγκη δράσης για την αποτροπή των κλιματικών αλλαγών και προβλέπει τον έλεγχο των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ειδικότερα, ρυθμίζει τις εκπομπές έξι αερίων που θεωρούνται σήμερα υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου: το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), τους υδροφθοράνθρακες (HFCs), τους υπερφθοριωμένους υδρογονάνθρακες (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6). Ως βραχυπρόθεσμος στόχος τίθεται η μείωση κατά 8% των εκπομπών των αερίων θερμοκηπίου κατά το διάστημα 2008-2012 σε συνάρτηση με τα επίπεδα του 1990 (Πίνακας 1.1).

Πίνακας 1.1: Αυξο-μειώσεις εκπομπών αερίων θερμοκηπίου για διάφορες χώρες της Ε.Ε σύμφωνα με τις δεσμεύσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο.

Χώρα	± (%)	Χώρα	± (%)
Λουξεμβούργο	-28	Γαλλία, Φινλανδία	0
Γερμανία, Δανία	-21,5	Σουηδία	+5
Αυστρία	-13	Ιρλανδία	+14
Βρετανία	-12,5	Ισπανία	+15
Εσθονία, Λετονία, Λιθουανία, Σλοβακία, Σλοβενία, Τσεχία	-8	Ελλάδα	+25
Βέλγιο	-7	Πορτογαλία	+28
Ιταλία	-6,5		
Ουγγαρία, Πολωνία, Ολλανδία	-6		

Ως μακροπρόθεσμο στόχο, μέχρι το 2020, τίθεται η μείωση των εκπομπών αυτών κατά 20-40%. Με την απόφαση 2004/280 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, καθορίστηκε ο μηχανισμός παρακολούθησης των εκπομπών αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για την εφαρμογή του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Η Απόφαση 2005/166 θέσπισε τους κανόνες εφαρμογής της απόφασης 2004/280.

Για να καταστεί το Πρωτόκολλο του Κιότο διεθνής δέσμευση θα έπρεπε να επικυρωθεί από έναν ορισμένο αριθμό χωρών. Συγκεκριμένα, για να τεθεί σε ισχύ το Πρωτόκολλο θα έπρεπε να κυρωθεί από 55 μέλη, τα οποία να εκπροσωπούν τουλάχιστον το 55% των αέριων εκπομπών του έτους 1990. Μέχρι σήμερα έχει επικυρωθεί από 152 κράτη και οργανισμούς, που αντιπροσωπεύουν το 61,6% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, κατά το 1990, όπως αυτά καθορίζονται στο Παράρτημα Ι αυτού, και το 90% περίπου του πληθυσμού του πλανήτη.

Το πρωτόκολλο του Κιότο συγκεκριμένα προβλέπει για την Ελλάδα συγκράτηση του ποσοστού αύξησης κατά το έτος 2010 του CO₂ και άλλων αερίων που επιτείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 25% σε σχέση με το έτος βάση 1990 σύμφωνα με το «Εθνικό Σχέδιο Κατανομής Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΕΣΚΔΕ) για την Περίοδο 2005 – 2007 – Τελικό Σχέδιο προς την ΕΕ (30/12/2004)».

1.4. Πολιτικές του σήμερα. Το πακέτο 20-20-20.

Απώτερος στόχος της σύμβασης-πλαίσιου των Ηνωμένων Εθνών για τις κλιματικές μεταβολές είναι η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα σε επίπεδο τέτοιο ώστε να προλαμβάνεται η επικίνδυνη ανθρωπογενής επίδραση στο κλιματικό σύστημα. Για να επιτευχθεί ο στόχος αυτός, η συνολική μέση ετήσια αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του πλανήτη δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα και, επομένως, να μειώνονται σταδιακά οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έως το 2020. Αυτό συνεπάγεται αυξανόμενες προσπάθειες από την Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), ταχεία συμμετοχή των ανεπτυγμένων χωρών και ενθάρρυνση της συμμετοχής των αναπτυσσόμενων χωρών στη διαδικασία μείωσης των εκπομπών.

Καθόσον αφορά την ΕΕ, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο, στις 12 Δεκεμβρίου 2008 (μαζί με το ευρωπαϊκό σχέδιο ανάκαμψης), και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, στις 17 Δεκεμβρίου 2008, ενέκριναν το πακέτο προτάσεων της Επιτροπής, αποκαλούμενο «ενέργεια-κλίμα» ή «σχέδιο 20-20-20», λόγω του ότι θέτει στόχους για την ενέργεια και το κλίμα στην ΕΕ για το έτος 2020: τη μείωση κατά 20% των αερίων θερμοκηπίου, τη βελτίωση κατά 20% της ενεργειακής αποδοτικότητας και την αύξηση κατά 20% της προσφοράς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το πακέτο υλοποιεί τη δέσμευση της ΕΕ να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου της Κοινότητας κατά τουλάχιστον 20% σχετικά με τα επίπεδα του 1990 έως το 2020 και, κατά 30% υπό την προϋπόθεση ότι θα υπάρξουν δεσμεύσεις για συγκρίσιμες μειώσεις των εκπομπών από άλλες ανεπτυγμένες χώρες και ότι οι πιο προηγμένες οικονομικά αναπτυσσόμενες χώρες θα συμβάλλουν ανάλογα με τις υποχρεώσεις και τις δυνατότητές τους.

Το πακέτο «ενέργεια-κλίμα» ενσωματώνει τις πολιτικές της ΕΕ για την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος, τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, την επίτευξη βιώσιμης ανάπτυξης, την ενίσχυση της ασφάλειας του εφοδιασμού και την υλοποίηση της στρατηγικής της Λισαβόνας για την καινοτομία. Το νομοθετικό πακέτο περιλαμβάνει:

1. βελτίωση του ευρωπαϊκού συστήματος εμπορίας εκπομπών·
2. επιμερισμό της προσπάθειας μείωσης των αερίων θερμοκηπίου·

3. προώθηση της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές·
4. γεωλογική αποθήκευση του διοξειδίου του άνθρακα·
5. περιορισμό εκπομπών CO₂ από επιβατικά αυτοκίνητα· και
6. αυστηρότερες προδιαγραφές για τα καύσιμα.

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα οι στόχοι που έχουν τεθεί σύμφωνα με τις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι:

- ΑΠΕ: **18% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας** υποχρεωτικά μέχρι το 2020 (Οδηγία 2009/28/EK)
- Υποχρεωτικός στόχος **10% μέχρι το 2020 για βιοκαύσιμα**
- Εξοικονόμηση 20% πρωτογενούς ενέργειας μέχρι το 2020
- Εμφαση στην δημοπράτηση – Ηλεκτρισμός δεν παίρνει κανένα δικαίωμα δωρεάν
- Τομείς εκτός 2003/87/EK, μείωση κατά **4%** των εκπομπών του 2005 (66.7Εκατ) μέχρι το 2020
- Τομείς εντός 2003/87/EK όπως όλα τα ΚΜ, μείωση κατά 1.74% ετησίως

Κεφάλαιο 2

Συστήματα Ενέργειας, Μεταφορές και Εκπομπές CO₂

2.1.Εισαγωγή

Τα ζητήματα του περιβάλλοντος καθίστανται ολοένα και πιο αποφασιστικοί παράγοντες που πρέπει να συνεκτιμώνται κατά ολοκληρωμένο τρόπο στις διάφορες αποφάσεις της ενεργειακής πολιτικής. Η ανθρωπότητα μεταβαίνει από μία εποχή, όπου το κύριο πρόβλημα ήταν η ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού, σε μία εποχή όπου το πρόβλημα είναι περισσότερο η ποιότητα του περιβάλλοντος. Οι περιορισμοί της ενεργειακής ανάπτυξης δεν αναφέρονται στις πηγές ενέργειας, αλλά στην ικανότητα απορρόφησης από το περιβάλλον των πιέσεων που συνεπάγεται η γενικευμένη παραγωγή και χρήση των φυσικών πόρων (Βασιλάκος, 1997).

Τα τελευταία χρόνια, η εγχώρια κατανάλωση ενέργειας έχει αυξηθεί σημαντικά, κυρίως στους τομείς των μεταφορών και των κατοικιών, επιφέροντας προσωρινές ανεπάρκειες ηλεκτρισμού σε ώρες υψηλής ζήτησης κατά τη διάρκεια του θέρους. Σε αντίθεση με τις προβλέψεις την εποχή της τελευταίας εις βάθος εξέτασης, η ένταση της ενέργειας έχει σταθεροποιηθεί, παραμένοντας λίγο κάτω από το μέσο όρο των χωρών μελών του ΔΟΕ της Ευρώπης, υποδηλώνοντας ότι η Ελληνική οικονομία δεν έχει γίνει λιγότερο αποδοτική στη χρήση ενέργειας. Είναι δυνατόν η σταθεροποίηση αυτή να ήταν η συνέπεια της αυξανόμενης διείσδυσης φυσικού αερίου και της πρόσθετης ισχύος από ΑΠΕ στην παροχή ενέργειας στην Ελλάδα, η οποία μπορεί να συνέβαλλε

έως και κατά ένα τρίτο στη μείωση μεταξύ 1990 και 2003, μαζί με σημαντικές επενδύσεις ενεργειακής αποδοτικότητας στον βιομηχανικό τομέα, η οποία υποστηρίχθηκε από κεφάλαια της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

2.2. Ενεργειακή κατανάλωση

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές CO₂ οφείλονται κυρίως στην καύση ορυκτών καυσίμων, ως αποτέλεσμα της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Οι βασικοί τομείς στους οποίους δύναται καύση ορυκτών καυσίμων προς παραγωγή ενέργειας είναι οι εξής:

- Ηλεκτροπαραγωγή
- Βιομηχανία
- Μεταφορές
- Αγροτικός τομέας
- Οικιακός τομέας
- Τριτογενής τομέας

Ο τομέας των μεταφορών χαρακτηρίζεται παραδοσιακά ως τομέας έντασης κεφαλαίου, που συνεπάγεται την κατανάλωση σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας για την εκτέλεση των σχετικών με αυτόν δραστηριοτήτων. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.1, στην Ελλάδα, την ΕΕ- 15 και την ΕΕ-27, η κατανάλωση ενέργειας είναι υψηλότερη στον οικιακό τομέα και εμπορίου, και ακολουθούν είτε ο τομέας της βιομηχανίας (στην Ευρώπη) ή των οδικών μέσων (στην Ελλάδα). Η κατανάλωση ενέργειας στους κλάδους των σιδηροδρόμων και της εσωτερικής ναυσιπλοΐας είναι ιδιαίτερα χαμηλή, με μεγάλη απόκλιση από τα σχετικά επίπεδα που αφορούν στα οδικά μέσα. Σε όρους ποσοστών, τα οδικά μέσα καλύπτουν το 82%, τα αεροπορικά το 14%, οι σιδηρόδρομοι το 2,5% και η εσωτερική ναυσιπλοΐα το 1,4% της ποσότητας ενέργειας που καταναλώνεται συνολικά στον τομέα των μεταφορών (ERF, 2008). Δηλαδή, οι κλάδοι των σιδηροδρομικών μεταφορών και της εσωτερικής ναυσιπλοΐας είναι μακράν οι λιγότερο ενεργοβόροι στο σύνολο του τομέα των μεταφορών. Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα είναι μέση, συγκριτικά με τις παγκόσμιες

τιμές. Η ένταση πρωτογενούς και τελικής ενέργειας έχουν αυξηθεί κατά 40% στην περίοδο 1998-2000, τα τελευταία χρόνια όμως παρουσιάζουν μειωτικές τάσεις λόγω του συνδυασμού μέτρων εξοικονόμησης και του υψηλού ρυθμού αύξησης του ΑΕΠ. Έτσι η ένταση πρωτογενούς ενέργειας ήταν 0.256 kgoe/ECU95 το 2003 και η ένταση τελικής ενέργειας 0.171 kgoe/ECU95, ενώ η κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας την ίδια χρονιά ήταν 2.8 toe.

Πίνακας 2.1: Κατανάλωση ενέργειας (σε εκ. τόνους ΠΙ) ανά τομέα στην Ελλάδα, την EE-15 και στην EE-27, το έτος 2005.

	Βιομηχανία	Οδικές μεταφορές	Νοικοκυριά, εμπόριο	Σιδηρόδρομοι	Εσωτερική ναυσιπλοΐα
Ελλάδα	4.1	6.1	8.5	0.1	0.6
EE-15	274.8	262.9	405.3	8.1	5.2
EE-27	326.3	296.9	480.4	9.5	5.3

Πηγή: ERF, 2009.

Η συνολική εγχώρια κατανάλωση ενέργειας στην EE-27 το 2005 ήταν 1811 εκατομμύρια toe. Ως εκ τούτου, πάνω από δέκα χρόνια, από το 1995, η τελική κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά μέσο όρο μόλις κατά 0,9% ανά έτος. Ωστόσο, μια ανάλυση με μία κύρια μορφή ενέργειας δείχνει μεγαλύτερα ποσοστά αλλαγής, κυρίως μία πτώση της κατανάλωσης σε στερεά καύσιμα (-4,4% ετησίως) και μία αύξηση της κατανάλωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (2,8% ετησίως), της ηλεκτρικής ενέργειας (2,1%), φυσικού αερίου (1,6%) και αργού πετρελαίου και προϊόντων πετρελαίου (0,8%).

Το πιο σημαντικό στην τελική χρήση της ενέργειας είναι για τις μεταφορές (ιδιωτική και δημόσια χρήση), με το 31% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, μόλις πριν από τη βιομηχανία (28%) και τα νοικοκυριά (27%). Η μεγάλη πλειοψηφία της κατανάλωσης ενέργειας στις μεταφορές είναι για την οδική (82% του συνόλου) και των αεροπορικών μεταφορών (14%). Λαμβανομένου υπόψη, ότι η ενεργειακή κατανάλωση για τις εσωτερικές πλωτές μεταφορές μειώθηκε μεταξύ 1995 και 2005 (κυρίως μεταξύ 1998 και 2001) και

παρέμεινε σταθερή για τις σιδηροδρομικές μεταφορές, οδικές μεταφορές, καταγράφεται μια μέση αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης της τάξης του 1,8% ετησίως, ενώ η κατανάλωση ενέργειας για αεροπορικές μεταφορές αυξήθηκαν κατά μέσο όρο 3,9% ετησίως, παρά τη κάμψη των δραστηριοτήτων αεροπορικών μεταφορών το 2001 και το 2002.

Το 2007 ένας ελάχιστος στόχος τέθηκε ώστε τα βιοκαύσιμα θα πρέπει να κατέχουν το 10% των μεταφορών με βενζίνη και ντίζελ μέχρι το 2020. Τα στοιχεία για το 2005 δείχνουν ότι τα βιοκαύσιμα έχουν μεγαλύτερη συμβολή κατανάλωση των καυσίμων στις μεταφορές στη Γερμανία (3,1%) και Σουηδία (2,4%), και αυτά ήταν τα μόνα κράτη μέλη (για τα οποία δεδομένα είναι διαθέσιμα), όπου το μερίδιο των βιοκαυσίμων ήταν πάνω από το μέσο όρο της ΕΕ-27, που είναι της τάξης του 0,9%.

Οι πιο ενεργειακά αποδοτικές χώρες της ΕΕ-27 το 2005, σύμφωνα με το δείκτη της ενεργειακής έντασης, ήταν η Δανία, η Ιρλανδία και η Αυστρία. Οι χώρες με τη μεγαλύτερη ενεργειακή ένταση ήταν η Βουλγαρία και η Ρουμανία, χρησιμοποιώντας και οι δύο ενέργεια πάνω από δέκα φορές όση χρειάστηκε η Δανία για την παραγωγή μιας μονάδας του ΑΕΠ. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η οικονομική διάρθρωση μίας οικονομίας παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της ενεργειακής έντασης, όπως οι μετα-βιομηχανικές οικονομίες με μεγάλους τομείς υπηρεσιών θα, *a priori*, εμφανίσουν χαμηλά επίπεδα ενεργειακής έντασης σε σύγκριση με τις οικονομίες που έχουν σημαντικό ποσοστό της οικονομικής τους δραστηριότητας μέσα στις βιομηχανικές δραστηριότητες. Η ενεργειακή κατανάλωση στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναμένεται ότι θα συνεχίσει να αυξάνεται με ετήσιο ρυθμό της τάξης του 0.7%, έως το 2020. Η πρόσφατη διεύρυνση (Ε-25) δεν έχει μεταβάλλει σημαντικά την εξάρτηση από εξωτερικές πηγές ενέργειας, η οποία αναμένεται να ανέλθει σε ποσοστό 70% για το έτος 2030. Αυτή η εκτίμηση είναι ενδεικτική του μεγέθους του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση διαμορφώνοντας εγκαίρως τις αναγκαίες πολιτικές που σχετίζονται με την ασφάλεια και την διαφοροποίηση των πηγών τροφοδοσίας της.

2.3. Μεταφορικό έργο

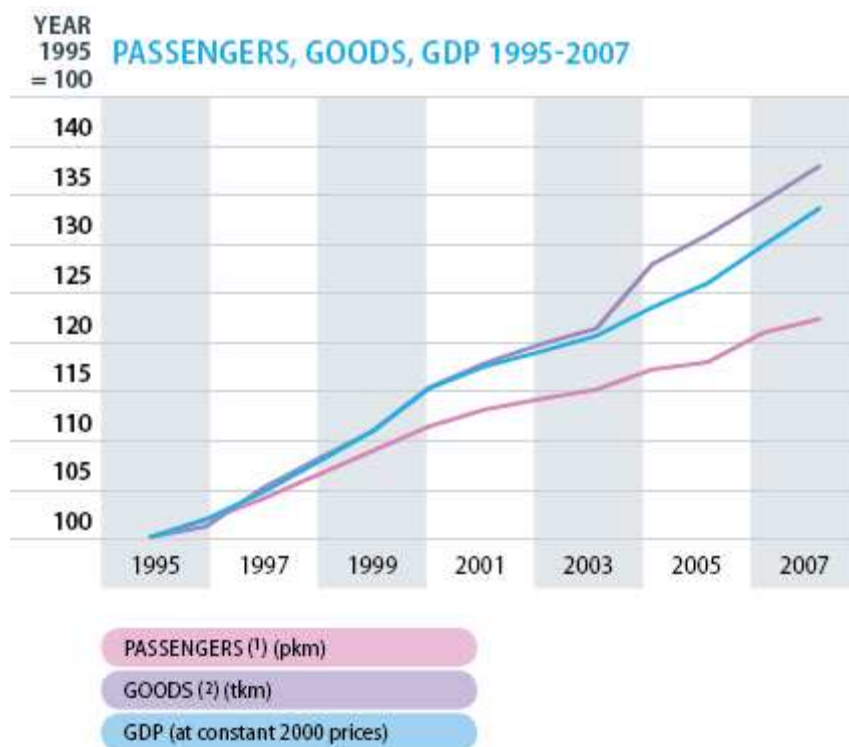
Το κυριότερο πρόβλημα των μεταφορών σήμερα, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην υπόλοιπη Ευρώπη, αποτελεί η συνεχής αύξηση της ζήτησης υπηρεσιών μεταφοράς εμπορευμάτων και επιβατών (ΕΚΠΑΑ, 2003). Η αύξηση αυτή επικεντρώνεται κυρίως στις οδικές μεταφορές, ως τον πλέον ευέλικτο τρόπο μεταφοράς, παρότι και τα άλλα μέσα εμφανίζουν αυξητικές τάσεις. Έτσι, ο τομέας των μεταφορών στην Ελλάδα αντιπροσωπεύει σήμερα το 40% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ κατέχει ένα σημαντικό και συνεχώς αυξανόμενο μερίδιο ευθύνης για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και συμβατικών αερίων ρύπων, καθώς και για τα υψηλά επίπεδα θορύβου που αποτελούν μια επιπλέον πηγή υποβάθμισης του αστικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, η επέκταση των συγκοινωνιακών υποδομών για την κάλυψη αυτής της διογκούμενης ζήτησης έχει ως συνέπεια την αύξουσα κατάληψη παραγωγικών γαιών και την υποβάθμιση φυσικών οικοσυστημάτων, ενώ συχνά η προσφορά νέων υποδομών, προκαλεί μεσοπρόθεσμα και περαιτέρω αύξηση της ζήτησης.

Από την άλλη πλευρά η έλλειψη κατάλληλων τέτοιων υποδομών έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συμφόρησης -με πολλαπλάσιες επιπτώσεις στην ατμοσφαιρική ρύπανση- ενώ ευθύνεται για μεγάλο αριθμό σοβαρών και θανατηφόρων ατυχημάτων.

2.3.1. Εξέλιξη

Κύριος στόχος της πολιτικής μεταφορών της Ε.Ε. είναι να σταθεροποιηθούν μέχρι το 2010 τα ποσοστά χρήσης των διάφορων μέσων μεταφοράς στα επίπεδα του έτους 1998. Ωστόσο, η ανάπτυξη των μεταφορών τη δεκαετία του 1990 χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία των οδικών και αεροπορικών μέσων, ενώ όσον αφορά τα άλλα μέσα μεταφοράς όπως ο σιδηρόδρομος, τα λεωφορεία και οι μεταφορές μέσω εσωτερικών πλωτών οδών, παρατηρήθηκε μια τάση στασιμότητας ή ακόμη μείωσης της χρήσης τους.

Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του μεταφορικού έργου των επιβατών και των εμπορευμάτων στην Ε.Ε-27 σε συνάρτηση του ΑΕΠ για την χρονική περίοδο 1995-2007 (Eurostat, 2009). Ως έτος βάσης ορίζεται το 1995.



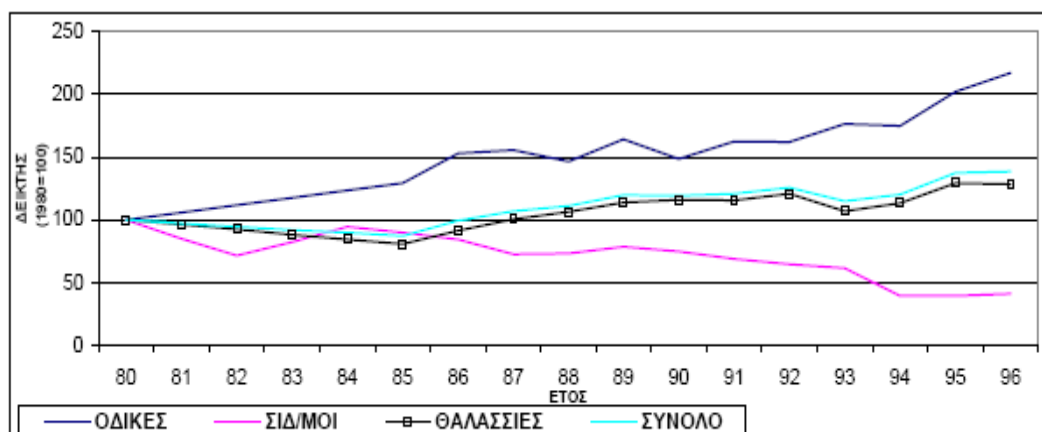
Σχήμα 2.1: Πηγή: Eurostat, 2009

Εξέλιξη μεταφορικού έργου στην ΕΕ-27 για την περίοδο 1995-2007

Το 2002 οι συνολικές μετακινήσεις επιβατών ανέρχονταν σε 13.760 δισεκατομμύρια επιβατοχιλιόμετρα από τις οποίες το 96% ήταν οδικές μετακινήσεις με ιδιωτικά αυτοκίνητα και λεωφορεία. Το υπόλοιπο 4% ήταν μετακινήσεις με αεροπλάνο, τραίνο, μετρό, τραμ και πλωτά μεταφορικά μέσα. Τα στοιχεία αυτά έχουν ιδιαίτερη αξία για την αξιολόγηση του μεταφορικού έργου του αυτοκινήτου από κάθε άποψη, αλλά κυρίως από την άποψη ότι η επιστήμη, η τεχνολογία και οι πολιτικές αποφάσεις πρέπει να επικεντρωθούν στις αλλαγές, που πρέπει να γίνουν για τη χρήση νέων οχημάτων αντιρρυπαντικής τεχνολογίας.

