

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και
Συστημάτων

**Κλιματική Αλλαγή και Μεταφορές: Ανάλυση Προσδιοριστικών
Παραγόντων και Αξιολόγηση Πολιτικών**

Διδακτορική διατριβή

Κατερίνα Παπαγιαννάκη

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Δανάη Διακουλάκη

Συμβουλευτική επιτροπή

Καθηγητής Ιωάννης Γκόλιας

Επίκουρος Καθηγητής Γιώργος Μαυρωτάς

Μάιος 2011

Στη μνήμη του πατέρα μου, Λευτέρη

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανωτάτη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα.
(Ν.5343/1932, Άρθρο 202.

Ευχαριστίες

Η οικειότητα με τον εργασιακό χώρο και τους καθηγητές σίγουρα δεν είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να κυλήσει ομαλά η διδακτορική διατριβή. Στην περίπτωση μου, όμως, υπήρξε καθοριστική. Το περιβάλλον περισσότερο από φιλικό, το ενδιαφέρον ουσιαστικό. Οι αναμνήσεις μου, άλλωστε, από το χώρο και τους ανθρώπους είναι από τις παλαιότερες, χωρίς υπερβολή παιδικές. Θέλω να ευχαριστήσω ολόψυχα όλα τα παιδιά του εργαστηρίου για τη στήριξη που μου πρόσφεραν, ακόμα και στις πιο δύσκολες στιγμές, με το χαμόγελό τους, το πνεύμα τους, τις ατελείωτες πολιτικές και κοινωνικές αναλύσεις, τις λύσεις που πάντα βρίσκουν σε όλα τα προβλήματα.

Μα πάνω απ' όλα υπήρξα ιδιαίτερα τυχερή που την επίβλεψη της εργασίας μου είχε, διόλου τυχαία, η Δανάη Διακουλάκη. Την ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη, την υπομονή, τις ιδέες, τα οξυδερκή και καταλυτικά σχόλια, τις διεξόδους που μου πρόσφερε. Η ευγενική της παρουσία τα έκανε όλα πιο εύκολα.

Πολύτιμη υπήρξε η συμβολή του Γιώργου Μαυρωτά στην ολοκλήρωση της διατριβής. Τον ευχαριστώ για την ανταπόκρισή του σε ό,τι χρειάστηκα και την πρακτική βοήθεια που αβίαστα μου έδωσε. Θέλω να ευχαριστήσω, επίσης, θερμά τον Καθηγητή Ιωάννη Γκόλια για την υποστήριξη, τις πρακτικές συμβουλές και τις αντικειμενικές του παρατηρήσεις που βοήθησαν ουσιαστικά στη βελτίωση της διατριβής.

Ευχαριστώ, επίσης, ιδιαιτέρως την Καθηγήτρια Α. Χαλουλάκου-Χριστοδουλάκη και τους Καθηγητές Ι. Καλογήρου, Ι. Ζιώμα, και Ι. Παραβάντη για την τιμή που μου έκαναν να συμμετέχουν στην επταμελή επιτροπή, υποστηρίζοντας την προσπάθειά μου και πλαισιώνοντάς την με την εξαιρετική εμπειρία τους.

Η εργασία αυτή είναι ολόψυχα αφιερωμένη στην οικογένειά μου που με στήριξε με όλες τις δυνάμεις της. Στη μητέρα μου Φωτούλα, στον αδελφό μου Γιώργο, στο Μάριο και τον ενάμιση έτους γιο μας Λευτέρη. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους αγαπημένους μου φίλους για τη συμπαράστασή τους, που τόσο είχα ανάγκη.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει σαν στόχο την ανάλυση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τα επιβατικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα, μέσα από το ερμηνευτικό πρίσμα συγκεκριμένων παραμέτρων που επιλέχθηκαν με κριτήριο τη δυνατότητά τους να αναδείξουν την εξέλιξη των τεχνολογικών χαρακτηριστικών του αυτοκινήτου, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της αγοράς και τη συμπεριφορά των οδηγών-αγοραστών. Η μελέτη στηρίζεται σε ένα πρωτότυπο, σύνθετο υπολογιστικό μοντέλο που δίνει τη δυνατότητα λεπτομερούς ανάλυσης των ποικίλων εξεταζόμενων παραμέτρων, καθώς και τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂. Παράλληλα, με βάση το μοντέλο εκτιμάται η συνεισφορά των προσδιοριστικών παραγόντων στη μεταβολή των εκπομπών CO₂ μέσα στην περίοδο 1990-2005, με την εφαρμογή δύο βασικών μεθοδολογιών ανάλυσης αποδόμησης βάσει δεικτών, τη Log Mean Divisia Index I (LMDI I) και τη Refined Laspeyres (RL). Η παράλληλη εφαρμογή των δύο μεθοδολογιών ανάλυσης αποδόμησης έχει ως στόχο την ενίσχυση της αξιοπιστίας της ανάλυσης των ετήσιων μεταβολών των εκπομπών CO₂ για την περίοδο 1990-2005, καθώς και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους σε αναλύσεις μεγάλων χρονικών περιόδων με έλλειψη αναλυτικών ενδιάμεσων στοιχείων, όπως πιθανόν να ισχύει στις προβλέψεις.