2.3.2. Χρήση μέσων μεταφοράς

Η κατανομή των επενδύσεων επηρεάζει αναμφισβήτητα την κατανομή του μεταφορικού έργου μεταξύ των διαφορετικών μέσων μεταφοράς στην ίδια χρονική περίοδο. Υπολογίζοντας την εξέλιξη του όγκου του μεταφορικού έργου για όλα τα μέσα μεταφοράς, χρησιμοποιώντας ως έτος βάσης το 1980 (δείκτης 1980=100), παρατηρείται η εξής εικόνα (Λαμπρίδης και λοιποί, 2000).



Σχήμα 2.2: Εξέλιξη μεταφορικού έργου στην Ελλάδα ανά μέσο μεταφοράς (1980-96) Πηγή: (Λαμπρίδης και λοιποί, 2000).

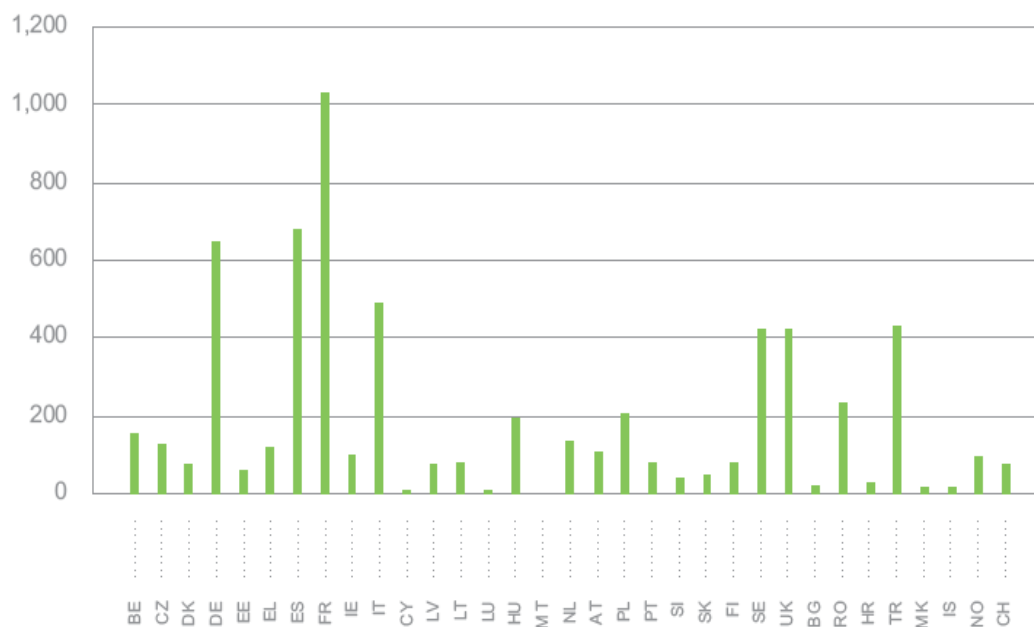
Το μεταφορικό έργο που εκτελείται οδικώς παρουσιάζει μεγάλη αύξηση φθάνοντας το έτος 1996 την τιμή 217,2 ενώ οι αντίστοιχοι δείκτες των θαλάσσιων και σιδηροδρομικών μεταφορών γίνεται 128,5 και 40,5, αντίστοιχα, στο ίδιο έτος την ώρα που ο δείκτης για το σύνολο της μεταφορικής δραστηριότητας αγγίζει το 138,7. Είναι φανερό, ότι οι προτεραιότητες της Ελληνικής επενδυτικής πολιτικής αντικατοπτρίζονται στην εικόνα της κατανομής του μεταφορικού έργου όπου παρατηρείται μεγάλη ανισορροπία μεταξύ των διαφορετικών μέσων.

2.3.3. Υποδομές οδικών μεταφορών

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή του μεταφορικού έργου μεταξύ των μέσων μεταφοράς ποικίλλουν. Ένας από τους πλέον σημαντικούς είναι η υπάρχουσα υποδομή για κάθε μέσο μεταφοράς και τα χαρακτηριστικά της (Jansson, 1993). Το επίπεδο των επενδύσεων στην υποδομή ενός μέσου αποτελεί σημαντικό εργαλείο επιρροής στην κατανομή του μεταφορικού έργου. Το οδικό δίκτυο, και κυρίως το μήκος των αυτοκινητοδρόμων, καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την έκταση, την ποιότητα και την ποσότητα των προσφερομένων υπηρεσιών στον κλάδο των οδικών μεταφορών. Για την απρόσκοπτη πραγματοποίηση και ανάπτυξη των οδικών μεταφορών και μετακινήσεων σε μία χώρα, το οδικό της δίκτυο οφείλει να συνδέει: α) Τους χώρους παραγωγής και καταναλώσεως των

προϊόντων με τους χώρους εναποθέσεως και διαχειρίσεως εμπορευμάτων και πρώτων υλών (εμπορευματικά κέντρα, λιμάνια, σιδηροδρομικοί σταθμοί, κ.λπ.).

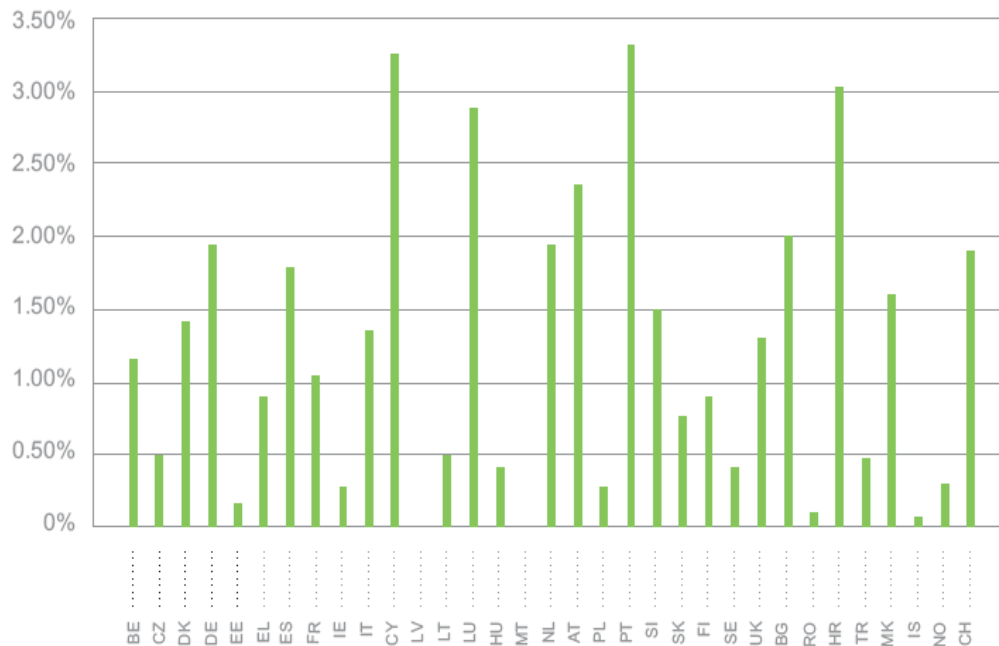
β) Τη χώρα με τα όμορα κράτη και, μέσω αυτών, με τους κύριους εμπορικούς εταίρους που βρίσκονται πέραν των γειτονικών χωρών. Επίσης, το οδικό δίκτυο θα πρέπει να συμβάλλει στην ασφαλή διακίνηση των επιβατών και στην έγκαιρη παράδοση των φορτίων (π.χ. χωρίς να δημιουργούνται κυκλοφοριακά προβλήματα, λόγω ελλείψεως λωρίδων κυκλοφορίας) και επιπλέον, να μην επηρεάζει αρνητικά το περιβάλλον, αφού το ανεπαρκές οδικό δίκτυο ή η μη βέλτιστη χάραξή του οδηγούν σε αυξημένες εκπομπές ρύπων.



Σχήμα 2.3: Μήκος οδικού δικτύου ανά χώρα για το έτος 2006 (σε χιλιάδες km) Πηγή: (ERF, 2009)

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3, στην Ελλάδα το συνολικό μήκος του οδικού δικτύου ανερχόταν στα 117.700 km το 2005, ενώ το μήκος των αυτοκινητοδρόμων αυξήθηκε με μέσο ετήσιο ρυθμό 7,9% κατά την περίοδο 1995-2005 και έφθασε τα 900 km το 2005 (από 420 km το 1995) (ERF, 2009). Σήμερα, οι αυτοκινητόδρομοι αποτελούν το 0,77% του συνολικού οδικού δικτύου της

Ελλάδος, από τα πολύ χαμηλότερα επίπεδα των προηγούμενων περιόδων (Σχήμα 2.4). Ωστόσο, το ποσοστό αυτό εξακολουθεί να υπολείπεται από το αντίστοιχο ποσοστό σε άλλες χώρες της ΕΕ (ΕΕ-27: 1,13%), αλλά είναι υψηλότερο από αυτό των περισσότερων νέων οικονομιών της ΕΕ-27, όπως της Πολωνίας, της Ουγγαρίας, της Τσεχίας, και άλλων.



Σχήμα 2.4: Ποσοστό κάλυψης του οδικού δικτύου από αυτοκινητόδρομους διαφόρων χωρών για το έτος 2006 (σε χιλιάδες km) Πηγή: (ERF, 2009)

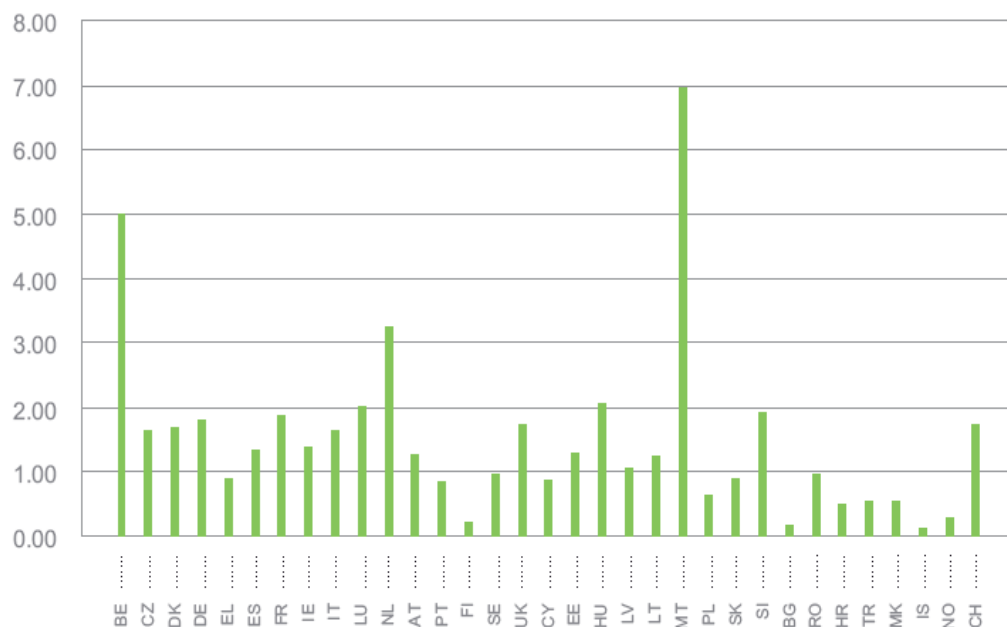
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται λεπτομερώς η επιμέρους δομή του οδικού δικτύου της Ελλάδας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές Χώρες.

Πίνακας 2.2: Επιμέρους δομή οδικών δικτύων διαφόρων χωρών της Ε.Ε

Χώρα	BE	CZ	DK	DE	EL	ES	FR
Αυτοκινητόδρομοι	1.76	0.63	1.03	12.5	1.06	12.1	10.8
Εθνικοί οδοί	12.6	6.17	0.64	40.7	10.2	23.7	25.2
Δευτερεύων δίκτυο	1.35	48.8	9.69	178.1	30.9	140.5	377.2
Λοιπό δίκτυο	136.6	72.9	61.00	413.3	75.6	501.1	615.6
Σύνολο	152.3	128.5	72.4	644.6	117.7	677.4	1028.8

Πηγή: European Road Statistics, European Union Road Federation, 2009.

Όσον αφορά την πυκνότητα του οδικού δικτύου, η Ελλάδα καταλαμβάνει την 25η θέση ανάμεσα στις 55 χώρες για τις οποίες υπάρχουν στοιχεία για το 2002 (IMD, 2005), με πυκνότητα $0,89 \text{ km/km}^2$ (Σχήμα 2.5). Η θέση αυτή κρίνεται ικανοποιητική, αφού είναι καλύτερη ακόμα και από τις αντίστοιχες θέσεις των ΗΠΑ ($0,65 \text{ km/km}^2$), της Σουηδίας ($0,52 \text{ km/km}^2$) και των περισσότερων νέων αναπτυσσόμενων χωρών της ΕΕ-27. Παρόλα αυτά, η θέση της Ελλάδος από πλευράς πυκνότητας οδικού δικτύου είναι χαμηλότερη από τις αντίστοιχες των οδικών δικτύων της Ισπανίας ($1,31 \text{ km/km}^2$), της Ιταλίας ($1,59 \text{ km/km}^2$) και της Ουγγαρίας ($2,30 \text{ km/km}^2$).



Σχήμα 2.5: Πυκνότητα του οδικού δικτύου ανά χώρα για το έτος 2006 (σε km/km^2) Πηγή: (ERF, 2009)

Ωστόσο, το μήκος και το ποσοστό των αυτοκινητοδρόμων στο συνολικό εθνικό οδικό δίκτυο αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα επόμενα έτη, με την τελική παράδοση και ενσωμάτωση στην κυκλοφορία πολλών νέων οδικών έργων που βρίσκονται σήμερα υπό κατασκευή.

2.3.4. Επιπτώσεις στο περιβάλλον -Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου

Η αναμενόμενη αύξηση των μεγεθών των μεταφορών με τον τρόπο οργάνωσης τους που υιοθετήθηκε τις τελευταίες δεκαετίες δημιουργεί ιδιαίτερο προβληματισμό από το γεγονός ότι οι θετικές επιπτώσεις από την ικανοποίηση της ζήτησης για μετακινήσεις είναι άμεσα συνδεδεμένες με επιπτώσεις αρνητικές για το περιβάλλον.

Η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στον τομέα των μεταφορών και, ιδιαίτερα, στον κλάδο των οδικών μεταφορών, οδηγεί στη σημαντική επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από εκπεμπόμενους από τα οχήματα ρύπους. Ο Πίνακας 2.3 δείχνει ότι το 2000 οι οδικές μεταφορές ευθύνονταν για το 73,7% των παγκόσμιων εκπομπών CO₂ στον τομέα των μεταφορών (και για το 13,8% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών CO₂), ενώ παρήγαγαν και τους περισσότερους ρύπους NO_x και PM₁₀, με τον ναυτιλιακό κλάδο να ακολουθεί. Αυτές οι υψηλές εκπομπές CO₂ που συνδέονται κυρίως με τις οδικές μεταφορές έχουν καταστροφικές συνέπειες στο περιβάλλον, αφού το συγκεκριμένο αέριο είναι το βασικό υπεύθυνο για τις κλιματικές αλλαγές και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι ναυτιλιακές μεταφορές ευθύνονται για τις περισσότερες εκπομπές ρύπων SO_x.

Πίνακας 2.3: Μέση εκπομπή ρύπων (Tg/έτος) στους κλάδους των μεταφορών, 2000

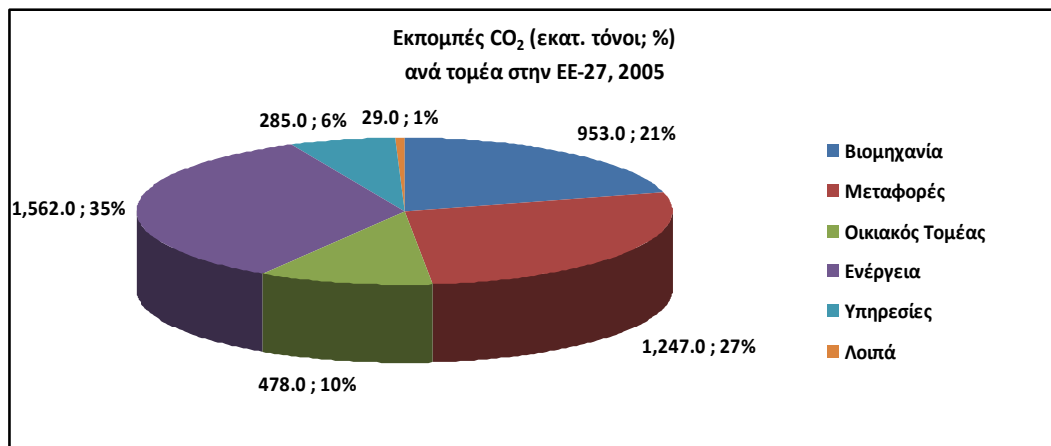
Αέριοι ρύποι	Οδικές (%)	Αεροπορικές (%)	Ναυτιλία (%)	Σύνολο
CO ₂	1122,000 (73,7)	178,000 (11,7)	222,000 (14,6)	1522,000
NO _x	8,300 (53,5)	0,710 (4,6)	6,500 (41,9)	15,510
SO _x	2,200 (26,6)	0,075 (0,9)	6,000 (72,5)	8,275
PM ₁₀	2,100 (55,2)	0,001 (0,0)	1,700 (44,7)	3,801

Πηγή: Eyring, 2007.

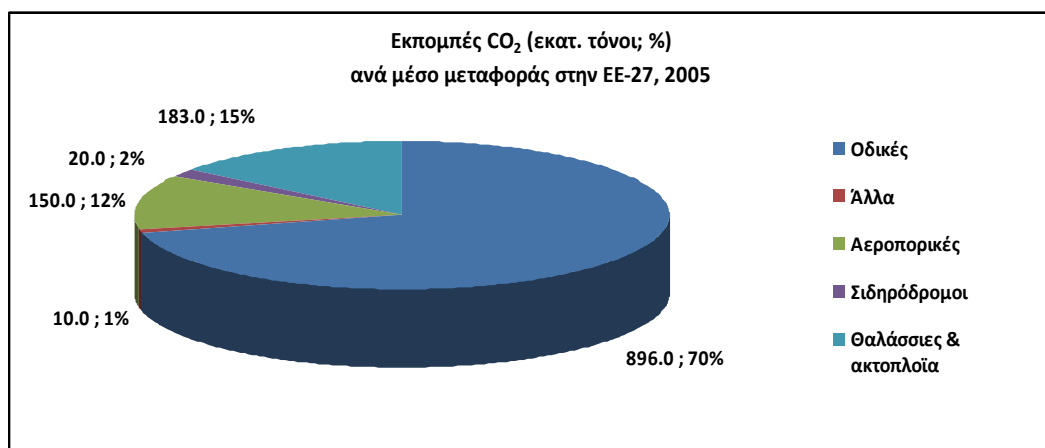
Στην Ελλάδα, όπως και στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές αυξήθηκαν σημαντικά την χρονική περίοδο 1990-2004 (κατά σχεδόν 26% στην ΕΕ-15), σε αντίθεση με τη μείωση των εκπομπών αυτών στους περισσότερους άλλους τομείς της οικονομίας (ΕΕΑ,

2007). Η αντίστοιχη αύξηση για την Ελλάδα κυμάνθηκε σε ποσοστό 41%, δηλαδή άνω του μέσου όρου της ΕΕ-15. Αναφέρεται ότι τα σχετικά ποσοστά αύξησης για την Γερμανία, Γαλλία, Ιταλία, Ισπανία και Πορτογαλία είναι 5%, 19%, 26%, 76% και 97%, αντίστοιχα.

α)



β)



Σχήμα 2.6: Εκπομπές CO₂ (εκατ. τόνοι;%) α) ανά τομέα και β) μέσο μεταφοράς στην ΕΕ-27 το έτος 2005 Πηγή: (UIC, 2008)

Για τις εκπομπές CO₂ ειδικότερα, η κατανομή ανά τομέα και μέσο μεταφοράς για το 2005 στην ΕΕ-27 παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.6 α,β, αντίστοιχα (UIC, 2008). Ο τομέας των μεταφορών κατατάσσεται δεύτερος μετά τον τομέα της ενέργειας. Οι συγκριτικές αναφορές για τις εκπομπές CO₂ στη διεξαγωγή μεταφορικού έργου μεταξύ σιδηρόδρομου, αεροπλάνου και αυτοκινήτου καθιστούν τον σιδηρόδρομο το λιγότερο επιβλαβές μέσο, με μεγάλη διαφορά από τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα, οι οδικές μεταφορές κατατάσσονται πρώτες στην εκπομπή CO₂, με ένα σημαντικό ποσοστό της τάξεως του 72%.

Με σημαντική διαφορά ακολουθούν οι θαλάσσιες και αεροπορικές μεταφορές (15% και 12%), ενώ ιδιαίτερα χαμηλό είναι το σχετικό ποσοστό για τους σιδηρόδρομους (1,6%). Τα παραπάνω στοιχεία καταδεικνύουν την ανάγκη για έναν περισσότερο περιβαλλοντικά βιώσιμο μηχανισμό στο τομέα των μεταφορών.

Κεφάλαιο 3

Ανάλυση Προσδιοριστικών Παραγόντων

3.1. Εισαγωγή

Από τις αρχές της δεκαετίας του `70, με κύρια αφορμή την ενεργειακή κρίση του 1973, οι περισσότερες αναπτυγμένες χώρες άρχισαν να επιχειρούν συστηματικά την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής τους εξάρτησης, αναζητώντας μέτρα και τεχνικές εξοικονόμησης των πεπερασμένων πόρων, με απώτερο σκοπό τη μείωση της σχετικής οικονομικής επιβάρυνσης. Σε αρκετές περιπτώσεις η προσπάθεια αυτή στέφθηκε με επιτυχία και παρατηρήθηκαν σημαντικές μειώσεις στην ενεργειακή ένταση των χωρών, η οποία όμως αποδείχθηκε ότι δεν ήταν αποτέλεσμα μόνο της μειωμένης κατανάλωσης, αλλά και της επίδρασης άλλων παραγόντων που σχετίζονται με τους ρυθμούς και το γενικότερο προσανατολισμό της οικονομικής ανάπτυξης των εν λόγω χωρών.

Από τη δεκαετία του `80, η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων, ή ανάλυση αποσύνθεσης (decomposition analysis) όπως εναλλακτικά αποδίδεται, χρησιμοποιήθηκε εκτενώς σε μια προσπάθεια να εξηγηθούν τόσο οι ίδιοι οι μηχανισμοί, όσο και ο βαθμός και η σχετική συμβολή του καθενός στη κατανάλωση της ενέργειας. Έκτοτε, τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής συμβάλλουν στην εκτίμηση μελλοντικών τάσεων και στο σχεδιασμό κατάλληλων πολιτικών για την αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από την ενεργειακή χρήση (Κοντίνης, 2007) .

Οι τεχνικές ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων εφαρμόστηκαν αρχικά στο βιομηχανικό τομέα, ο οποίος αποτελούσε την κύρια κατευθυντήρια δύναμη της οικονομικής ανάπτυξης και επιπλέον έναν από τους σημαντικότερους τομείς της τελικής ενεργειακής ζήτησης. Επιπλέον, η βιομηχανία αποδεικνύεται από τη φύση της πιο ευαίσθητη στη μεταβολή των τιμών της ενέργειας και στις τεχνικές αλλαγές.

Απ' τα μέσα της δεκαετίας του '90, η αυξανόμενη υποβάθμιση του περιβάλλοντος που παρατηρήθηκε σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο οδήγησε τους αναλυτές, αλλά και τους φορείς χάραξης πολιτικών στον εντοπισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ενεργειακής χρήσης, μετατοπίζοντας το ενδιαφέρον προς την ποιοτική της διάσταση, καθώς έχει πλέον αναγνωριστεί ότι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης δεν αρκεί για την εξασφάλιση οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας. Όλα αυτά, σε συνδυασμό με τη διαρκή ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, συνέβαλαν στην ανάδυση ενός νέου κρίσιμου ερωτήματος όσον αφορά στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να διαχωριστούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου τόσο από την οικονομική ανάπτυξη, όσο και από την ενεργειακή κατανάλωση.

Τα τελευταία χρόνια, σε πολλές περιπτώσεις η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων έχει επεκταθεί και σε άλλους τομείς της ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ αντικείμενο εφαρμογής έχει αποτελέσει και το σύνολο του ενεργειακού συστήματος. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε δημοσίευση του Διεθνούς Οργανισμού Ατομικής Ενέργειας, IAEA (2005), η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων συνιστάται για την μελέτη των αλλαγών της ενεργειακής έντασης για πλήθος σημαντικών τομέων κατανάλωσης ενέργειας που περιλαμβάνουν την βιομηχανία, την γεωργία, τις υπηρεσίες, τον οικιακό τομέα και τις μεταφορές. Η μελέτη αυτή, αποτελεί το αποτέλεσμα διεθνούς πρωτοβουλίας του IAEA, σε συνεργασία με το τμήμα οικονομικών και κοινωνικών υποθέσεων των Ηνωμένων Έθνων, τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), την Eurostat, και τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, με κύριο στόχο τον ορισμό ενός συνόλου δεικτών για την αειφόρο ενεργειακή ανάπτυξη, την ανάπτυξη αντίστοιχων μεθοδολογιών και την θέσπιση κατευθυντήριων γραμμών. Η κύρια έμφαση δίδεται στην αειφόρο ανάπτυξη των αναπτυσσόμενων χωρών. Το έργο αυτό προστίθεται σε έναν αυξανόμενο αριθμό εθνικών και διεθνών

πρωτοβουλιών που χρησιμοποιούν ή προτείνουν την ανάλυση των προσδιοριστικών παραγόντων ως βασικό εργαλείο σε πεδία εφαρμογών, όπως είναι η ανάλυση της ζήτησης ενέργειας, η ένταση ενέργειας / εντοπισμού της αποτελεσματικότητας, εκτίμηση εκπλήρωσης των στόχων ενεργειακής απόδοσης και την ανάπτυξη δεικτών ενέργειας. Ως απάντηση στις ανάγκες χάραξης νέων περιβαλλοντικών πολιτικών, η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων έχει επεκταθεί προκειμένου να διευκρινιστούν οι μηχανισμοί που επηρεάζουν τις μεταβολές εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και ειδικότερα του επικρατέστερου απ' αυτά, διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Κατά την εφαρμογή των σχετικών αναλύσεων, οι εκπομπές των αερίων που οφείλονται στην ενεργειακή χρήση υπολογίζονται από τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμων, χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές εκπομπής.

3.2. Μέθοδοι και τεχνικές

Οι κυριότερες τεχνικές της ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων/ ανάλυσης αποσύνθεσης δύναται να ταξινομηθούν σε δύο βασικές κατηγορίες (Liaskas et al., 2000):

A) Τεχνικές βασισμένες στην ανάλυση εισροών–εκροών (SDA): Οι τεχνικές αυτές δύναται να αναγνωρίζουν την επίδραση των τεχνολογικών μεταβολών και των διαρθρωτικών αλλαγών στην κατανάλωση ενέργειας στα πλαίσια ενός μακροοικονομικού περιβάλλοντος. Παρά την χρήση απλών υποθέσεων κατά την εφαρμογή τους, οι τεχνικές αυτές διακρίνονται από ένα έγκυρο θεωρητικό υπόβαθρο και παρέχουν λεπτομερή εικόνα για τη σχέση μεταξύ ενεργειακής χρήσης και μακροοικονομικών μεταβλητών. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι δεν επιτρέπουν τις διεθνείς συγκρίσεις, δεδομένου ότι οι πίνακες εισροών- εκροών των διαφόρων χωρών είναι δύσκολα συγκρίσιμοι μεταξύ τους .

B) Τεχνικές βασισμένες σε απλές αλγεβρικές μεθόδους ή σε αθροιστικούς δείκτες: όπως AMDI (Arithmetic Mean Divisia Index), LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index), κλπ. Μολονότι θεωρούνται πιο απλές από τις τεχνικές βασισμένες στην ανάλυση εισροών–εκροών και ενώ δεν διευκολύνουν

την ερμηνεία σημαντικών μακροοικονομικών παραμέτρων, επιτυγχάνουν να προσδιορίσουν τους κρισιμότερους παράγοντες που επηρεάζουν αλλαγές στην ενεργειακή κατανάλωση. Επιπλέον, λόγω της απλότητάς τους, η συλλογή δεδομένων και οι υπολογισμοί διεξάγονται σχετικά εύκολα, ενώ επιτρέπουν και τις συγκρίσεις μεταξύ χωρών.

Τα τελευταία χρόνια οι προσεγγίσεις Divisia και Laspeyres αποτελούν τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων και πρέπει να τονιστεί ότι τα αποτελέσματα που λαμβάνονται απ' την εφαρμογή τους σε ίδια ενεργειακά συστήματα μοιάζουν εντυπωσιακά. Αξιοσημείωτες διαφορές υπάρχουν μόνο στη δυσμενή περίπτωση κατά την οποία τα κατάλοιπα που προκύπτουν κρίνονται σημαντικά, κι αυτό συμβαίνει κυρίως στην προσέγγιση Laspeyres, όπου –εν αντιθέσει με την Divisia- οι τιμές είναι σταθεροποιημένες και συνεπώς ο σχετικός κίνδυνος μεγαλύτερος.

Γενικά, η ύπαρξη καταλοίπων αποτελεί κοινό πρόβλημα των μεθόδων ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων. Μάλιστα, στις περισσότερες μελέτες τα κατάλοιπα παραλείπονται και δεν λαμβάνονται υπόψη στα εξαγόμενα αποτελέσματα, γεγονός που, σε πολλές περιπτώσεις, οδηγεί σε αρκετά μεγάλα υπολογιστικά σφάλματα. Σε κάποιες άλλες μελέτες, με κυριότερη αυτή του Park το 1992, αποδίδονται ως όροι αλληλεπίδρασης των παραγόντων και εξετάζονται αθροιστικά στα αποτελέσματα της ανάλυσης, ως ένας συνολικός όρος αλληλεπιδράσεων που κατέχει συγκεκριμένο ποσοστό συμβολής.

Ανάμεσα στις δύο κατηγορίες ανάλυσης αποσύνθεσης, αυτές που χρησιμοποιούν αθροιστικούς δείκτες είναι εμφανώς ευρύτερα χρησιμοποιούμενες, σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές. Ο κύριος λόγος της προτίμησης των αναλυτών στις τεχνικές βασισμένες σε δείκτες είναι αφενός οι χαμηλές απαιτήσεις σε δεδομένα και αφετέρου η ευκολία στην παρουσίαση χρονικών και συγκριτικών αναλύσεων με τη χρήση διαθέσιμων βάσεων δεδομένων, κατασκευασμένων με μια κοινή ταξινομημένη μορφοποίηση. Από την άλλη μεριά, το κύριο πλεονέκτημα των μοντέλων εισροών- εκροών είναι ότι, όντας πλέον λεπτομερείς, επιτρέπουν τη βαθύτερη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις υπό εξέταση αλλαγές, συμπεριλαμβάνοντας το μείγμα των προϊόντων στην τελική ζήτηση και το ρόλο του διεθνούς εμπορίου.

3.3. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Πλήρης ανασκόπηση όλων των ενεργειακών και περιβαλλοντικών μελετών ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων που έλαβαν χώρα από το 1978 έως το 1999 πραγματοποιήθηκε από τους Ang και Zhang το 2000. Από τη συγκεκριμένη έρευνα προέκυψε ότι πραγματοποιήθηκαν συνολικά 124 σχετικές μελέτες, με τα κύρια κριτήρια διαφοροποίησης τους να περιλαμβάνουν την επιλεγμένη μέθοδο αποσύνθεσης, τον τομέα εφαρμογής (ενεργειακή κατανάλωση ή εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου), την περιοχή και το επίπεδο διαχωρισμού του ενεργειακού τομέα που εξετάζεται.

Δεδομένου ότι η πραγματευόμενη τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων επεκτάθηκε σχετικά πρόσφατα στο συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογής, παρατηρήθηκε ότι οι περισσότερες μελέτες αφορούσαν τις μεταβολές της ενεργειακής κατανάλωσης και ιδιαίτερα του βιομηχανικού τομέα (Κοντίνης, 2007). Ωστόσο, επισημαίνεται ότι κατά την περίοδο 1992-1999 οι μελέτες σχετικά με τις εκπομπές αερίων - κυρίως CO₂- αυξήθηκαν αλματωδώς, κατέχοντας σημαντικό μερίδιο, της τάξης του 34% του συνόλου των μελετών. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση της ενέργειας και την έντονη ανησυχία για την πορεία της παρατηρούμενης κλιματικής αλλαγής.

Σε ό,τι αφορά τις μεθόδους ανάλυσης που εφαρμόστηκαν στις δημοσιευμένες μελέτες, διαπιστώθηκε ότι δημοφιλέστερη είναι η προσέγγιση Laspeyres, αν και το μερίδιό της στις πιο πρόσφατες μελέτες έχει μειωθεί αισθητά. Συγκεκριμένα, για τις μελέτες που δημοσιεύθηκαν στη διάρκεια της περιόδου 1992-1999, η προσέγγιση των δεικτών Laspeyres κατέχει μερίδιο 45%, η προσέγγιση Divisia 28% και όλες οι υπόλοιπες 27%.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, παρά τις αναμενόμενες διαφορές που οφείλονται σε διαφορετικές μεθοδολογίες, χρονικά διαστήματα, χώρες και ενεργειακούς τομείς που εξετάζονται, όλες οι μελέτες συγκλίνουν σε μερικά κοινά βασικά συμπεράσματα. Για τις βιομηχανοποιημένες χώρες, η πτώση της

ενεργειακής έντασης ανά τομέα φαίνεται πως αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα μείωσης της έντασης των παραγόμενων εκπομπών CO₂. Στις χώρες αυτές, δηλαδή, σημειώθηκε σημαντική αύξηση της παραγωγής συνοδευόμενη από μείωση της ολικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Συγκριτικά με τη συμβολή της ενεργειακής έντασης, στις περισσότερες μελέτες η επίδραση των δομικών αλλαγών αποδεικνύεται λιγότερο σημαντική, ενώ στις αναπτυσσόμενες χώρες τα αποτελέσματα ποικίλουν και η γενικότερη εικόνα δείχνει ότι υπάρχει ισχυρή θετική σχέση μεταξύ της παραγωγής και της κατανάλωσης ενέργειας.

Στις περισσότερες μελέτες που πραγματοποιούνται τις μεταβολές στην ενεργειακή κατανάλωση του βιομηχανικού τομέα, τα αποτελέσματα είναι συγκεκριμένα και κοινά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η μελέτη διακρατικής σύγκρισης των Park et al, (1993), που διευκρινίζει ότι οι αναπτυγμένες χώρες έχουν επιτύχει σε μεγάλο βαθμό την αποσύζευξη της βιομηχανικής παραγωγής και της χρήσης ενέργειας, ενώ οι βελτιωμένες ενεργειακές εντάσεις και οι μετατοπίσεις στους λιγότερο ενεργοβόρους κλάδους φαίνεται να είναι οι κύριοι παράγοντες που εξηγούν τις μεταβολές στην κατανάλωση ενέργειας. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από τη δυνατότητα εφαρμογής μέτρων ορθολογικής διαχείρισης και τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας. Αντίθετα, εξαιρώντας λίγες περιπτώσεις, η σύνδεση μεταξύ βιομηχανικής παραγωγής και ενεργειακής κατανάλωσης είναι ακόμα παρούσα.

Κεφάλαιο 4

Μεθοδολογική Προσέγγιση

4.1. Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία προσδιορίζεται το μερίδιο ευθύνης του στόλου των οχημάτων ανά τύπο στο συνολικό ύψος εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα και εντοπίζονται οι παράγοντες εκείνοι που συνέβαλαν θετικά ή αρνητικά στην κατεύθυνσης περιορισμού τους βάσει του Πρωτοκόλλου του Κυότο. Η ανάλυση επικεντρώνεται κυρίως στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στη χρήση των επιβατικών οχημάτων καθώς αποτελούν το 80% του συνόλου των οχημάτων στην Ε.Ε.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που εφαρμόζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία για την ανάλυση των εκπομπών στον τομέα μεταφορών της Ελλάδας αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας του ΕΜΠ (Diakoulaki et al., 2006; Papagiannaki and Diakoulaki, 2009). Η προσέγγιση αυτή, Logarithmic Mean Divisia Index, βασίζεται στον εντοπισμό των προσδιοριστικών παραμέτρων μεταβολής των εκπομπών μέσω της χρήσεως ενός αλγεβρικού μοντέλου ανάλυσης παραγόντων (decomposition analysis) που χρησιμοποιείται ευρύτατα για την ερμηνεία πολυσύνθετων οικονομικών και τεχνολογικών μεταβολών. Οι παράγοντες που εξετάστηκαν στα πλαίσια αυτής της ανάλυσης ήταν ο πληθυσμός, η ιδιοκτησία οχημάτων, η ετήσια διανυόμενη απόσταση, το μίγμα καυσίμου, ο κυβισμός της μηχανής αλλά και το επίπεδο της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δύναται να αξιοποιηθούν μέσω της ανάδειξης των βασικών κατευθύνσεων πολιτικής στον τομέα των οδικών επιβατικών και εμπορικών μεταφορών με στόχο την πλήρη συμμόρφωση της χώρας με τις διεθνείς περιβαλλοντικές της δεσμεύσεις αλλά και με τον ευρύτερο στόχο της αειφόρου πράσινης βιώσιμης ανάπτυξης.

4.2. Χρησιμοποιούμενη μέθοδος

Οι Divisia ξεκίνησαν ως απλοί αθροιστικοί οικονομικοί δείκτες και οφείλουν την ονομασία τους στον Francois Divisia, ο οποίος τους εισήγαγε στο οικονομικό πεδίο το 1925. Τη δεκαετία του 1980, ο Boyd et al. (1987) επέκτεινε τη χρήση των Divisia δεικτών στη μελέτη της βιομηχανικής ενεργειακής κατανάλωσης στις ΗΠΑ. Λίγο αργότερα, ο Liu et al. (1992) διασκεύασε την τυπολογία Divisia με στόχο την εκτίμηση προβλημάτων με παραμέτρους και παρουσίασε τη βελτιωμένη εκδοχή με την ονομασία Adaptive Weighting Divisia Index Method. Το 1994, οι Ang (1994) και Ang and Lee (1994) επέκτειναν το έργο του Liu και έθεσαν τις βάσεις για τις αριθμητικές Divisia μεθοδολογίες αποδόμησης, Arithmetic Mean Divisia Index (AMDI). Παρατηρώντας ότι όλες οι τρέχουσες μεθοδολογίες αποδόμησης άφηναν υπόλειμμα, οι Ang and Choi (1997) πρότειναν μία εξευγενισμένη εκδοχή, τη Log Mean Divisia Index (LMDI) μεθοδολογία, η οποία έλυσε το πρόβλημα αντικαθιστώντας τον αριθμητικό μέσο συντελεστή βαρύτητας της AMDI μεθοδολογίας με το λογαριθμικό μέσο συντελεστή βαρύτητας.

Στόχος της εφαρμογής μιας μεθόδου IDA είναι η εκτίμηση της σχετικής μεταβολής (D) ενός ενεργειακού μεγέθους (π.χ ενεργειακή ζήτηση) από κάποιο χρόνο αναφοράς, έστω 0 σε κάποιο χρόνο T. Το υπόλοιπο αποδόμησης είναι η διαφορά μεταξύ του αθροίσματος των υπολογιζόμενων παραγόντων αποδόμησης εκφραζόμενα σε ποσοστά επί % και της πραγματικής εκατοστιαίας μεταβολής του μεγέθους αποδόμησης. Συνήθως εμφανίζεται εξαιτίας των ελλειπών ή ανακριβών διαθέσιμων πληροφοριών (Ang, 1995).

Επιπλέον ανάλογα με το χρονικό διάστημα που επιλέγεται για την ανάλυση του προβλήματος αποδόμησης διακρίνονται δύο βασικές προσεγγίσεις: η περιοδική ανάλυση και η ανάλυση με χρονοσειρές (Ang, 1995). Στις περισσότερες μελέτες

χρησιμοποιείται η περιοδική ανάλυση. Η περιοδική ανάλυση εξετάζει τις μεταβολές των κυριότερων παραμέτρων μεταξύ δύο χρονικών περιόδων, του έτους βάσης και του έτους σύγκρισης.

Επομένως απαιτεί λιγότερα δεδομένα αφού χρειάζονται ενεργειακά δεδομένα και δεδομένα παραγωγής μόνο για δύο έτη (Greening 1997; Ang 1994). Το κύριο μειονέκτημα είναι ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι μεταβολές στα ενεργειακά δεδομένα και στα δεδομένα παραγωγής που πραγματοποιούνται στα ενδιάμεσα χρόνια. Επιπλέον στην περιοδική ανάλυση τα μεγέθη αντιπροσωπεύουν μέσους όρους των τάσεων που επικρατούν στο έτος βάσης και στο έτος σύγκρισης. Η ανάλυση με χρονοσειρές απαιτεί ετήσια δεδομένα που σπάνια είναι διαθέσιμα, αλλά είναι πιο ακριβής, έχει μικρότερο υπόλοιπο αποδόμησης και είναι περισσότερο ανεξάρτητη μέθοδος αποδόμησης σε σχέση με την περιοδική ανάλυση. Οι μέθοδοι LMDI πολλαπλασιαστικής αποδόμησης χρησιμοποιούν λογαριθμική συνάρτηση βαρύτητας και προτείνονται για γενική χρήση (Ang, 2004). Η μαθηματική φόρμα αποδόμησης δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$D_{xk} = \exp\left(\sum_i \frac{L(V_i^T, V_i^o)}{L(V^T, V^o)} \ln\left(\frac{X_{k,i}^T}{X_{k,i}^o}\right)\right)$$

η μέση λογαριθμική συνάρτηση δύο θετικών αριθμών a,b υπολογίζεται με βάση τη φόρμα

$$L(a,b) = (a-b)/(\ln a - \ln b)$$

Οι βοηθητικές συναρτήσεις που υπεισέρχονται στις προηγούμενες φόρμες υπολογίζονται ως εξής:

$$D_{xk} = \exp\left(\sum_i W_i^* \ln\left(\frac{X_{k,i}^T}{X_{k,i}^o}\right)\right)$$

Η γενική εξίσωση που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία των δεδομένων, με βάση τα προηγούμενα, για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ ανά έτος t για το σύνολο του στόλου των οχημάτων δίδεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$C^t = P^t (V/P)^t \sum_i \left(f_i D_i^t F_i^t \left(\sum_j \left(S_{ij}^t \sum_k (T_{ijk}^t e_{ijk}) \right) \right) \right) \quad (1)$$

όπου:

P είναι ο συνολικός πληθυσμός,

V/P ο αριθμός των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους,

f_i ο συντελεστής εκπομπών CO₂ του καυσίμου i, ο οποίος εκφράζεται σε kg CO₂ /liters (Timmermans et.al., 2006),

D_i είναι η μέση ετήσια διανυόμενη απόσταση του οχήματος με χρήση του μίγματος του καυσίμου i,

F_i το μερίδιο των οχημάτων ανά τύπο καυσίμου,

S_{ij} το μερίδιο των οχημάτων καυσίμου i και κυβισμού μηχανής j,

T_{ij} το μερίδιο των οχημάτων καυσίμου i, κυβισμού μηχανής j και τεχνολογικής εξέλιξης k και

e_{ijk} είναι η ειδική κατανάλωση οχημάτων καυσίμου i, κυβισμού μηχανής j και τεχνολογικής εξέλιξης k, εκφρασμένη σε όγκο καυσίμου (liters) ανά 100 km.

Κατ' επέκταση από την διαφορά $C_n - C_0$ υπολογίζεται και η μεταβολή του ύψους των εκπομπών ΔC για το χρονικό διάστημα (n-0) θέτοντας σε κάθε παράμετρο της εξίσωσης (1) την τιμή που λαμβάνεις για τις χρονικές στιγμές t=0 και t=n. Η συνολική μεταβολή του ύψους των εκπομπών ΔC στο χρονικό διάστημα (n-0) υπολογίζεται τελικώς ως άθροισμα της επίδρασης των 6 παραγόντων σύμφωνα με την εξίσωση (2):

$$\Delta C = P^t (V/P)^t \sum_i \left(f_i D_i^t F_i^t \left(\sum_j \left(S_{ij}^t \sum_k (T_{ijk}^t e_{ijk}) \right) \right) \right) - P^0 (V/P)^0 \sum_i \left(f_i D_i^0 F_i^0 \left(\sum_j \left(S_{ij}^0 \sum_k (T_{ijk}^0 e_{ijk}) \right) \right) \right) \quad (2)$$

Από την παραπάνω εξίσωση είναι φανερό ότι η συνολική μεταβολή των εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές προκύπτει από την επίδραση των εξής παραγόντων:

- Η επίδραση του πληθυσμού, αντιπροσωπεύει την μεταβολή του συνολικού πληθυσμού (ΔP) της χώρας,
- Η επίδραση της ιδιοκτησίας, αντανακλά την μεταβολή του αριθμού των οχημάτων ανά κάτοικο [Δ(V/P)],
- Η επίδραση της απόστασης, αντιπροσωπεύει την μεταβολή της μέσης ετήσιας διανυόμενης απόστασης (Δd),
- Η επίδραση του μίγματος καυσίμου, αντανακλά την μεταβολή του αριθμού του μεριδίου των οχημάτων (ΔF) ανάλογα με το είδος του καυσίμου που καταναλώνεται i,
- Η επίδραση του κυβισμού της μηχανής, αντιπροσωπεύει την μεταβολή στο μερίδιο των οχημάτων (ΔS) με κυβισμό μηχανής j και
- Η επίδραση της τεχνολογικής εξέλιξης, αντανακλά την μεταβολή του αριθμού του μεριδίου των οχημάτων (ΔT) ανάλογα με την τεχνολογία της μηχανής k.

Στις Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) μεθοδολογίες, ο συντελεστής βαρύτητας βασίζεται στο λογαριθμικό μέσο όρο 2 θετικών αριθμών του Törnqvist, με αποτέλεσμα να εξαλείφεται το πρόβλημα του υπολείμματος R. Σύμφωνα με την υιοθέτηση μελέτης των προαναφερθέντων παραγόντων στην παρούσα εργασία, η

συνολική μεταβολή των εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές προκύπτει από την εξίσωση (3):

$$\Delta C = \Delta P + \Delta(V/P) + \Delta D + \Delta F + \Delta S + \Delta T \quad (3)$$

Η LMDI II θεωρείται ανώτερη της AMDI μεθοδολογίας επειδή δεν αφήνει υπόλειμμα, δεν καταφέρνει ωστόσο να λύσει το πρόβλημα της συνέπειας στη συνάθροιση υποκατηγοριών (Ang and Liu, 2001). Που σημαίνει ότι στις περιπτώσεις που ένας τομέας αναλύεται σε υποτομείς, αθροίζοντας τις επιδράσεις ενός παράγοντα από τους υποτομείς δεν καταλήγουμε στο ίδιο αποτέλεσμα από την υπολογισμό της συνολικής επίδρασης του παράγοντα στο συνολικό τομέα. Αναλυτικότερα, ο κάθε προσδιοριστικός παράγοντας της εξίσωσης (3) δύναται να υπολογιστεί από τις εξισώσεις (4-9), βάση της μεθοδολογίας του Ang (2005).

$$\Delta P = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \ln(P^t/P^0)) \quad (4)$$

$$\Delta(V/P) = \sum_i \sum_j \sum_k \left(L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \ln \left(\frac{(V/P)^t}{(V/P)^0} \right) \right) \quad (5)$$

$$\Delta D = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \ln(D_i^t/D_i^0)) \quad (6)$$

$$\Delta F = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln (F_i^t / F_i^0)) \quad (7)$$

$$\Delta S = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln(S_{ij}^t / S_{ij}^0)) \quad (8)$$

$$\Delta T = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln(T_{ijk}^t / T_{ijk}^0)) \quad (9)$$

όπου $L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) = (C_{ijk}^t - C_{ijk}^0) / (\ln C_{ijk}^t - \ln C_{ijk}^0)$ είναι η εξίσωση μέσους βάρους όπως προκύπτει από την λογαριθμική τιμή του μέσου δύο θετικών αριθμών.

Πρέπει επίσης να αναφερθούν και κάποιοι περιορισμοί που τίθενται κατά την εφαρμογή της μεθόδου. Αρχικά, η συνολική εκτίμηση στερείται σύνδεσης των αποτελεσμάτων με τις αιτίες που τα προκαλούν. Ωστόσο, η τεχνική είναι χρήσιμη για την εκτίμησης/αποσύνθεση της μεταβολής που πραγματοποιήθηκε στις εκπομπές CO₂ στα εγγενή συστατικά της, όμως αποτυγχάνει στην αξιολόγηση/ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Εν τέλει, η τεχνική που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία βοηθά σημαντικά στον εντοπισμό των υποπεριοχών εκείνων όπου αναζητούνται τα αίτια των εξεταζόμενων μεταβολών. Επιπλέον, η χρησιμοποιούμενη τεχνική δεν ισχύει για οικονομετρικές προβολές. Η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την ανάλυση προηγούμενων περιόδων. Τέλος, τα συμπεράσματα που εξάγονται από την παρούσα ανάλυση ισχύουν μόνο για την συγκεκριμένη περίοδο όπου εφαρμόστηκε και το επίπεδο των παραγόντων που εξετάστηκαν. Είναι προφανές ότι τα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα εξαρτώνται από την επιλογή των προσδιοριστικών παραγόντων ανά περίπτωση (Park, 1992).

4.3. Στόλος οχημάτων

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται ο στόλος των κυκλοφορούντων οχημάτων στην Ελλάδα για το έτος 2007 καθώς και η αντίστοιχη διαφορά σε σχέση με τα διαθέσιμα στοιχεία του έτους 2006 (Πηγή www.seaa.gr).

Πίνακας 4.1. Στόλος κυκλοφορούντων οχημάτων του έτους 2007

Κατηγορίες	Μονάδες	Ποσοστό (%)	Διαφορά με 2006
Επιβατικά οχήματα (συμπεριλαμβάνονται και τα ταξί)	4.834.313	71,3%	5,7%
Συμβατικά	1.323.646	27,4% επί του συνόλου	
Καταλυτικά	3.510.667	72,6% επί του συνόλου	
Ελαφρά φορτηγά	750.477	11,1%	0,4%
Βαρέα φορτηγά	238.939	3,5%	4,5%
Λεωφορεία	26.197	0,4%	0,9%
Μοτοσικλέτες (>50 cc)	931.527	13,7%	12%
ΣΥΝΟΛΟ	6.781.453		5,8%

Επιβατικά αυτοκίνητα: Όπως φαίνεται από τα στατιστικά στοιχεία του ΣΕΑΑ, ο αριθμός των επιβατικών οχημάτων ξεπέρασε το 2007 τα 4,8 εκατομμύρια, παρουσιάζοντας έτσι μια αύξηση κατά 52% συγκριτικά προς το 2000 (σε διάστημα δηλαδή μιας επταετίας) και κατά 5.7% σε σχέση με το προηγούμενο έτος (2006). Η αύξηση αυτή, αποτελεί την μεγαλύτερη σε απόλυτες τιμές που παρουσιάστηκε στην Ευρώπη για το έτος 2007. Εκείνο που θα πρέπει να επισημανθεί ιδιαίτερα, είναι ότι το 17% του στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων είναι ακόμη συμβατικής τεχνολογίας, δηλαδή ταξινομημένα προ του 1990. Το ποσοστό αυτό χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα υψηλό στην Ε.Ε. όπου κατά μέσο όρο το ποσοστό των συμβατικών αυτοκινήτων που βρίσκεται σε

κυκλοφορία είναι $< 10\%$ και σε μερικές χώρες ακόμα και μικρότερο από 5% . Ωστόσο, ο στόλος των επιβατικών οχημάτων στην Ελλάδα παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (71.3%) σε σχέση με τον αντίστοιχο μέσο όρο που παρατηρείται στην Ευρώπη ($\sim 80\%$)

Ελαφρά φορτηγά (μικτού ωφέλιμου βάρους έως $3,5$ τόνους): Η κατηγορία των ελαφρών φορτηγών με 750.477 μονάδες αντιπροσωπεύει το $13,5\%$ των κυκλοφορούντων οχημάτων, ποσοστό κατά περίπου $2,5$ ποσοστιαίες μονάδες μεγαλύτερο του αντίστοιχου μέσου όρου της Ε.Ε.

Βαρέα φορτηγά (μικτού ωφέλιμου βάρους άνω των $3,5$ τόνων). Ο στόλος των φορτηγών (μεσαία και βαρέα) παρουσιάζει μια μικρή αύξηση κατά 17% την τελευταία εξαετία. Η αναλογία του στόλου των βαρέων φορτηγών στο σύνολο του στόλου των οχημάτων ($4,4\%$), είναι σημαντικά αυξημένη σε σχέση με τον μέσο όρο της Ε.Ε ($\sim 3\%$).

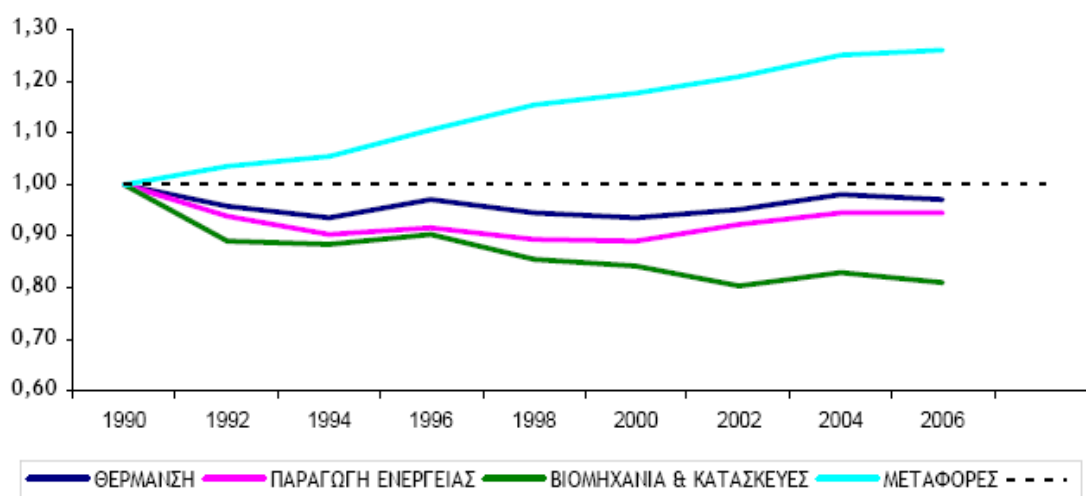
Λεωφορεία. Ο στόλος των λεωφορείων παρουσιάζει σημαντική αύξηση από το τέλος του 2000, της τάξης του $24,7\%$. Σε απόλυτες τιμές ο στόλος των λεωφορείων στην Ελλάδα είναι σχεδόν 4 φορές μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο μέσο όρο που παρατηρείται στην ΕΕ ($\sim 0.25\%$)

Μοτοσικλέτες (άνω των $50cc$). Ο αριθμός των μοτοσικλετών που βρίσκονται σε κυκλοφορία στην Ελλάδα, ανέρχονται σε 931.527 μονάδες, δεν περιλαμβάνουν όσες είναι κάτω των $50cc$ αντιπροσωπεύουν το 20% - 22% του συνόλου και είναι πάνω κάτω 230.000 , οπότε το σύνολο των δικύκλων στην Ελλάδα ανέρχεται περίπου στο 1 εκατομμύριο.

4.4. Εκπομπές CO_2 από τις οδικές μεταφορές

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), περισσότερο από το 30% της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας αποδίδεται στον τομέα των οδικών μεταφορών, ο οποίος με την σειρά του εξαρτάται κατά 98% από εισαγόμενα συμβατικά καύσιμα (ΕΚ, 2006). Παράλληλα μέχρι το 2030 αναμένεται αύξηση κατά 50% της συνολικής κατανάλωσης καυσίμων με δεδομένη την παρούσα αύξηση στον αριθμό των οχημάτων και την ανάπτυξη των αερομεταφορών. Συγκεκριμένα για τις 15 χώρες της ΕΕ, οι εκπομπές από οχήματα αυξήθηκαν κατά 27% στον τομέα

των μεταφορών ΙΧ και 51% στις μεταφορές φορτηγών για τα έτη 1990 – 2004 (ΕΕΑ, 2007). Στο σύνολο, η κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές αυξήθηκε κατά ~30% την περίοδο 1990-2006 όταν η αντίστοιχη στα κτίρια αυξήθηκε κατά ~10%, και στη βιομηχανία μειώθηκε κατά ~18%. Βάσει των παραπάνω εκτιμήσεων, πάνω από 90% των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα για την περίοδο 1990-2010 αποδίδεται στον τομέα των οδικών μεταφορών (ΚΑΠΕ, 2006).



Διάγραμμα 4.1. Εκπομπές ανά τομέα στην Ελλάδα (ΚΑΠΕ, 2006)

Όσο αφορά τις εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα, παρατηρήθηκε αύξηση κατά 46% για την χρονική περίοδο 1990-2005, ενώ για το ίδιο χρονικό εύρος η αντίστοιχη αύξηση για το σύνολο της Ε.Ε-15 κυμάνθηκε στο 25%. Ωστόσο, χαρακτηριστικό της εν γένει ενεργειοβόρας αλλά και συνάμα ιδιότυπης κατάστασης που παρατηρείται στην Ελλάδα, αποτελεί η μέση τιμή εκπομπής ανά κάτοικο που οφείλεται στις οδικές μεταφορές την ημέρα είναι 4.7 kg/cap/day και η οποία είναι κατά 16% μικρότερη της αντίστοιχης τιμής για την Ε.Ε-15. Επιπροσθέτως, στην Ελλάδα το 2007 αντιστοιχούσαν 428 επιβατικά οχήματα ανά 1000 κατοίκους (Ε.Ε-27=464) και η αύξηση από το 1990 ήταν 152% όταν για την Ε.Ε-27 είναι 34% (Eurostat, 2007).

Σημαντικός παράγοντας επίδρασης στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές αποτελεί το είδος/μίγμα του καυσίμου που

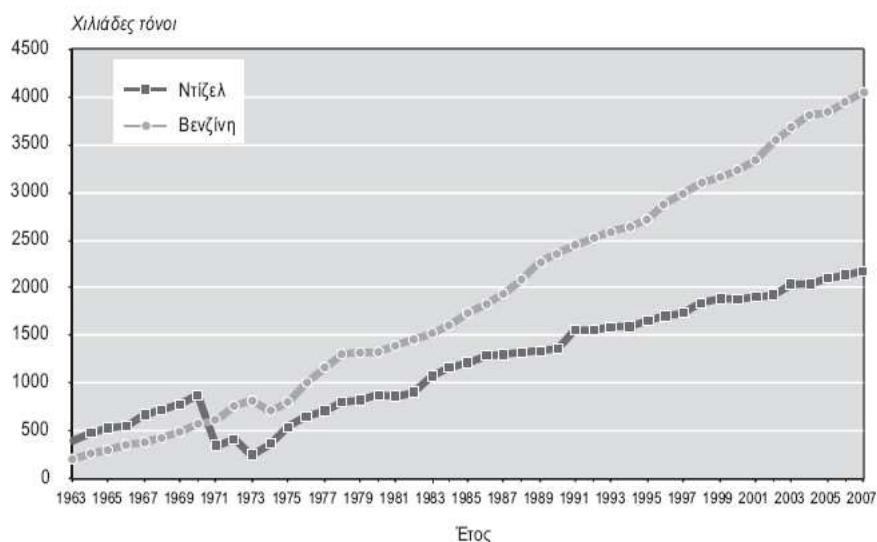
χρησιμοποιείται ανά περίπτωση. Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει προβλεπόμενες τάσεις στα μερίδια κατανάλωσης ενέργειας στις οδικές μεταφορές στις χώρες-μέλη της ΕΕ μέχρι το 2030. Οι τάσεις αυτές λαμβάνουν υπόψη και τις αναμενόμενες συνέπειες των μέτρων που προτείνονται στην Πράσινη Βίβλο της ΕΕ (UIC, 2008) για την μείωση του εξωτερικού κόστους από την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων τα επόμενα έτη. Το μερίδιο της κατανάλωσης βενζίνης αναμένεται να ακολουθήσει μια συνεχή φθίνουσα τάση, ενώ αυτό της κατανάλωσης Ντίζελ προβλέπεται να παραμείνει σταθερό. Αύξηση προβλέπεται στα μερίδια κατανάλωσης υδροποιημένου αερίου πετρελαίου (LPG), φυσικού αερίου και, ιδιαίτερα, βιοκαυσίμων.

Πίνακας 4.2. Προβλεπόμενες τάσεις στα μερίδια (%) κατανάλωσης ενέργειας στις οδικές μεταφορές στις χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής ένωσης μέχρι το 2030.

Καύσιμο	1990	2005	2010	2020	2030
Βενζίνη	57.7	38.4	35.2	31.4	29.3
Ντίζελ	41.1	58.8	58.9	58.9	58.9
LPG	1.2	1.5	1.8	2.0	2.1
Βιοκαύσιμα	0.0	1.1	3.9	7.4	9.4
Φυσικό αέριο	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3

Πηγή: (UIC, 2008)

Αντίθετα, στην Ελλάδα παρατηρείται αύξηση της κατανάλωσης των συμβατικών υγρών καυσίμων στις οδικές μεταφορές έναντι των υπολοίπων «πράσινων» καυσίμων. Στο διάγραμμα 4.2 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη της κατανάλωσης των (πλέον σημαντικών) υγρών καυσίμων (Ντίζελ και βενζίνης), τα οποία χρησιμοποιούνται στον τομέα των μεταφορών, στην Ελλάδα μεταξύ 1963-2007 (Πηγή: ΥΠΙΑΝ).



Διάγραμμα 4.2. Διαχρονική εξέλιξη της κατανάλωσης υγρών καυσίμων (Ντίζελ και βενζίνης σε χιλιάδες τόνους) για μεταφορές στην Ελλάδα, 1963-2007. (Πηγή: ΥΠΑΝ)

Τα στοιχεία αποδεικνύουν τη ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 3,9% στο Ντίζελ και 6,9% στη βενζίνη. Ο μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης βενζίνης, σε σύγκριση με την κατανάλωση Ντίζελ, οφείλεται κυρίως στην τεχνολογική πρόοδο και την ραγδαία αύξηση της χρήσης επιβατικών αυτοκινήτων οχημάτων.

Τα τελευταία χρόνια, η συνολική ποσότητα εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα επιτείνεται επίσης από την αυξημένη ηλικία του στόλου των κυκλοφορούντων οχημάτων. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3, τα ελαφρά και βαρέα φορτηγά, τα οποία συνολικά καταναλώνουν το 46% της ενέργειας κίνησης στην Ελλάδα, είναι τα πλέον γηρασμένα του στόλου των κυκλοφορούντων οχημάτων, τόσο σε σχέση με τη μέση ηλικία τους όσο και με το ποσοστό υπέρβασης των 15 ετών (Κασσάπης, 2007). Επίσης αυξημένη θεωρείται η μέση ηλικία των επιβατικών οχημάτων και λεωφορείων, που ξεπερνά τα 10 έτη. Τα στοιχεία αυτά καθιστούν επιτακτική τη λήψη μέτρων για την επιτάχυνση του ρυθμού ανανέωσης του στόλου των οχημάτων στην χώρα.

Πίνακας 4.3. Κατανάλωση καυσίμου ανά τύπο και ηλικία οχήματος

Χαρακτηριστικά	Επιβατικά οχήματα	Ελαφρά φορτηγά	Βαρέα φορτηγά	Λεωφορεία	Μοτοσυκλέτες	Σύνολο
Κατανάλωση	44.0	14.0	32.0	4.0	5.0	100.0
Μέση ηλικία (έτη)	10.4	13.9	17.1	12.5	7.8	10.8
>15 (έτη)	23.0	40.0	58.0	36.0	9.0	25.0

Πηγή: (Κασσάπης, 2007)

4.5. Δεδομένα εισόδου - Πηγές

Μέχρι σήμερα, είναι κοινά αποδεκτό ότι υφίστανται σημαντική έλλειψη στατιστικών δεδομένων σε Εθνικό και Ευρωπαϊκό επίπεδο αναφορικά με την ακριβή κατανάλωση των αυτοκινήτων. Η αξιόπιστη ανάλυση των στοιχείων των οδικών μεταφορών έχει να αντιμετωπίσει σήμερα στην Ελλάδα σειρά προβλημάτων που συσχετίζονται με τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των απαραίτητων στοιχείων, τα οποία μπορούν να συνοψιστούν σε:

- περιορισμένη διαθεσιμότητα
- χρονική υστέρηση στη διαθεσιμότητα
- ανεπαρκής βαθμός λεπτομέρειας
- χαμηλή αξιοπιστία
- ελλιπής καταγραφή ορισμένων μεταβλητών
- ασυμβατότητα στις διάφορες κατηγοριοποιήσεις

Επισημαίνεται ότι η πολυετής μελέτη των προβλημάτων των απαραίτητων στοιχείων για την ανάλυση των οδικών ατυχημάτων στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς ενισχύει τον γενικό κανόνα σύμφωνα με τον οποίο, όσο πιο χρήσιμα είναι τα απαραίτητα στοιχεία τόσο πιο δυσεύρετη η ανακάλυψη και λήψη τους.

Η Ελλάδα ανήκει στις ευρωπαϊκές χώρες με τη μικρότερη οργάνωση σε επίπεδο συλλογής στοιχείων έκθεσης στον κίνδυνο. Συγκεκριμένα, ορισμένες

προσπάθειες που αφορούσαν σε συστήματα καταγραφής χαρακτηριστικών κυκλοφορίας εγκαταλείφθηκαν, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν καθόλου διαθέσιμα πρόσφατα και αξιόπιστα στοιχεία κυκλοφορούντων οχημάτων, οχηματοχιλιομέτρων, κατανάλωσης καυσίμου κ.α. Η έλλειψη αυτή, δεν περιορίζεται μόνο στον ακριβή αριθμό του υφιστάμενου στόλου των αυτοκινήτων αλλά και στην συνεισφορά των επιμέρους κατηγοριών από τις οποίες αποτελείται όπως είναι το είδος του καυσίμου, η τεχνολογία αλλά και η ιπποδύναμη των μηχανών εσωτερικής καύσης. Επιπλέον, πολλές φορές τα δεδομένα αυτά προέρχονται από πλήθος διαφόρων πηγών με αποτέλεσμα να διαφοροποιούνται μεταξύ τους τόσο ως προς την ποιότητα όσο και ως προς τον ποσοτικό προσδιορισμό τους.

Στα πλαίσια υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας ως προς την αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης και την περαιτέρω ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων πραγματοποιήθηκαν εκτιμήσεις των εκπομπών και της κατανάλωσης του στόλου των επιβατικών οχημάτων της χώρας για το χρονικό εύρος 1990 έως 2005. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε η βάση δεδομένων του προγράμματος COPERT IV (Computer Program to calculate Emissions from Road Transport) (Ntziachristos et al., 2009), που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης και χρησιμοποιεί αντιπροσωπευτικούς - πειραματικά προσδιορισμένους - συντελεστές εκπομπών, τους στόλους των οχημάτων και την ετήσια χιλιομετρική απόσταση που διανύουν για να υπολογίσει τις συνολικές εκπομπές. Το μοντέλο COPERT πραγματοποιεί εκτιμήσεις εκπομπών όλων των νομοθετημένων ρύπων (CO, NO_x, VOC, PM) που εκπέμπονται από διάφορες κατηγορίες οχημάτων καθώς και εκπομπών CO₂ (μέγιστη τιμή όχι τιμή μέτρησης στην εξάτμιση του οχήματος) βασισμένων στην κατανάλωση καυσίμου.

Τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμων που περιλαμβάνονται στο πρόγραμμα COPERT IV αν και αρχικώς δίδονται υπό την μορφή μάζας καυσίμου ανά χιλιομετρική απόσταση (g/km), εν συνεχεία μετατράπηκαν σε λίτρα καυσίμου ανά 100 km (l/100 km) βάση της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε πρόσφατα από τους Timmermans et.al., 2006. Στο σημείο αυτό, είναι δε σημαντικό να τονιστεί ότι για τον ακριβή προσδιορισμό των εκπομπών CO₂ στην παρούσα εργασία με χρήση της ανάλυσης των προσδιοριστικών παραγόντων, δεν ελήφθησαν υπόψη οι ιδιαίτερες συνθήκες οδήγησης που προκύπτουν κατά την

χρήση και ανά περίπτωση κατηγορίας οχημάτων. Σε αυτές περιλαμβάνονται η αυξημένη κυκλοφορία, η έντονη οδήγηση καθώς επίσης η διεύθυνση χρήσεως επιπρόσθετων ηλεκτρονικών διατάξεων. Στο σύνολο τους, οι προαναφερόμενοι αστάθμητοι παράγοντες δύναται να δρουν καταλυτικά στο τελικό ποσό κατανάλωσης της ενέργειας. Ωστόσο ο ακριβής ποσοτικός προσδιορισμός τους είναι σχεδόν αδύνατος και μόνο υποθέσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν.

Για τον ακριβή προσδιορισμό των συντελεστών εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα στις οδικές μεταφορές χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία ανά χώρα όπως προέκυψαν από τις βάσεις δεδομένων του Οργανισμού Εποπτείας των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNFCCC, 2004). Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, ο συντελεστής εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα είναι 68.61 t/TJ για χρήση βενζίνης και 73.80 t/TJ για χρήση ντίζελ, αντίστοιχα.

Τέλος, όσο αφορά τα στοιχεία πληθυσμού χρησιμοποιήθηκε η επίσημη εθνική βάση δεδομένων της ΕΣΥΕ, η οποία περιέχει επίσης λεπτομερή εξατομικευμένα στοιχεία όλων των παραμέτρων συσχέτισης με τις οδικές μεταφορές για την περίοδο 1990-2005. Με χρήση της βάσης δεδομένων της ΕΣΥΕ μπορούν να εξαχθούν στοιχεία ανά οποιαδήποτε κατηγοριοποίηση, είτε μεμονωμένων μεταβλητών, είτε συνδυασμών πλήθους μεταβλητών που αφορούν την κατανάλωση καυσίμου, ετήσια διανυόμενη απόσταση κ.α .

4.6. Επιβεβαίωση τεχνικής – Απόκλιση αποτελεσμάτων

Αρχικά, η μεθοδολογική προσέγγιση της ανάλυσης αποσύνθεσης (decomposition analysis) βασίστηκε στον εντοπισμό των προσδιοριστικών παραμέτρων μεταβολής των εκπομπών CO₂ μέσω της χρήσεως δεδομένων εισόδου ανά πενταετία (Period series). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσίασαν σημαντική απόκλιση από τα αντίστοιχα αποτελέσματα της σχετικής βιβλιογραφίας αλλά και των υφιστάμενων εθνικών βάσεων δεδομένων και των αντίστοιχων υπολογιστικών μοντέλων. Για την επιβεβαίωση των παραπάνω, επανα-πραγματοποιήθηκε περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης αποσύνθεσης μέσω της χρήσεως δεδομένων εισόδου ανά έτος (Time series). Στο παράρτημα παρουσιάζονται τα

αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων όπως εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία και για τις δύο χρονικές σειρές ανά εξεταζόμενο τύπο οχημάτων. Στο σύνολο τους οι τιμές απόκλισης κυμάνθηκαν μεταξύ 15-20% και οφείλονται στην μεταβλητότητα των δεδομένων εισόδου σε σχέση με τον χρόνο.

Έτσι, στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα της ανάλυσης των προσδιοριστικών παραγόντων στις εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές όπως προέκυψαν με την χρήση της χρονοσειράς (Time series) του δείκτη Divisia.

Κεφάλαιο 5

Αποτελέσματα

5. Επιβατικά οχήματα

5.1.1 Γενικά στοιχεία

Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τιμές προσαρμογής της ετήσιας κατανάλωσης καυσίμου ανά κατηγορία οχημάτων όπως αυτές ελήφθησαν μετά από χρήση και επεξεργασία των δεδομένων του διαθέσιμου στόλου οχημάτων στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, στους Πίνακες 5.1. και 5.2, παρουσιάζονται οι ετήσιες καταναλώσεις καυσίμου του διαθέσιμου στόλου της Ελλάδος σε επιβατικά βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα οχήματα, αντίστοιχα.

Πίνακας 5-1. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου ανά κατηγορία βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων για την χρονική περίοδο 1990-2005

Κατανάλωση (l/100 km)*		Έτος						
Στόλος οχημάτων	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Σύνολο βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων	8.5	8.4	8.2	8.1	8.1	8.0	7.9	7.9
Βενζινοκίνητα < 1.4 l	8.2	8.1	7.9	7.8	7.8	7.7	7.6	7.5
Βενζινοκίνητα 1.4 – 2.0 l	9.8	9.4	9.0	8.9	8.9	8.9	8.8	8.8
Βενζινοκίνητα > 2.0 l	12.2	12.1	12.0	12.0	11.8	11.6	11.4	11.2
Στόλος οχημάτων	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Σύνολο βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων	7.8	7.8	7.7	7.7	7.6	7.7	7.7	7.7
Βενζινοκίνητα < 1.4 l	7.4	7.4	7.3	7.2	7.1	7.1	7.1	7.0
Βενζινοκίνητα 1.4 – 2.0 l	8.8	8.8	8.8	8.8	8.7	8.7	8.8	8.8
Βενζινοκίνητα > 2.0 l	11.1	11.1	11.0	10.9	10.9	10.8	10.8	10.8

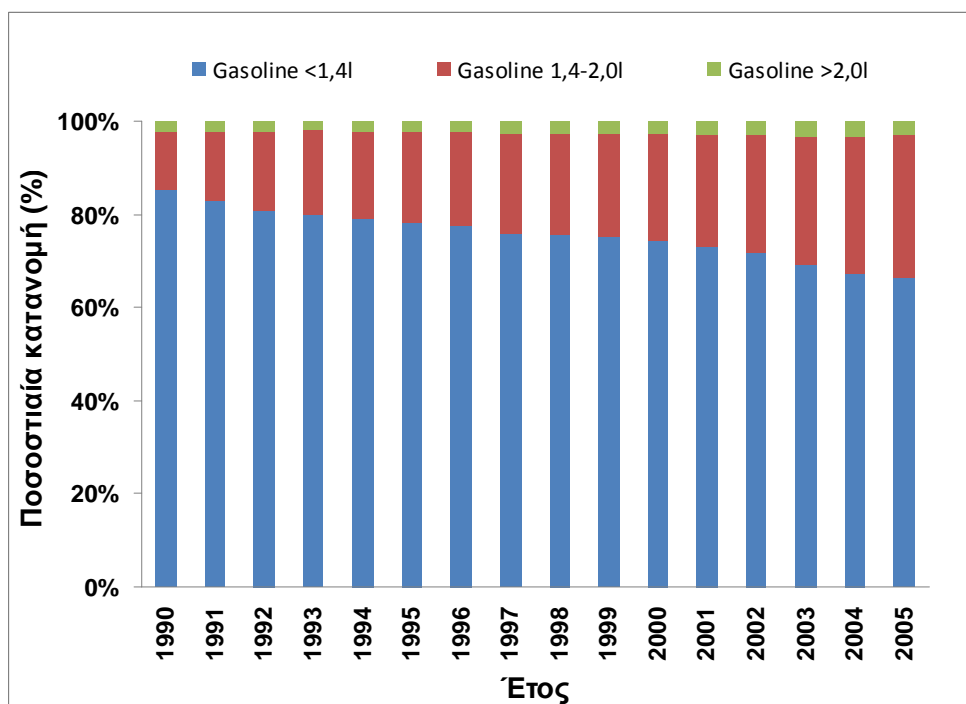
* οδήγηση εντός υφιστάμενου οδικού δικτύου

Πίνακας 5-2. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου ανά κατηγορία ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων για την χρονική περίοδο 1990-2005

Κατανάλωση (1/100 km)*		Έτος						
Στόλος οχημάτων	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Σύνολο ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	7.0	6.9
Ντιζελοκίνητα < 2.0 l	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	6.9	6.9	6.9
Ντιζελοκίνητα > 2.0 l	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.2	7.1	7.0
Στόλος οχημάτων	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Σύνολο ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων	6.8	6.8	6.7	6.7	6.6	6.6	6.5	6.5
Ντιζελοκίνητα < 2.0 l	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.7	6.7
Ντιζελοκίνητα > 2.0 l	6.8	6.7	6.6	6.6	6.5	6.5	6.4	6.4

* οδήγηση εντός υφιστάμενου οδικού δικτύου

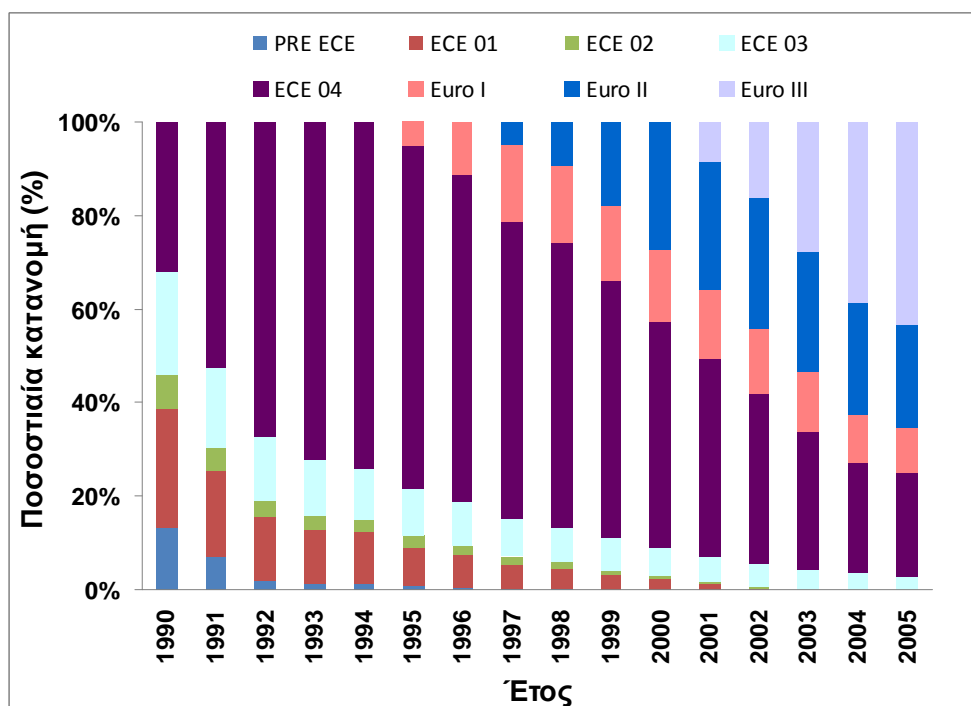
Για όλες τις επιμέρους κατηγορίες επιβατικών οχημάτων (βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων) παρατηρούνται ιδιαίτερα υψηλές τιμές κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τον αντίστοιχο μέσο όρο των 15 μελών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η προκύπτουσα έντονη ενεργειοβόρα κατάσταση οφείλεται ως επί το πλείστον στην παλαιότητα του στόλου των διαθέσιμων οχημάτων που χρησιμοποιούν το οδικό δίκτυο αλλά και στην ελλειπή διείσδυση νέας τεχνολογίας οχημάτων στην Ελληνική αγορά με σύγχρονες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης και αντίστοιχων εκπομπών ρύπων (EURO). Παρόλα αυτά παρατηρείται μια σαφή μείωση (~9.4%) της συνολικής κατανάλωσης καυσίμου από τα βενζινοκίνητα επιβατικά οχήματα στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 1990-2005, παρουσιάζοντας ωστόσο μικρότερο βαθμό μείωσης τα τελευταία 8 χρόνια.



Διάγραμμα 5.1. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή στόλου βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων ανά ιπποδύναμη μηχανής για την χρονική περίοδο 1990-2005

Το μεγαλύτερο μερίδιο στον διαθέσιμο στόλο των βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων φαίνεται να λαμβάνουν τα οχήματα μικρού κυβισμού (<1.4

1) (Διάγραμμα 5.1). Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση του αριθμού των βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων μεσαίας ιπποδύναμης (1.4-1.6 l) ενώ η αγορά παραμένει σχεδόν αμετάβλητη ως προς τα αντίστοιχα οχήματα μεγαλύτερου κυβισμού (>2.0 l). Χαρακτηριστικό παράδειγμα μείωσης του αριθμού παλαιάς τεχνολογίας βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων στην Ελλάδα αποτελεί ο αντίστοιχος στόλος μεσαίας διαθέσιμης ιπποδύναμης (1.4-1.6 l) (Διάγραμμα 5.2).



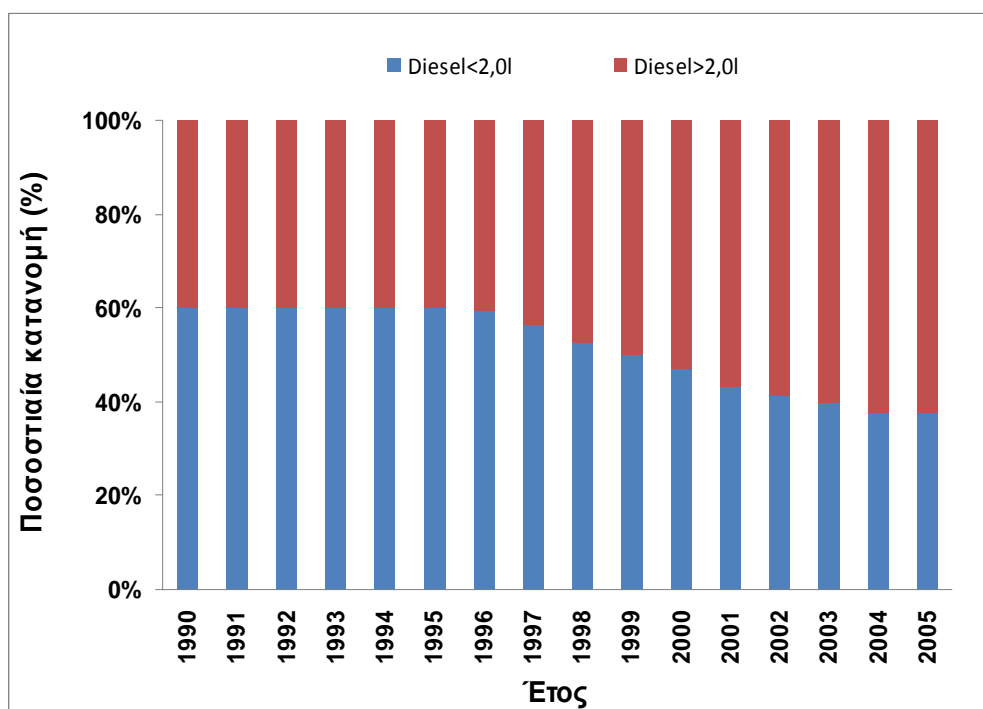
Διάγραμμα 5.2. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων μεσαίας ιπποδύναμης (1.4-1.6 l) για την χρονική περίοδο 1990-2005.

Είναι φανερό ότι μετά το 1990 παρατηρείται μείωση του στόλου των παλαιάς τεχνολογίας αυτοκινήτων (PRE ECE, ECE 01, ECE 02, ECE 03 και ECE 04) και ταυτόχρονα αύξηση της διείσδυσης αντίστοιχων οχημάτων νέας τεχνολογίας σύμφωνα με τις προδιαγραφές EURO (Euro I, Euro II, Euro III). Οι κυριότερες κατηγορίες βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων βάση των αντίστοιχων προδιαγραφών εκπομπών αέριων ρύπων που υιοθετούνται ανά περίπτωση παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3. Κατηγοριοποίηση βενζινοκίνητων επιβατικών οχημάτων
βάσει κοινοτικών προδιαγραφών εκπομπών ρύπων

Κατηγορία οχημάτων	Οδηγία ΕΕ
Βενζινοκίνητα επιβατικά οχήματα	
PRE ECE	-
ECE-01	70/220 – 74/290
ECE-02	77/102
ECE-03	78/665
ECE-04	83/351
Euro I	91/441
Euro II	94/12
Euro III	98/69

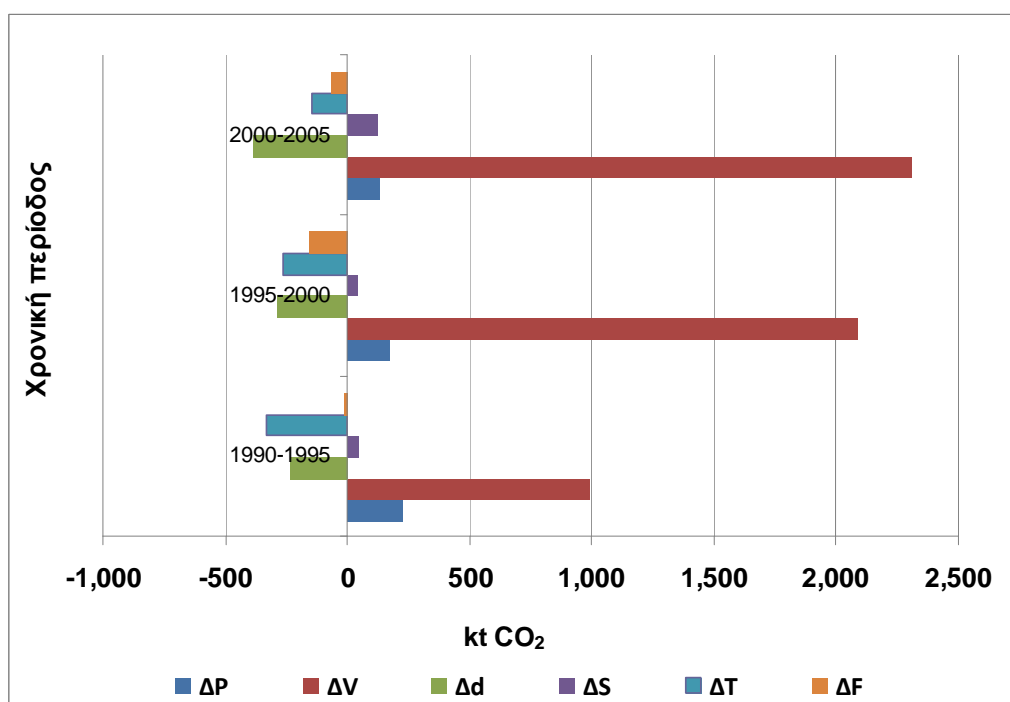
Αντίθετα, η κατανάλωση καυσίμου που παρατηρείται για την ίδια χρονική περίοδο λόγω της χρήσεως ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων φαίνεται να παρουσιάζει σημαντική μείωση (~8.6%) τα τελευταία 8 χρόνια, σε αντιδιαστολή με τον αντίστοιχο ρυθμό μείωσης (τάση) που παρατηρήθηκε την χρονική περίοδο 1990-1997. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην αύξηση του αριθμού των ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων νέας τεχνολογίας με ιπποδύναμη άνω των 2.0 l (κυρίως μετά το 1998) αλλά και στην εν γένει βελτίωση της ποιότητας του καυσίμου που είχε ως άμεση συνέπεια την δραστική μείωση της καταναλισκόμενης ποσότητάς του.



Διάγραμμα 5.3. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή στόλου ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων ανά ιπποδύναμη μηχανής για την χρονική περίοδο 1990-2005.

5.1.2 Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων (decomposition analysis)

Στο διάγραμμα 5.4 παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας με χρήση της μεθόδου των χρονολογικών σειρών (Time series) του δείκτη Divisia. Ειδικότερα παρουσιάζεται η μεταβολή της συνολικής ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από επιβατικά οχήματα (βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα) για τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους (ανά πενταετία) (1990-1995, 1995-2000 και 2000-2005) υπό την επίδραση 6 διαφορετικών προσδιοριστικών παραγόντων που εξετάστηκαν βάσει της μεθοδολογικής προσέγγισης (Timmermans et al., 2006).



Διάγραμμα 5.4. Επίδραση του πληθυσμού (DP), των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV), της απόστασης της ετήσιας διανυόμενης διαδρομής (Δd), του κυβισμού της μηχανής (ΔS), της τεχνολογίας (ΔT) και της έντασης του καυσίμου (ΔF) στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ από τα βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα επιβατικά οχήματα.

Από το παραπάνω διάγραμμα είναι φανερή η τάση αύξησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από τα επιβατικά οχήματα με την πάροδο του χρόνου. Χαρακτηριστικά, η μεταβολή της συνολικής ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (ΔCO₂) από επιβατικά οχήματα την πενταετία (2000-2005) αυξήθηκε σε απόλυτες τιμές κατά 185.7% από την πρώτη πενταετία (1990-1995).

Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου αποσύνθεσης ανά προσδιοριστικό παράγοντα σε ετήσια βάση. Το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει ότι ο συγκεκριμένος παράγοντας ευνοεί τη μείωση των εκπομπών (ΔCO₂) ενώ αντίστοιχα το θετικό πρόσημο προκαλεί την αύξηση τους. Η συμβολή του κάθε παράγοντα εκφράζεται σε απόλυτες τιμές ή σε ποσοστιαία βάση. Είναι προφανές ότι αρνητική συνολική επίδραση αντιστοιχεί σε μείωση των εκπομπών, ενώ όταν λαμβάνει θετικές τιμές, οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται αντιστοίχως.

Πίνακας 5-4. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων των ετήσιων μεταβολών εκπομπών CO₂ από χρήση επιβατικών οχημάτων για την χρονική περίοδο 1990-2005

Παράγοντας (kt CO ₂)	Έτος							
	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998
ΔP	34	59	48	45	41	41	38	36
ΔV	85	83	295	256	274	286	336	365
Δd	-46	-46	-47	-49	-50	-53	-55	-58
ΔS	16	12	5	10	6	6	13	3
ΔT	-102	-113	-44	-25	-50	-52	-42	-51
ΔF	13	10	-9	-5	-22	-22	-30	-28
Σύνολο εκπομπών (ΔCO₂)	1	6	248	232	201	206	261	266
Παράγοντας (kt CO ₂)	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	
ΔP	31	27	18	26	27	26	34	
ΔV	539	559	458	441	377	647	386	
Δd	-62	-66	-68	-73	-76	-81	-86	
ΔS	5	12	19	18	46	37	5	
ΔT	-54	-63	-37	-49	-34	-11	-12	
ΔF	-42	-36	-30	-37	-11	-3	9	
Σύνολο εκπομπών (ΔCO₂)	418	432	359	325	329	614	336	

Οι εκπομπές CO₂ που οφείλονται στην χρήση των επιβατικών οχημάτων, αυξήθηκαν περισσότερο από 1964 kt τη πενταετία 2000-2005. Στην μεταβολή αυτή συνέβαλε κατά κύριο λόγο έναντι των υπολοίπων παραγόντων, η κατοχή επιβατικών οχημάτων (ΔV) και για τις τρεις πενταετίες που εξετάστηκαν. Μάλιστα οι ιδιαίτερα υψηλές θετικές τιμές που λαμβάνει η ΔV υποδεικνύουν σαφή επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα στην αύξηση των εκπομπών CO₂. Είναι χαρακτηριστικό ότι η κατοχή επιβατικών οχημάτων στην Ελλάδα ανά 1000 κατοίκους αυξήθηκε σημαντικά την δεκαπενταετία 1990-2005 κατά 129%. Έτσι το 1990 αναλογούσαν μόλις 171 επιβατικά οχήματα ανά 1000 κατοίκους, ενώ το 2005 η συνολική ποσότητα τους αυξήθηκε σε 391 οχήματα.

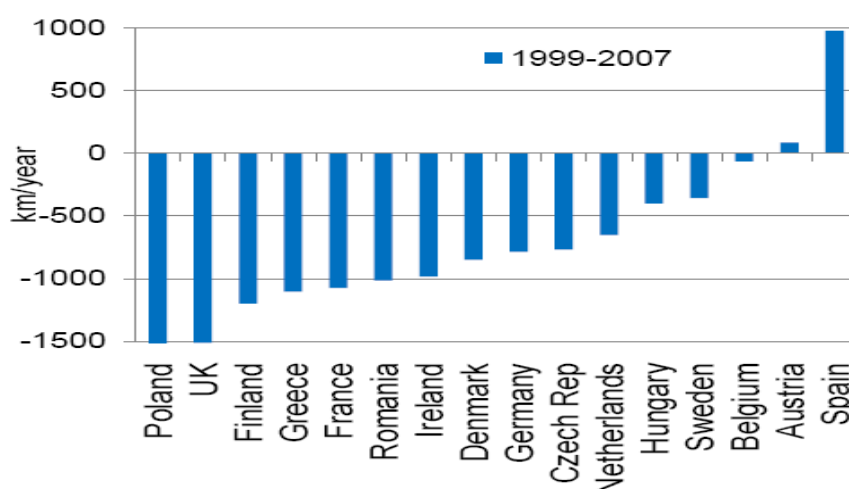
Η συμβολή των υπόλοιπων παραγόντων στις μεταβολές των εκπομπών CO₂, κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα παρουσιάζοντας τα εξής χαρακτηριστικά:

Θετική επίδραση στην αύξηση των αντίστοιχων μεταβολών των εκπομπών CO₂ παρουσίασαν ο κυβισμός των οχημάτων (ΔS), αλλά και ο πληθυσμός τους (ΔP). Ωστόσο οι τιμές της (ΔP) μειώθηκαν ελαφρώς την τελευταία πενταετία σε αντίθεση με την (ΔS) που αυξήθηκε. Και οι δύο αυτές μεταβολές οφείλονται εν μέρει στην βελτίωση του στόλου των επιβατικών οχημάτων που παρατηρήθηκε στην Ελλάδα, κυρίως τα τελευταία 10 χρόνια, μέσω της αύξησης των ταξινομήσεων οχημάτων νέας τεχνολογίας. Ωστόσο η ταξινόμηση του νέου στόλου πραγματοποιήθηκε από μεγαλύτερου κυβισμού οχήματα και επομένως μεγαλύτερης αθροιστικής κατανάλωσης. Επιπλέον, η ταξινόμηση νέων ντιζελοκίνητων οχημάτων (μετά το 2000) φαίνεται να μην επιδρά σημαντικά στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ καθώς ο στόλος τους αποτελεί μόνο το 17% του συνόλου των επιβατικών οχημάτων. Σημαντικός επίσης αρνητικός παράγοντας στην αύξηση των εκπομπών CO₂ την περίοδο 1990-2005 αποτελεί η μικρή ανανέωση του στόλου των επιβατικών οχημάτων παλαιάς τεχνολογίας σε αντίθεση με τις υπόλοιπες χώρες της Ε.Ε. Ο μέσος όρος ηλικίας του στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων έφθασε, στο τέλος του 2001, να είναι τα 11 χρόνια, έναντι του αντιστοίχου αριθμού, που για το σύνολο της ΕΕ είναι 7 χρόνια.

Ανασταλτική επίδραση στην αύξηση των εκπομπών CO₂ παρουσίασαν παράγοντες όπως η ένταση του καυσίμου (ΔF), η ετήσια διανυόμενη απόσταση

(Δd) και το επίπεδο της τεχνολογίας των οχημάτων (DT). Η μεγαλύτερη επίδραση της έντασης του καυσίμου στις μεταβολές των εκπομπών CO₂ παρατηρείται κατά την πενταετία 1995-2000, ακριβώς αμέσως μετά την τετραετία 1989-1993 όπου πραγματοποιήθηκε η πρώτη ταξινόμηση καταλυτικών επιβατικών οχημάτων στην Ελλάδα (συνολικά 600.000). Επιπλέον, στην αυξημένη επίδραση του καυσίμου τα τελευταία χρόνια συνέβαλλε σημαντικά η βελτίωση της ποιότητας του αλλά και της ποσότητας των περιεχόμενων ρύπων κυρίως μετά την πενταετία 1990-1995 όπου θεσπίστηκαν και υιοθετήθηκαν νέες οδηγίες/προδιαγραφές τόσο σε εθνικό (ΚΥΑ 784/1994) όσο και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο (Ε.Ε. 94/63/20.12.1994).

Η επίδραση της ετήσιας διανυόμενης απόστασης αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα μείωσης των εκπομπών CO₂ για την χρονική περίοδο 1990-2005. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία, η επίδραση αυτή οφείλεται κυρίως στην μείωση της ετήσιας διανυόμενης απόστασης από τα επιβατικά οχήματα. Στο διάγραμμα 4.5 παρουσιάζεται η συνολική μείωση της ετήσιας διανυόμενης απόστασης που παρατηρήθηκε στις χώρες Ε.Ε για την χρονική περίοδο 1999-2007 (Odyssee, 2007). Η μείωση αυτή στην Ελλάδα, όσο αφορά τα επιβατικά οχήματα, προσεγγίζει την διανυόμενη απόσταση των 1100 km ανά έτος. Το μεγαλύτερο μερίδιο ετήσιων διανυόμενων αποστάσεων από την κίνηση οχημάτων στην Ελλάδα καταλαμβάνει ο εμπορικός στόλος κυρίως των ντιζελοκίνητων οχημάτων έναντι των επιβατικών οχημάτων.



Διάγραμμα 5.5. Μεταβολή ετήσιας διανυόμενης απόστασης από επιβατικά οχήματα για την χρονική περίοδο 1999-2007 (Odyssee, 2007).

Έτσι, αν και στην Ελλάδα, η απαγόρευση χρήσης πετρελαίου εφαρμόζεται σε μεγάλες αστικές περιοχές όπως είναι η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, και η οποία δεν αφορά μόνο στην κίνηση αλλά και στην ταξινόμηση ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων, παρόλα αυτά η τελική μείωση της ετήσιας διανυόμενης απόστασης από τα ντιζελοκίνητα επιβατικά οχήματα είναι σχεδόν ελάχιστη καθώς από το νομοθετικό πλαίσιο εξαιρούνται τα ταξί, τα λεωφορεία, τα στρατιωτικά οχήματα και τα βαρέα φορτηγά. Στο σύνολο τους, η ετήσια διανυόμενη απόσταση από τα ντιζελοκίνητα ταξί εκτιμάται 89259 km σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή των συμβατικών (12365 km) και καταλυτικών (14141 km) επιβατικών οχημάτων, αντίστοιχα (ΥΠΕΚΑ, 2001), με αποτέλεσμα τα οφέλη από την απαγόρευση της ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων στις αστικές περιοχές να καθίστανται πρακτικά αμελητέα ως προς την κατανάλωση καυσίμου και επομένως στις εκπομπές του CO₂.

5.2.Ελαφρά φορτηγά (Light duty trucks)

5.2.1 Γενικά στοιχεία

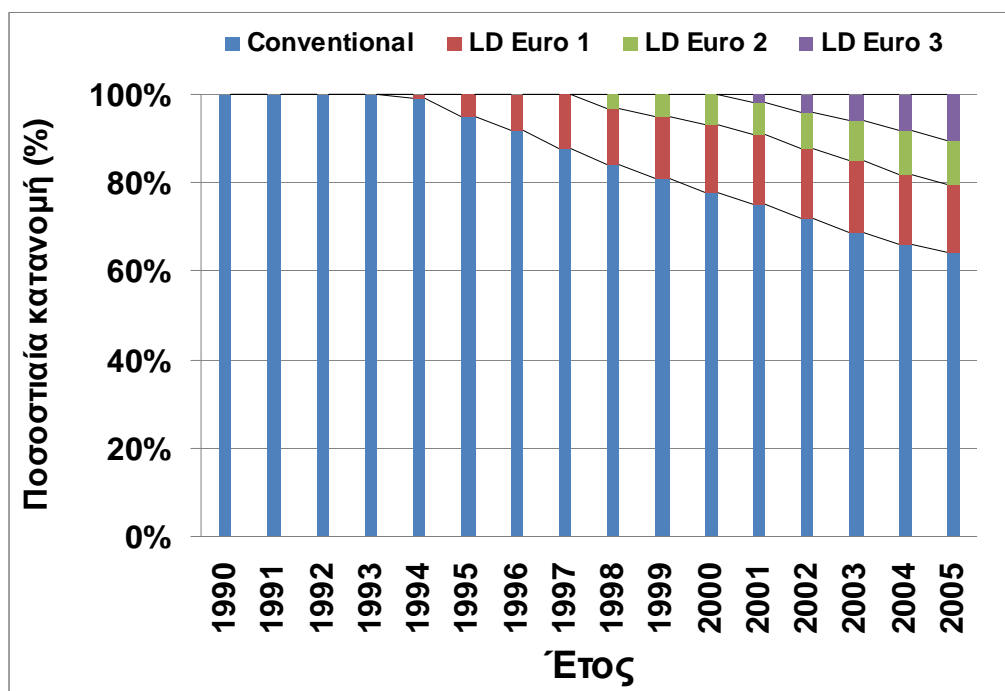
Στον Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται οι ετήσιες καταναλώσεις καυσίμου του διαθέσιμου στόλου της Ελλάδος σε βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα ελαφρά φορτηγά, όπως αυτές ελήφθησαν μετά από χρήση και επεξεργασία των δεδομένων της βάσης του υπολογιστικού μοντέλου COPERT IV.

Πίνακας 5-5. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών (<3.5 t) για την χρονική περίοδο 1990-2005

Κατανάλωση (1/100 km)*		Έτος						
Στόλος οχημάτων	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Σύνολο βενζινοκίνητων ελαφρών φορτηγών	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	8.9	9.0	9.1
Σύνολο ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών	9.4	9.4	9.4	9.4	9.3	9.3	9.2	9.2
Στόλος οχημάτων	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Σύνολο βενζινοκίνητων ελαφρών φορτηγών	9.1	9.2	9.2	9.3	9.3	9.4	9.4	9.4
Σύνολο ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών	9.1	9.1	9.0	9.0	8.9	8.9	8.8	8.8

* οδήγηση εντός υφιστάμενου οδικού δικτύου

Για το σύνολο του στόλου των βενζινοκίνητων ελαφρών φορτηγών παρατηρείται σταδιακή αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου για την χρονική περίοδο 1990-2005. Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στην περιορισμένη ενίσχυση του υφιστάμενου συμβατικού στόλου των ελαφρών φορτηγών στην Ελλάδα με ταξινομήσεις νέας τεχνολογίας οχημάτων με σύγχρονες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης και περιορισμένων εκπομπών ρύπων (EURO) (Διάγραμμα 5.6). Είναι χαρακτηριστικό ότι μόλις το 38% του συνόλου των βενζινοκίνητων ελαφρών φορτηγών αποτελείται από οχήματα νέας τεχνολογίας (EURO) το 2005, ενώ ο αντίστοιχος μέσος όρος στην Ε.Ε-17 είναι σχεδόν 90%.



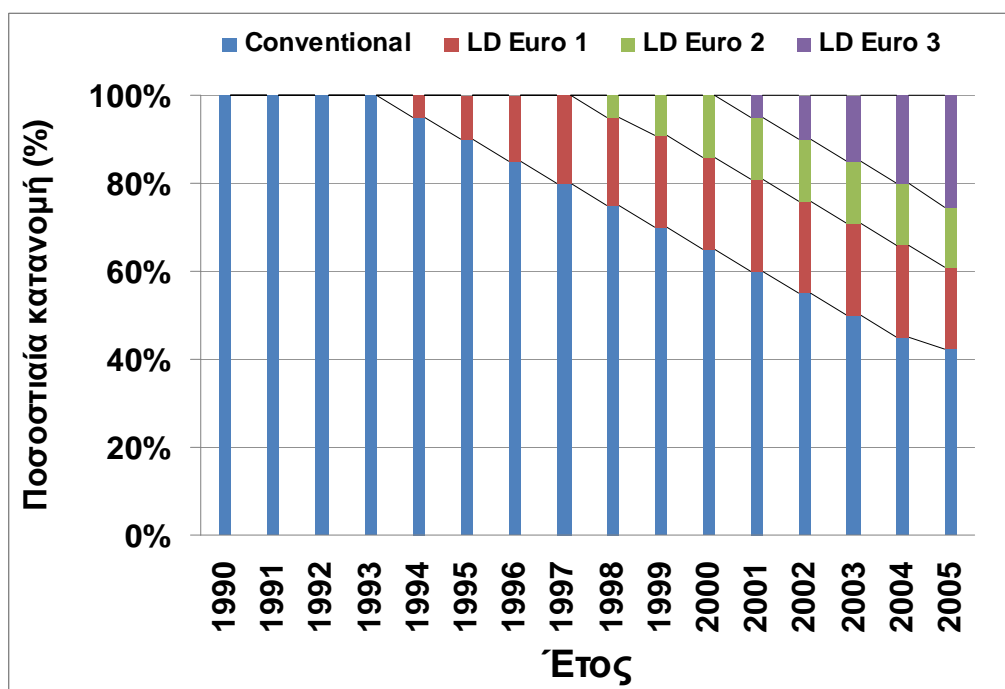
Διάγραμμα 5.6. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή βενζινοκίνητων ελαφρών φορτηγών για την χρονική περίοδο 1990-2005.

Οι κυριότερες κατηγορίες βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών βάσει των αντίστοιχων προδιαγραφών εκπομπών ρύπων που υιοθετούνται ανά περίπτωση παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.6.

Πίνακας 5.6. Κατηγοριοποίηση βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών βάσει κοινοτικών προδιαγραφών εκπομπών ρύπων

Κατηγορία οχημάτων	Οδηγία ΕΕ
Ελαφρά φορτηγά (<3.5 t)	
Συμβατικά	-
LD Euro 1	93/59
LD Euro 2	96/69
LD Euro 3	98/69 Stage 2000

Αντίθετα, για την ίδια χρονική περίοδο παρατηρείται ελαφρά μείωση της κατανάλωσης καυσίμου για το σύνολο του στόλου των ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών (Διάγραμμα 5.7). Η προκύπτουσα μείωση αποτελεί προϊόν ανανέωσης του υφιστάμενου στόλου των κυκλοφορούντων ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών.

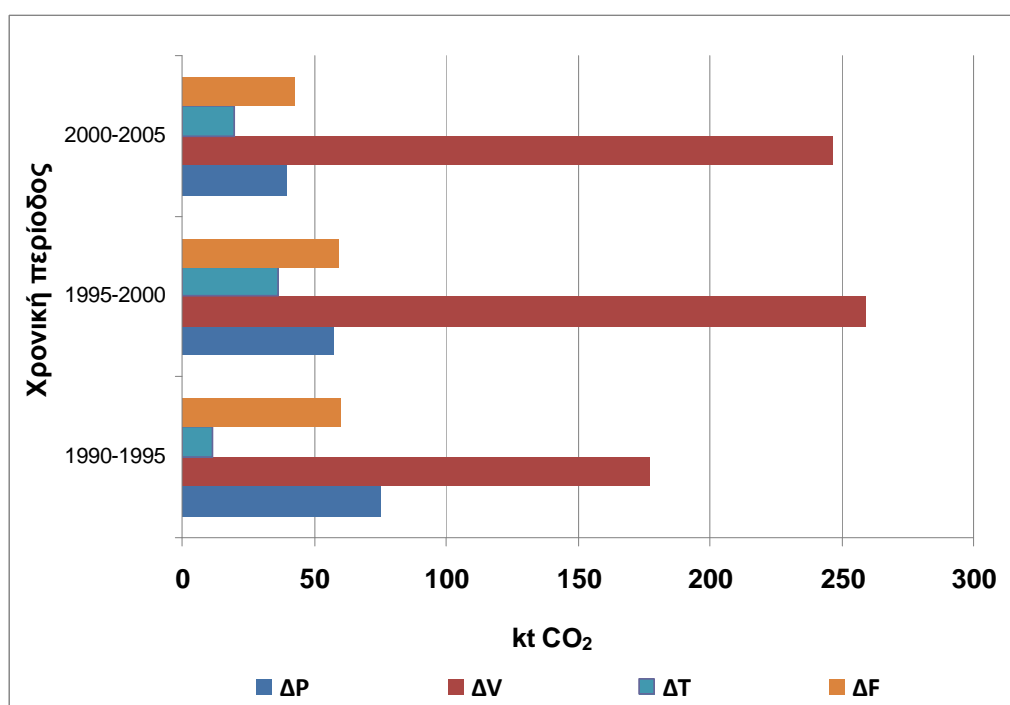


Διάγραμμα 5.7. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή ντιζελοκίνητων ελαφρών φορτηγών για την χρονική περίοδο 1990-2005.

Σε αυτή την περίπτωση, η διείσδυση νέας τεχνολογίας οχημάτων προδιαγραφών Euro, είναι σαφώς μεγαλύτερη έναντι των βενζινοκίνητων ελαφρών φορτηγών και προσεγγίζει το 60% του αντίστοιχου συνόλου για το έτος 2005. Μετά το 2000, ιδιαίτερα σημαντική είναι η αύξηση των ταξινομήσεων ντιζελοκίνητων οχημάτων προδιαγραφών Euro 3 στον στόλο των ελαφρών φορτηγών στην Ελλάδα, με αποτέλεσμα το μερίδιο τους στην αγορά να καταλαμβάνει το 25% στο τέλος του 2005.

5.2.2.Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων (decomposition analysis)

Στο διάγραμμα 5.8 απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας με χρήση της μεθόδου των χρονολογικών σειρών (Time series) του δείκτη Divisia. Ειδικότερα παρουσιάζεται η μεταβολή της συνολικής ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από ελαφρά φορτηγά για τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους (ανά πενταετία) (1990-1995, 1995-2000 και 2000-2005) υπό την επίδραση 4 διαφορετικών προσδιοριστικών παραγόντων.



Διάγραμμα 5.8. Επίδραση του πληθυσμού (DP), των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV), της τεχνολογίας (ΔT) και της έντασης του καυσίμου (ΔF) στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ από ελαφρά φορτηγά.

Στον Πίνακα 5.7 παρουσιάζονται σε ετήσια βάση τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου αποσύνθεσης στις εκπομπές CO₂ από το σύνολο του στόλου των ελαφρών φορτηγών υπό την επίδραση των προσδιοριστικών παραγόντων που εξετάστηκαν.

Την πρώτη πενταετία (1990-1995), οι εκπομπές CO₂ παρουσίασαν συνολική αύξηση 324 kt, η οποία αποδίδεται κυρίως (κατά 55% επί του συνόλου) στον αυξημένο αριθμό ιδιοκτησίας οχημάτων ανά 1000 κατοίκους. Η μεταβολή της έντασης του καυσίμου όπως και ο πληθυσμός επιδρούν στην συνολική αύξηση των εκπομπών του CO₂ από ελαφρά φορτηγά κατά 19% και 23%, αντίστοιχα. Στην ίδια χρονική περίοδο, η μεταβολή της τεχνολογικής εξέλιξης των ελαφρών φορτηγών περιορίζεται σε ποσοστό μόλις 4% της συνολικής ποσότητας των εκπομπών του CO₂.

Την επόμενη περίοδο (1995-2000), οι εκπομπές CO₂ από ελαφρά φορτηγά παρουσίασαν συνολική θετική μεταβολή 413 kt, δηλαδή αυξήθηκαν κατά 27.5% σε σχέση με την αντίστοιχη μεταβολή της πρώτης πενταετίας. Η μεταβολή αυτή οφείλεται κυρίως (κατά 63% επί του συνόλου) στην αύξηση του στόλου των ελαφρών φορτηγών στην Ελλάδα. Οι υπόλοιποι παράγοντες που ευνόησαν την αύξηση των εκπομπών CO₂ ήταν ο πληθυσμός και το είδος του καυσίμου αν και οι απόλυτες επιδράσεις τους δεν μεταβλήθηκαν σημαντικά σε σχέση με την προηγούμενη πενταετία. Τέλος, χαρακτηριστική είναι η αύξηση της επίδρασης της τεχνολογικής εξέλιξης (ΔT) στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ από ελαφρά φορτηγά λόγω της μη ανανέωσης του στόλου.

Πίνακας 5-7. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων των ετήσιων μεταβολών εκπομπών CO₂ από χρήση ελαφρών φορτηγών για την χρονική περίοδο 1990-2005

Έτος								
Παράγοντας (kt CO ₂)	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998
ΔΡ	11	20	16	15	14	14	13	12
ΔV	41	-10	41	32	73	35	64	36
ΔΤ	0	0	0	2	9	6	9	10
ΔF	9	16	9	7	18	5	11	10
Σύνολο εκπομπών (ΔCO₂)	61	27	66	56	114	60	97	69
Παράγοντας (kt CO ₂)	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	
ΔΡ	10	9	6	8	8	8	10	
ΔV	66	58	45	30	28	107	37	
ΔΤ	6	5	6	4	4	4	1	
ΔF	18	15	11	10	10	10	2	
Σύνολο εκπομπών (ΔCO₂)	100	87	68	52	50	128	50	

Για το σύνολο της περιόδου (2000-2005), οι εκπομπές CO₂ από βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα ελαφρά φορτηγά παρουσίασαν συνολική θετική μεταβολή 349 kt, δηλαδή αυξήθηκαν κατά 24.9% σε σχέση με την αντίστοιχη μεταβολή της πρώτης πενταετίας. Παρόλα αυτά, η συνολική ποσότητα των εκπομπών CO₂ παρουσίασε μείωση κατά 15.5 % σε σχέση με την προηγούμενη πενταετία. Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στην διείσδυση νέας τεχνολογίας οχημάτων και προδιαγραφών ρύπων Euro μετά το 2000 (βλέπε διαγράμματα 5.6 και 5.7)

Οι επιδράσεις των 4 προσδιοριστικών παραγόντων που εξετάστηκαν την περίοδο 2000-2005 παρουσίασαν θετικές τιμές. Ωστόσο το επίπεδο των τιμών αυτών παρουσίασε μείωση κατά 2-3 % όσο αφορά τις επιδράσεις του πληθυσμού (DP), της τεχνολογίας (ΔT) και του καυσίμου (ΔF). Το αντίστοιχο μερίδιο της επίδρασης των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV) αυξήθηκε κατά 9% για την ίδια χρονική περίοδο, αν και σε απόλυτες τιμές μειώθηκε σημαντικά.

5.3. Βαρέα φορτηγά (Heavy duty trucks)

5.3.1. Γενικά στοιχεία

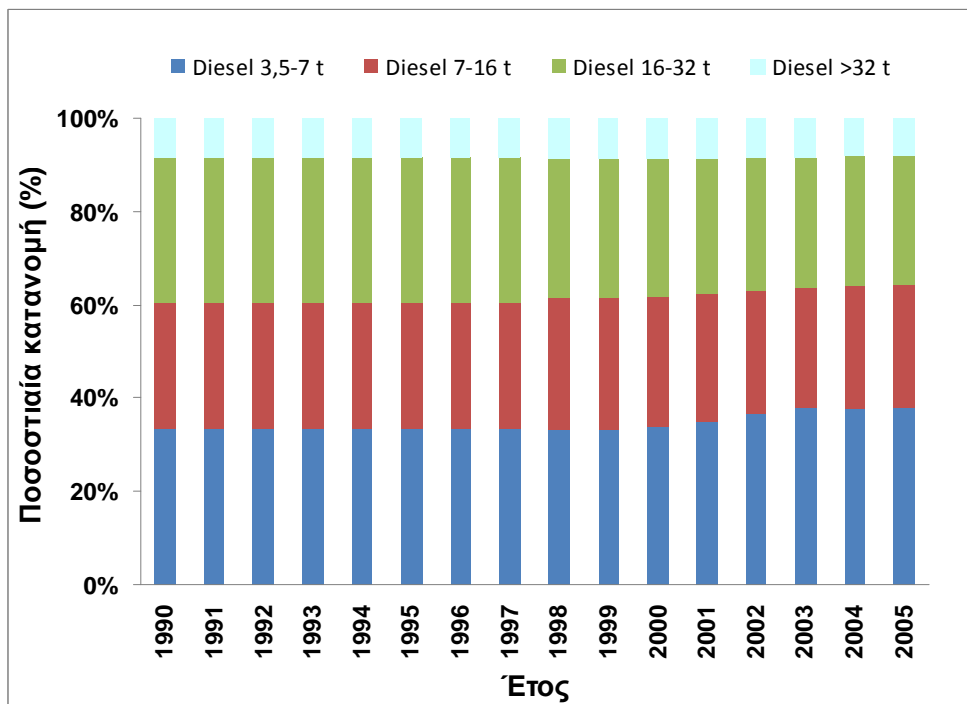
Στον Πίνακα 5.8 παρουσιάζονται οι ετήσιες καταναλώσεις καυσίμου του διαθέσιμου στόλου της Ελλάδος σε ντιζελοκίνητα βαρέα φορτηγά (>3.5 t) ανά κατηγορία ωφέλιμου μικτού βάρους, όπως αυτές ελήφθησαν μετά από χρήση και επεξεργασία των δεδομένων της βάσης του υπολογιστικού μοντέλου COPERT IV. Οι αντίστοιχες τιμές κατανάλωσης καυσίμου από βενζινοκίνητα κυμάνθηκαν σε σταθερά επίπεδα (23 l /100km) καθ'όλη την χρονική περίοδο 1990-2005. Από τον Πίνακα 5.8, όπως ήταν αναμενόμενο, παρατηρείται σταδιακή αύξηση της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με το ωφέλιμο μικτό βάρος. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές κατανάλωσης καυσίμου, και για τις δύο κύριες κατηγορίες βαρέων φορτηγών, παρέμειναν στα ίδια επίπεδα (~23 l /100km).

Πίνακας 5-8. Μέση ετήσια κατανάλωση καυσίμου ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών (>3.5 t) ανά κατηγορία ωφέλιμου μικτού βάρους για την χρονική περίοδο 1990-2005.

Κατανάλωση (1/100 km)*		Έτος						
Στόλος οχημάτων	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Diesel 3,5 - 7 t	14	14	14	14	14	14	14	14
Diesel 7-16t	21	21	21	21	21	21	21	21
Diesel 16-32t	30	30	30	30	30	30	30	30
Diesel>32t	38	38	38	38	38	38	38	38
Σύνολο ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών	23	23	23	23	23	23	23	23
Στόλος οχημάτων	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Diesel 3,5 - 7 t	14	14	14	14	14	14	14	14
Diesel 7-16t	21	21	21	21	21	20	20	20
Diesel 16-32t	29	29	29	29	29	29	29	29
Diesel>32t	38	38	38	38	37	37	37	37
Σύνολο ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών	23	22	22	22	22	22	22	21

* οδήγηση εντός υφιστάμενου οδικού δικτύου

Το μεγαλύτερο μερίδιο στον διαθέσιμο στόλο των βαρέων φορτηγών καταλαμβάνουν τα ντιζελοκίνητα οχήματα (~96%). Στο Διάγραμμα 5.9 παρουσιάζεται η ποσοστιαία ετήσια κατανομή του στόλου των ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών ανά χωρητικότητα μικτού ωφέλιμου βάρους, για την χρονική περίοδο 1990-2005



Διάγραμμα 5.9. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή του στόλου των ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών ανά χωρητικότητα μικτού ωφέλιμου βάρους, για την χρονική περίοδο 1990-2005

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σταδιακή αύξηση των ταξινομήσεων ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών μικρού ωφέλιμου βάρους ενώ ο αριθμός των οχημάτων (> 32 t) παραμένει πρακτικά αμετάβλητος με την πάροδο του χρόνου. Η μεταβολή αυτή έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την μείωση κατανάλωσης καυσίμου την τελευταία δεκαετία και επομένως των αντίστοιχων εκπομπών διοξειδίου άνθρακα. Σύμφωνα με τους Sullivan et al. 2004, οι εκπομπές CO₂ λόγω κατανάλωσης καυσίμου παρουσιάζουν γραμμική σχέση σε σχέση με το βάρος του οχήματος. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων επιβατικών οχημάτων οι συνολικές εκπομπές CO₂ προκύπτουν

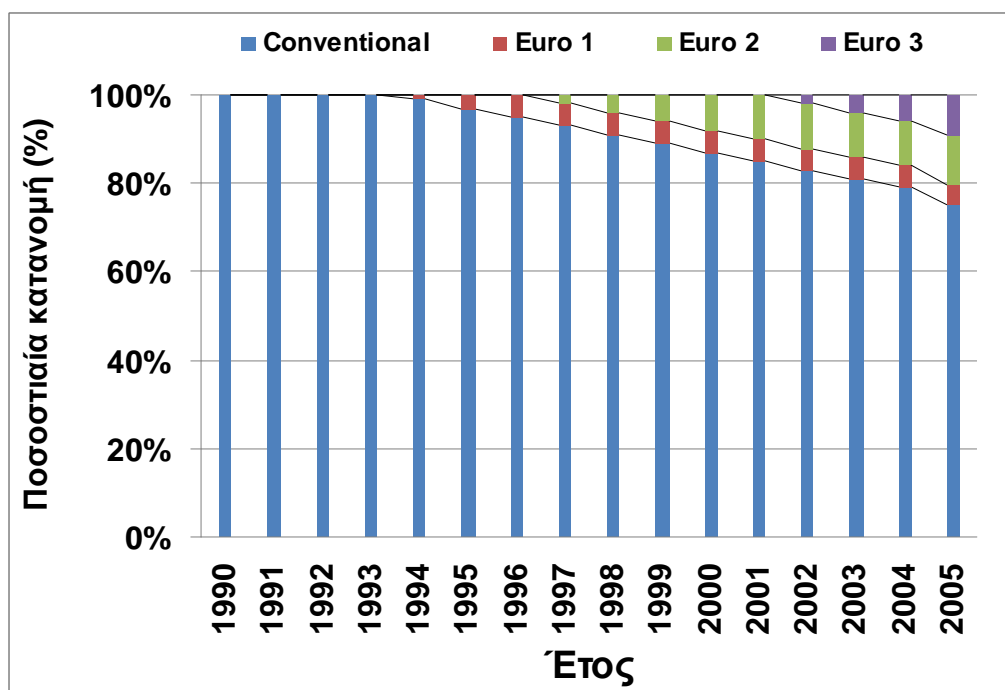
από τις σχέσεις $CO_2 = 0.1479 \times \text{Βάρος} - 7.9$ και $CO_2 = 0.1133 \times \text{Βάρος} - 8.2$, αντίστοιχα.

Σημαντικός παράγοντας της αμετάβλητης κατανάλωσης καυσίμου τόσο από τα βενζινοκίνητα όσο και από τα ντιζελοκίνητα βαρέα φορτηγά αποτελεί η περιορισμένη ενίσχυση του υφιστάμενου συμβατικού στόλου των βαρέων φορτηγών στην Ελλάδα με ταξινομήσεις νέας τεχνολογίας οχημάτων με σύγχρονες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης και περιορισμένων εκπομπών ρύπων (Euro) (Πίνακας 5.9).

Πίνακας 5.9. Κατηγοριοποίηση βενζινοκίνητων και ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών βάσει κοινοτικών προδιαγραφών εκπομπών ρύπων

Κατηγορία οχημάτων	Οδηγία ΕΕ
Βαρέα φορτηγά (<3.5 t)	
Συμβατικά	-
Euro 1	91/542 Stage I
Euro 2	91/542 Stage II
Euro 3	99/96 Stage 2000

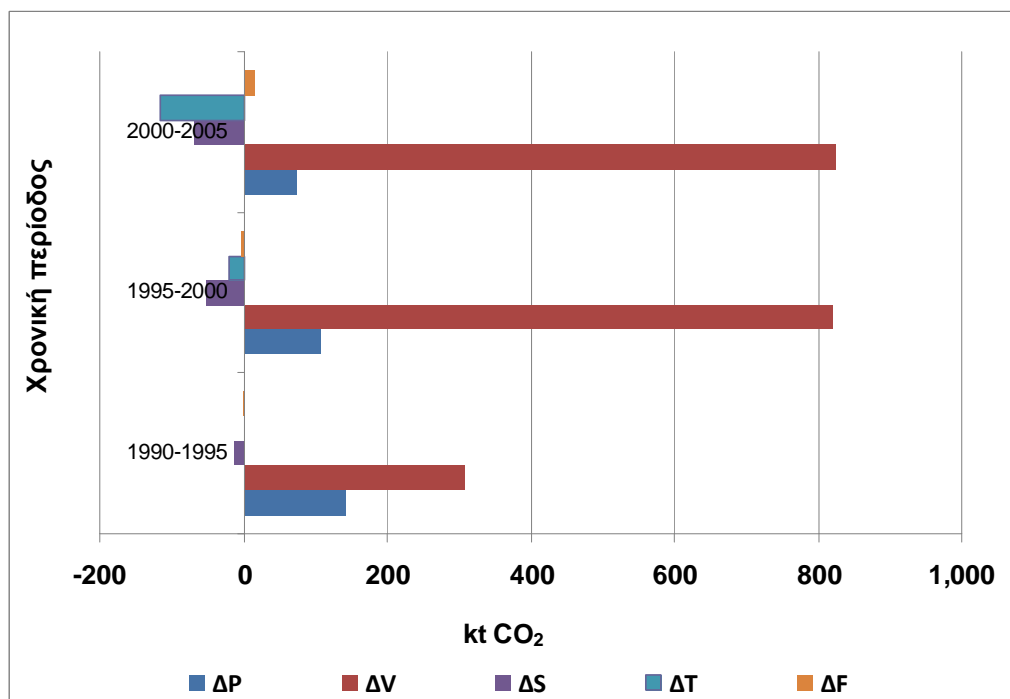
Χαρακτηριστικό παράδειγμα μεταβολής του αριθμού παλαιάς τεχνολογίας ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών στην Ελλάδα αποτελεί ο αντίστοιχος στόλος μικρού ωφέλιμου μικτού βάρους (3.5-7 t) (Διάγραμμα 5.10). Είναι χαρακτηριστικό ότι μόλις το 25% του συνόλου των βενζινοκίνητων ελαφρών φορτηγών αποτελείται από οχήματα νέας τεχνολογίας (Euro) το 2005, ενώ ο αντίστοιχος μέσος όρος στην Ε.Ε-17 είναι 65% για το ίδιο έτος. Μετά το 2001, ιδιαίτερα σημαντική είναι η αύξηση των ταξινομήσεων ντιζελοκίνητων οχημάτων προδιαγραφών Euro 3 στον στόλο των βαρέων φορτηγών στην Ελλάδα, με αποτέλεσμα το μερίδιο τους στην αγορά να καταλαμβάνει το 9% στο τέλος του 2005.



Διάγραμμα 5.10. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή ντιζελοκίνητων βαρέων φορτηγών μικρού ωφέλιμου μιστού βάρους (3.5-7 t) για την χρονική περίοδο 1990-2005.

5.3.2. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων (decomposition analysis)

Στο διάγραμμα 5.11 απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων με χρήση της μεθόδου των χρονολογικών σειρών (Time series) του δείκτη Divisia. Αναλυτικότερα, παρουσιάζεται η μεταβολή της συνολικής ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από βαρέα φορτηγά (>3.5 t) για τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους (ανά πενταετία) (1990-1995, 1995-2000 και 2000-2005) υπό την επίδραση 5 διαφορετικών προσδιοριστικών παραγόντων.



Διάγραμμα 5.11. Επίδραση του πληθυσμού (ΔP), των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV), του κυβισμού της μηχανής (ΔS), της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων (ΔT) και της έντασης του καυσίμου (ΔF) στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ από βαρέα φορτηγά.

Στον Πίνακα 5.10 παρουσιάζονται σε ετήσια βάση τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου αποσύνθεσης στις εκπομπές CO₂ από το σύνολο του στόλου των βαρέων φορτηγών υπό την επίδραση των 5 προσδιοριστικών παραγόντων που εξετάστηκαν.

Κατά την πρώτη πενταετία (1990-1995) σημειώθηκε συνολική αύξηση των εκπομπών CO₂ κατά 438 kt, στην οποία συνέβαλε κυρίως ο αυξημένος αριθμός ιδιοκτησίας οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ήτοι 70% επί του συνόλου). Επικουρικό ρόλο στην αύξηση αυτή έδρασε επίσης η αύξηση του πληθυσμού κατά 32% (142 kt σε απόλυτες τιμές CO₂). Για ίδια χρονική περίοδο, οι επιδράσεις των υπόλοιπων προσδιοριστικών παραγόντων παρουσίασαν ελαφρώς αρνητικές τιμές, όπως ο κυβισμός της μηχανής (ΔS) ή είχαν αμελητέα επίπτωση στο συνολικό ύψος των εκπομπών του CO₂ από βαρέα φορτηγά, όπως η τεχνολογική εξέλιξη των οχημάτων (ΔT) και η ένταση του καυσίμου (ΔF).

Κατά την διάρκεια της περιόδου (1995-2000), οι εκπομπές CO₂ του κλάδου των βαρέων φορτηγών παρουσίασαν αυξημένη θετική μεταβολή 850 kt, δηλαδή αυξήθηκαν σε ποσοστό 27.5% σε σχέση με την αντίστοιχη μεταβολή της πρώτης πενταετίας. Η αύξηση αυτή οφείλεται επί το πλείστον (κατά 96% επί του συνόλου) στην αύξηση της ιδιοκτησίας του βαρέων φορτηγών στην Ελλάδα χωρίς όμως να προκύπτει αντίστοιχη ανανέωση του στόλου με νέας τεχνολογίας οχημάτων για την ίδια περίοδο (βλέπε διαγράμματα). Έτσι η επίδραση της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων (ΔΤ) σε απόλυτες τιμές βοήθησε στην μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 19 kt.

Πίνακας 5-10. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων των ετήσιων μεταβολών εκπομπών CO₂ από χρήση βαρέων φορτηγών (> 3.5 t) για την χρονική περίοδο 1990-2005

Παράγοντας (kt CO ₂)	Έτος							
	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998
ΔΡ	21	37	30	28	26	25	23	22
ΔV	80	-17	75	59	110	89	116	337
ΔS	0	0	0	-3	-8	-8	-10	-11
ΔT	1	1	0	0	0	0	2	-7
ΔF	-1	0	1	0	0	-1	0	-2
Σύνολο εκπομπών (ΔCO₂)	101	21	106	83	127	105	131	339
Παράγοντας (kt CO ₂)	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	
ΔΡ	20	16	11	15	16	15	19	
ΔV	133	147	178	175	166	218	87	
ΔS	-12	-12	-12	-10	-12	-11	-24	
ΔT	0	-13	-28	-33	-34	-5	-14	
ΔF	-1	-1	0	1	0	-1	15	
Σύνολο εκπομπών (ΔCO₂)	139	136	148	148	135	216	82	

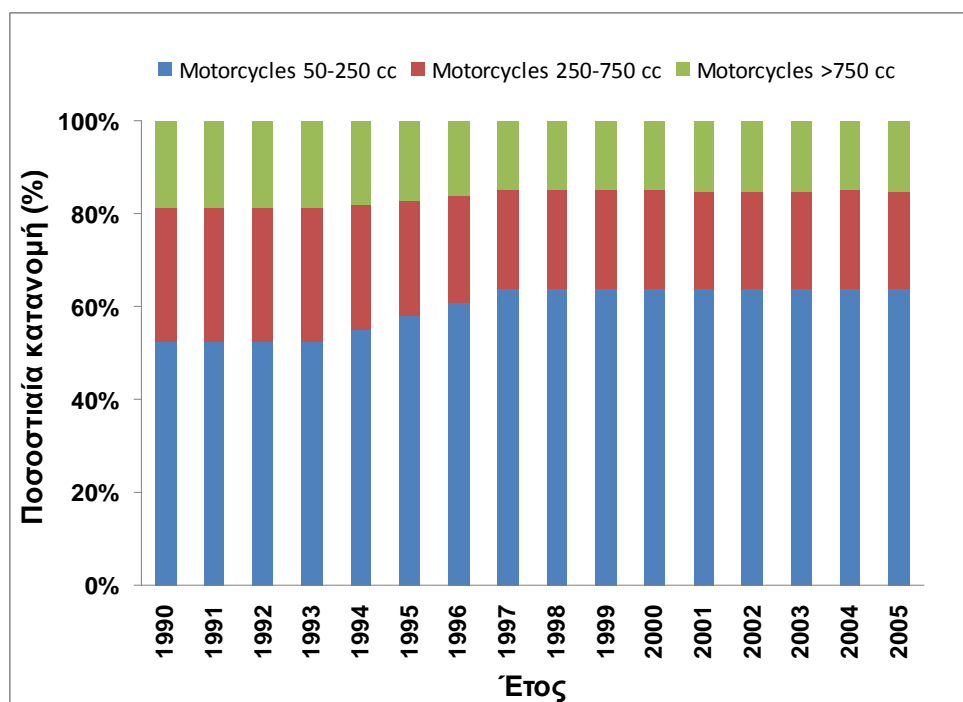
Η αύξηση των εκπομπών CO₂ από βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα βαρέα φορτηγά, την περίοδο 1995-2000, ενισχύθηκε από την επίδραση του πληθυσμού (ΔΡ). Ωστόσο, οι επιδράσεις αυτές αντισταθμίστηκαν σε κάποιο βαθμό από τις αρνητικές τιμές που παρουσίασαν οι εντάσεις του κυβισμού της μηχανής (ΔS), της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων (ΔT) και έντασης του καυσίμου (ΔF) των οχημάτων. Σε αυτές συνέβαλαν οι αλλαγές που επήλθαν στον κυκλοφορούντα στόλο των βαρέων φορτηγών την πενταετία 1995-2000 και οι οποίες περιελάμβαναν την ανανέωση του στόλου με νέες ταξινομήσεις οχημάτων προδιαγραφών (Euro 1 και 2) (βλέπε διάγραμμα 5.10), βελτίωση της ποιότητας του καυσίμου και μείωση της ετήσιας κατανάλωσης του.

Για το σύνολο της περιόδου (2000-2005), οι εκπομπές CO₂ από βενζινοκίνητα και ντιζελοκίνητα βαρέα φορτηγά παρουσίασαν συνολική θετική μεταβολή 729 kt, δηλαδή αυξήθηκαν κατά 66.4% σε σχέση με την αντίστοιχη μεταβολή της πρώτης πενταετίας. Παρόλα αυτά, η συνολική ποσότητα των εκπομπών CO₂ παρουσίασε μείωση κατά 14.2 % σε σχέση με την προηγούμενη πενταετία. Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στην διείσδυση νέας τεχνολογίας οχημάτων και προδιαγραφών ρύπων Euro 3, μετά το 2000, με μικρότερο διαθέσιμο κυβισμό μηχανών (βλέπε διάγραμμα 5.10). Οι επιδράσεις των υπόλοιπων 4 προσδιοριστικών παραγόντων που εξετάστηκαν την περίοδο 2000-2005 παρουσίασαν ανάλογες τάσεις με αυτές που επέδειξαν την προηγούμενη πενταετία. Ωστόσο το επίπεδο των τιμών αυτών παρουσίασε αυξο/μείωση κατά 3-5 % όσο αφορά τις επιδράσεις του πληθυσμού (DP) και του κυβισμού της μηχανής (ΔS). Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η ένταση του καυσίμου (ΔF) μετέβαλε την τάση της προς την αντίθετη κατεύθυνση σε σχέση με την προηγούμενη πενταετία, υποδεικνύοντας σαφή αύξηση των εκπομπών CO₂, για την περίοδο 2000-2005.

5.4. Δίκυκλα οχήματα (Mopeds and Motorcycles)

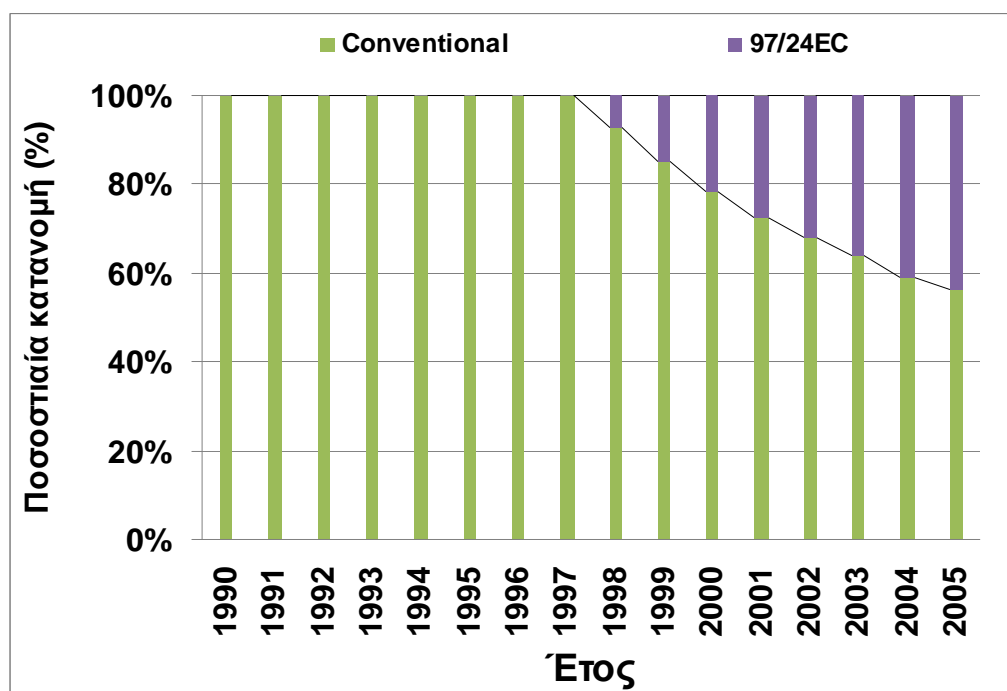
5.4.1. Γενικά στοιχεία

Οι εξεταζόμενες κατηγορίες δίκυκλων βενζινοκίνητων οχημάτων περιλαμβάνουν: μοτοποδήλατα/(mopeds), ήτοι δίκυκλα με κυβισμό μικρότερο των 50 cc και μοτοσικλέτες/(motorcycles), δηλαδή δίκυκλα με κυβισμό μεγαλύτερο ή ίσο των 50 cc. Μετά από περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων της βάσης του υπολογιστικού μοντέλου COPERT IV, οι ετήσιες τιμές κατανάλωσης καυσίμου από τα μοτοποδήλατα κυμάνθηκαν σε σταθερά επίπεδα (3 l /100km) για την περίοδο 1990-2005. Οι αντίστοιχες τιμές κατανάλωσης καυσίμου για την κατηγορία των βενζινοκίνητων μοτοσικλετών ανάλογα με το επίπεδο κυβισμού τους περιορίστηκε σε 4 l /100km για τα δίκυκλα οχήματα 50-250 και 250-750cc, και 5 l /100km για τα δίκυκλα οχήματα μεγάλου κυβισμού >750cc.



Διάγραμμα 5.12. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή του στόλου των βενζινοκίνητων βαρέων φορτηγών ανά χωρητικότητα μικτού ωφέλιμου βάρους, για την χρονική περίοδο 1990-2005

Στο Διάγραμμα 5.12 παρουσιάζεται η ποσοστιαία ετήσια κατανομή του στόλου των βενζινοκίνητων μοτοσικλετών ανά εύρος διαθέσιμου κυβισμού, για την χρονική περίοδο 1990-2005. Το μεγαλύτερο μερίδιο (55-60 %) στο διαθέσιμο αντίστοιχο στόλο της Ελληνικής αγοράς καταλαμβάνουν τα δίκυκλα οχήματα μικρού κυβισμού, (50-250 cc).

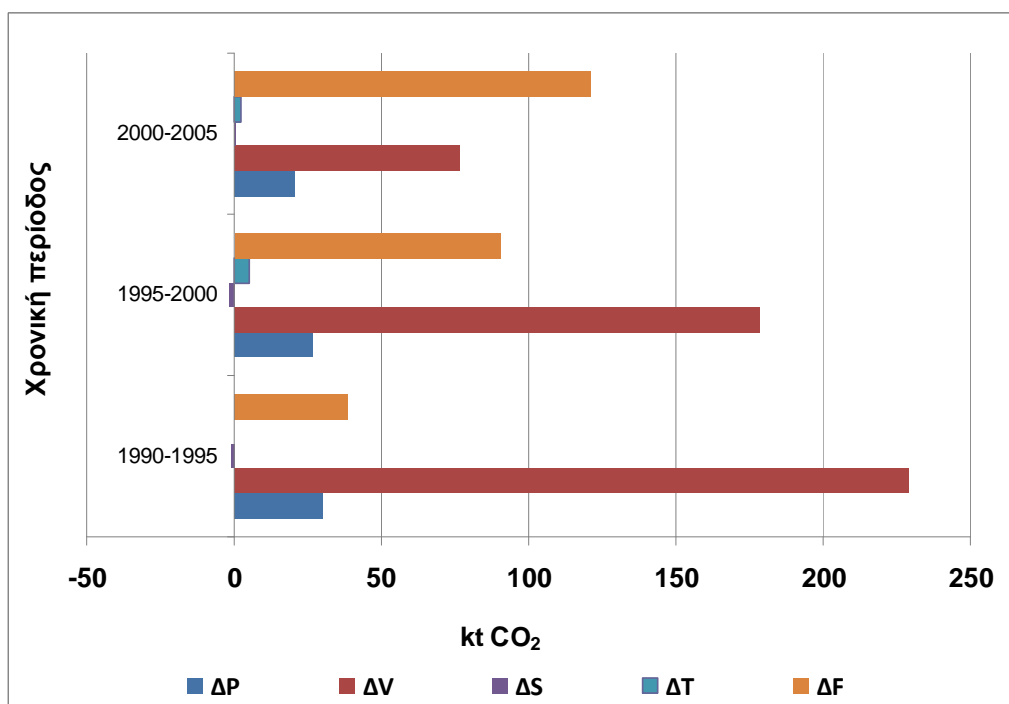


Διάγραμμα 5.13. Ποσοστιαία ετήσια κατανομή βενζινοκίνητων μοτοσικλετών μικρού κυβισμού (50-250 cc) για την χρονική περίοδο 1990-2005.

Είναι χαρακτηριστικό ότι το 2005, μόλις το 44% του συνόλου των βενζινοκίνητων μοτοσικλετών μικρού κυβισμού (50-250 cc) αποτελείται από δίκυκλα οχήματα νέας τεχνολογίας (97/24 EE), ενώ ο αντίστοιχος μέσος όρος στην Ε.Ε-17 είναι 80% για το ίδιο έτος (Διάγραμμα 5.13). Αντίστοιχες τιμές ανανέωσης του υφιστάμενου στόλου των βενζινοκίνητων μοτοσικλετών παρουσιάζουν και οι υπόλοιπες κατηγορίες κυβισμού.

5.4.2. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων (decomposition analysis)

Στο διάγραμμα 5.14 απεικονίζονται γραφικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων με χρήση της μεθόδου των χρονολογικών σειρών (Time series) του δείκτη Divisia. Ειδικότερα παρουσιάζεται η μεταβολή της συνολικής ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από δίκυκλα οχήματα (μοτοποδήλατα και μοτοσικλέτες) για τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους (ανά πενταετία) (1990-1995, 1995-2000 και 2000-2005) υπό την επίδραση 4 διαφορετικών προσδιοριστικών παραγόντων.



Διάγραμμα 5.14. Επίδραση του πληθυσμού (DP), των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV), του κυβισμού της μηχανής (ΔS), της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων (ΔT) και της έντασης του καυσίμου (ΔF) στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ από ελαφρά φορτηγά.

Στον Πίνακα 5.11 παρουσιάζονται σε ετήσια βάση τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου αποσύνθεσης στις εκπομπές CO₂ από το σύνολο του στόλου των δίκυκλων οχημάτων υπό την επίδραση των προσδιοριστικών παραγόντων που εξετάστηκαν.

Την πρώτη πενταετία (1990-1995), οι εκπομπές CO₂ παρουσίασαν συνολική αύξηση 296 kt, η οποία αποδίδεται κυρίως (κατά 77% επί του συνόλου) στον αυξημένο αριθμό ιδιοκτησίας οχημάτων ανά 1000 κατοίκους (ΔV). Η μεταβολή της έντασης του καυσίμου όπως και ο πληθυσμός επιδρούν στην συνολική αύξηση των εκπομπών του CO₂ από χρήση δίκυκλων οχημάτων κατά 13% και 10%, αντίστοιχα. Τέλος, για την ίδια χρονική περίοδο, οι επιδράσεις των υπολοίπων προσδιοριστικών παραγόντων (ΔT και ΔS) ήταν αμελητέες και σε καμία περίπτωση δεν παρουσίασαν αρνητικές τιμές.

Την επόμενη περίοδο (1995-2000), οι εκπομπές CO₂ από δίκυκλα οχήματα παρέμειναν σχεδόν αμετάβλητες. Συγκεκριμένα παρουσίασαν συνολική θετική μεταβολή 299 kt, ως αποτέλεσμα της σταθερότητας ιδιοκτησίας της Ελληνικής αγοράς αντίστοιχων οχημάτων (ΔV). Στην ίδια κατεύθυνση, αλλά με μικρότερη ένταση, έδρασαν οι μεταβολές του πληθυσμού και της τεχνολογικής εξέλιξης, ενώ η επίδραση της έντασης του καυσίμου αυξήθηκε κατά 51 kt, έναντι της προηγούμενης περιόδου. Ανασταλτικό ρόλο προς την μείωση των εκπομπών του CO₂ από χρήση δίκυκλων οχημάτων, όπως προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά την περίοδο 1995-2000, διαδραμάτισε η επίδραση του κυβισμού των μηχανών καθώς η αντίστοιχη αγορά στο σύνολο της κινήθηκε στην ταξινόμηση μοτοσικλετών μικρότερου κυβισμού βάσει νέων προδιαγραφών σε εκπομπές ρύπων (97/224/EE).

Πίνακας 5-11. Αποτελέσματα ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων των ετήσιων μεταβολών εκπομπών CO₂ από χρήση δίκυκλων οχημάτων στην Ελλάδα για την χρονική περίοδο 1990-2005

Έτος								
Παράγοντας (kt CO ₂)	1990-1991	1991-1992	1992-1993	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998
ΔΡ	4	7	6	6	6	6	6	5
ΔV	50	64	40	36	40	36	41	48
ΔS	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0
ΔT	0	0	0	0	0	0	0	3
ΔF	6	3	12	7	10	9	12	14
Σύνολο εκπομπών (ΔCO₂)	60	74	59	49	55	50	58	70
Παράγοντας (kt CO ₂)	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	
ΔΡ	5	4	3	4	4	4	5	
ΔV	53	1	53	-9	62	7	-36	
ΔS	0	0	0	0	0	0	0	
ΔT	1	1	1	0	1	-1	1	
ΔF	20	35	17	32	5	40	28	
Σύνολο εκπομπών (ΔCO₂)	79	41	73	28	72	49	-2	

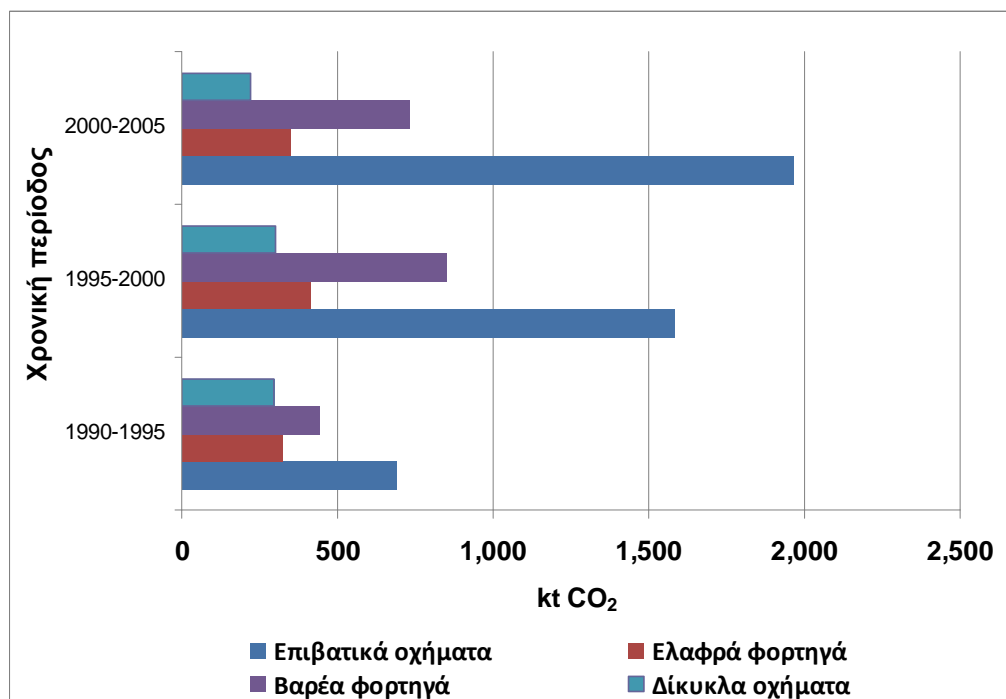
Αντίθετα, ο βασικός παράγοντας που οδήγησε στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ από δίκυκλα οχήματα τη περίοδο 2000-2005, ήταν η αύξηση της έντασης του καυσίμου. Για το σύνολο της περιόδου αυτής, οι εκπομπές CO₂ από δίκυκλα οχήματα παρουσίασαν συνολική θετική μεταβολή 221 kt, δηλαδή μειώθηκαν κατά 26.7% σε σχέση με την αντίστοιχη μεταβολή της πρώτης πενταετίας. Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως μείωση του αριθμού του στόλου των κυκλοφορούντων δίκυκλων οχημάτων μετά το 1997. Οι επιμέρους επιδράσεις των 5 προσδιοριστικών παραγόντων που εξετάστηκαν την περίοδο 2000-2005 παρουσίασαν θετικές τιμές.

Κεφάλαιο 6

Σύνοψη συμπερασμάτων

6.1 Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τα αποτελέσματα μιας συστηματικής και εκτεταμένης ανάλυσης των παραγόντων εκείνων που επέδρασαν στις μεταβολές των εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές για την χρονική περίοδο 1990-2005. Για το σύνολο του τομέα των οδικών επιβατικών και εμπορικών μεταφορών, ο οποίος περιλαμβάνει τα επιβατικά οχήματα, δίκυκλα, ελαφρά και βαρέα οχήματα), παρατηρήθηκαν διαφορετικές τάσεις. Στο διάγραμμα 5.15 συνοψίζονται τα συνολικά αποτελέσματα της ανάλυσης των προσδιοριστικών παραγόντων που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για τις 4 κατηγορίες οχημάτων ανά 3 πενταετίες (1990-1995, 1995-2000, 2000-2005).



Διάγραμμα 6.1. Μεταβολή εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές ανά κατηγορία οχημάτων για την χρονική περίοδο 1990-2005.

Αξιίζει να αναφερθεί ότι την σημαντικότερη συμβολή αλλά και τις μεγαλύτερες μετατοπίσεις που πραγματοποιήθηκαν στις εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές, κατά την εξεταζόμενη χρονική περίοδο 1990-2005, παρουσίασε ο κλάδος των επιβατικών οχημάτων. Χαρακτηριστικό είναι ότι ο κλάδος αυτός κυμάνθηκε σε ποσοστό 50-60 % του συνολικού ύψους των εκπομπών. Σε απόλυτες τιμές, οι συνολικές εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές αυξήθηκαν σημαντικά κατά την δεύτερη πενταετία, ήτοι 1746 kt σε 3144 kt, ενώ παρέμειναν σχεδόν αμετάβλητες την τελευταία πενταετία (3263 kt).

Οι επιμέρους μεταβολές των εκπομπών CO₂ ανά κλάδο οχημάτων αποδόθηκαν σε 6 προσδιοριστικούς παράγοντες: επίδραση του πληθυσμού, του αριθμού των οχημάτων ανά 1000 κατοίκους, της ετήσιας διανυόμενης απόστασης, του κυβισμού της μηχανής, της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων και της έντασης του καυσίμου.

Από την ανάλυση με χρήση του δείκτη Divisia προέκυψε ότι στην αύξηση των εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές που σημειώθηκε κατά την εξεταζόμενη περίοδο συνέβαλαν:

- Ο αριθμός ιδιοκτησίας νέων οχημάτων
- Η αύξηση του πληθυσμού και
- Η ετήσιας διανυόμενη απόσταση

Αντίθετα, δυσμενής ως προς την αύξηση των εκπομπών CO₂ ήταν οι επιδράσεις του κυβισμού της μηχανής, της τεχνολογικής εξέλιξης των οχημάτων και της έντασης του καυσίμου. Οι επιδράσεις αυτές μεταβλήθηκαν σημαντικά από το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο και τις μεταβολές της ζήτησης/αγοράς του στόλου των οχημάτων. Ειδικότερα, σημαντικό ρόλο στην μεταβολή των εκπομπών CO₂ έδρασαν η ανανέωση του στόλου με ταξινομήσεις οχημάτων προδιαγραφών (Euro) (κυρίως των επιβατικών οχημάτων και των ελαφρών φορτηγών), η βελτίωση της ποιότητας του καυσίμου με την αύξηση χρήσης αμόλυβδης βενζίνης και ντίζελ χαμηλότερης στάθμης εκπεμπόμενων ρύπων και τέλος η μείωση της ετήσιας κατανάλωσης των καυσίμων είτε λόγω της στροφής της αγοράς σε μικρότερου κυβισμού οχημάτων είτε λόγω της μείωσης της ετήσιας διανυόμενης απόστασης.

Τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν κατάλληλα μέσω της ανάδειξης των βασικών κατευθύνσεων πολιτικής στον τομέα των οδικών επιβατικών και εμπορικών μεταφορών με στόχο την πλήρη συμμόρφωση της χώρας με τις διεθνείς περιβαλλοντικές της δεσμεύσεις αλλά και με τον ευρύτερο στόχο της αειφόρου πράσινης βιώσιμης ανάπτυξης.

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βασιλάκος Ν, (1997). Οικονομικά όργανα περιβαλλοντικής πολιτικής στο χώρο της ενέργειας, ΤΕΕ, Επτάλοφος, Αθήνα.

Έκθεση Stern (2006). Τα οικονομικά της κλιματικής αλλαγής.

ΕΚΠΑΑ, «Έκθεση Περιβαλλοντικών Δεικτών», Δ. Διακουλάκη, Μάρτιος 2003.

Κασσάπης Π. (2007) "Η κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές στην Ελλάδα", Πρακτικά Ημερίδας "Ενέργεια και Μεταφορές", Ινστιτούτο Ενέργειας Νότιο-ανατολικής Ευρώπης, Αθήνα.

Κοντίτης Μενέλαος (2007). Ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων της εξέλιξης των εκπομπών CO₂ στα ενεργειακά συστήματα επιλεγμένων ευρωπαϊκών χωρών (Decomposition analysis), Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πειραιά, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας, σελ.77.

Λαμπρίδης Χ, Πάλλης Α.Α., Χλωμούδης Κ.Ι., (2000). "Τάσεις και Δυναμικές στις Επενδύσεις Λιμενικών Υποδομών και του Μεταφορικού Έργου στην Ελλάδα", Πρακτικά 2ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Λιμενικών Έργων, Αθήνα Νοέμβρης, 2000.

Λεονταράκης Γ (2008). "Ανάλυση Προσδιοριστικών Παραγόντων στην Εξέλιξη των Εκπομπών CO₂ των Μεταφορών σε 15 Χώρες Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο Διάστημα 1980-2002", Μεταπτυχιακή εργασία, ΕΜΠ, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας.

Παπαγιαννάκη Κ (2011). "Κλιματική Αλλαγή και Μεταφορές: Ανάλυση Προσδιοριστικών Παραγόντων και Αξιολόγηση Πολιτικών", Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων.

Παπαδόπουλος Π., Μιχ. (1997). Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας Από Ανανεώσιμες Πηγές, ΕΜΠ, Αθήνα.

Χατζηγεωργίου Ι. Ε (2006). "Ανάπτυξη μοντέλου ενεργειακής Αναλυτικής Αποδόμησης και εφαρμογή του", Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.

Διεθνής Βιβλιογραφία

Ang, B.W., (2005). The LMD I approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy* 33(7), 867–871.

CEC (2008). *European Energy and Transport: Trends to 2030 – Update 2007*, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, Commission of the European Communities.

Diakoulaki, D., Mavrotas, G. Orkopoulos, D. and Papayannakis, L. (2006) “A bottom-up decomposition analysis of energy-related CO₂ emissions in Greece” *Energy* 31(14), 2638-2651.

EEA – European Environment Agency (2004): *Impacts of Europe’s Changing Climate. An indicator-based assessment.*

EEA (2007) *Transport and Environment: On the Way to a New Common Transport Policy. TERM 2006: Indicators Tracking Transport and Environment in the European Union*, EEA Report No 1/2007, Copenhagen: European Environment Agency.

ERF (2009) *European Road Statistics 2009*, Brussels: European Road Federation.

Eyring V. (2007) "Past, present-day and future ship emissions", *Proceedings of the Conference "How to make the sea green: What to do about air pollution and greenhouse gas emissions from maritime"*, Brussels: European Federation for Transport and Environment.

Eurostat European Commission *EUROPEAN UNION ENERGY & TRANSPORT 2009 IN FIGURES* (Part 2: ENERGY Directorate-General for Energy and Transport) in co-operation with Eurostat European Commission.

IAEA, (2005). *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodology*. International Atomic Energy Agency, Vienna.

Jansson, J. O., (1993) *Government and Transport Infrastructure – Investments*, in: Polak, J. and Heertje, A. (eds), *European Transport Economics*, Blackwell, Oxford, 221-243.

Kaltschmitt, Martin, Streicher, Wolfgang & Wiese, Andreas. 2007, Renewable Energy Technology, Economics and Environment, XXXII, 564 p. 270 illus., Hardcover ISBN: 978-3-540-70947-3.

Liaskas, K. Mavrotas, G. Mandaraka, M. and D. Diakoulaki, (2000). "Decomposition of industrial CO₂ emissions: The case of European Union" Energy Economics 22:383-393.

Ntziachristos, L., Gkatzoflias, D., Kouridis, Ch., Samaras, Z. (2009). COPERT: A European Road Transport Emission Inventory Model. 4th International ICSC Symposium on Information Technologies in Environmental Engineering. May, 28-29, Thessaloniki, Greece.

Papagiannaki K. and D. Diakoulaki (2009). Decomposition analysis of CO₂ emissions from passenger cars: the cases of Greece and Denmark, Energy Policy 37 (8), 3259-3267.

Park, S.H. (1992). Decomposition of industrial energy consumption: an alternative method. Energy Economics 14 4 (1992), pp. 265–270

Sullivan JL, Baker RE, Boyer BA, Hammerle RH, Kenney TE, Muniz L, (2004). CO₂ emission benefit of diesel (versus gasoline) powered vehicles. Environ Sci Technol., 38(12): 3217–3223.

Sullivan JL, Baker RE, Boyer BA, Hammerle RH, Kenney TE, Muniz L, (2004). CO₂ emission benefit of diesel (versus gasoline) powered vehicles. Environ Sci Technol., 38(12): 3217–3223.

Timmermans, J. M., et al., (2006). Environmental rating of vehicles with different fuels and drive trains :a univocal and applicable methodology. European Journal of Transport and Infrastructure Research 6(4),313–334.

Timmermans, J. M., et al., 2006. Environmental rating of vehicles with different fuels and drive trains :a univocal and applicable methodology. European Journal of Transport and Infrastructure Research 6(4),313–334.

UIC (2008) Rail Transport and Environment: Facts and Figures, Paris: International Union of Railways.

Ιστοσελίδες

Σύνδεσμος Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Αυτοκινήτων (www.seaa.gr)

European Environment Agency – (www.eea.eu.int)

European Commision - Environment Directorate (<http://europa.eu.int/>)

Internet site of Eurostat, www.europa.eu.int/comm/eurostat

Internet site of Minevv, http://www.minenv.gr/ek_a/g000.html

Internet site of Odyssee, <http://www.odyssee-indicators.org/>

Internet site of the Association of European Automobile Manufactures (ACEA),
www.acea.be