Οι διαμορφωθείσες ιστορικές τάσεις των παραμέτρων που συνθέτουν το υπολογιστικό μοντέλο αποτελούν τη βάση για το σχεδιασμό του μοντέλου των προβλέψεων, στο πλαίσιο του οποίου σχεδιάζονται σενάρια χωρίς, αλλά και με πολιτικές και μέτρα για τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ έως το 2020. Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των πολιτικών και μέτρων προσεγγίζεται με δύο διαφορετικές μεθόδους, με στόχο τόσο την εκτίμηση της μεμονωμένης επίδρασης κάθε παρέμβασης, όσο και των συνεργειών που προκαλούνται από τους συνδυασμούς αυτών. Οι επιλεγμένες πολιτικές και τα μέτρα έχουν ως κεντρικές κατευθύνσεις την επίδραση στα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου και του στόλου συνολικά, στη συμπεριφορά των οδηγών-καταναλωτών και στο μίγμα των καυσίμων, ενώ τα σενάρια διακρίνονται σε ελάχιστης επίδρασης (ΣΕΕ) και μέγιστης επίδρασης (ΣΜΕ), ανάλογα με το βαθμό διεύθυνσης των εξεταζόμενων παρεμβάσεων.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του υπολογιστικού μοντέλου, οι συνολικές εκπομπές CO₂ σχεδόν διπλασιάστηκαν την περίοδο 1990-2005. Η δε ανάλυση αποδόμησης της μεταβολής των εκπομπών CO₂ ανέδειξε ως καθοριστικό παράγοντα την αξιοσημείωτη αύξηση της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων, η σχετική συνεισφορά της οποίας

αυξάνεται με το χρόνο, ενώ λιγότερο επιβαρυντικό ρόλο κατέχει το μέγεθος των οχημάτων. Οι παράγοντες της τεχνολογίας και του μίγματος καυσίμων συνέβαλλαν στη συγκράτηση των εκπομπών, ενώ η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση εκτιμάται ότι μειώθηκε ως συνάρτηση της ραγδαίας αύξησης της κατά κεφαλή ιδιοκτησίας, αντισταθμίζοντας σε ένα βαθμό την επιβάρυνση που προκάλεσε η αύξηση της κατά κεφαλή κατοχής.

Η ανάλυση αποδόμησης εμφανίζεται ως ένα ιδιαίτερα αξιόπιστο ερμηνευτικό εργαλείο, ικανό να συμπεριλάβει ένα μεγάλο πλήθος αλληλεξαρτώμενων παραμέτρων. Παράλληλα, από τη συγκριτική θεώρηση των LMDI I και RL μεθοδολογιών, προκύπτει ότι τα μοντέλα που αναπτύσσονται στην ανάλυση αποδόμησης μπορούν να αξιοποιηθούν και για την πρόβλεψη του υπό διερεύνηση μεγέθους στη βάση σεναρίων εξέλιξης των ερμηνευτικών μεταβλητών. Όσον αφορά στην LMDI I μεθοδολογία, αναδεικνύεται ως η πλέον κατάλληλη μέθοδος για την περίπτωση ετήσιων μεταβολών. Αντίθετα, στην περίπτωση περιοδικών αναλύσεων χωρίς ενδιάμεσα αναλυτικά στοιχεία, η LMDI I αδυνατεί να παρακολουθήσει τις διαδρομές των πολλαπλά εξαρτημένων παραμέτρων μέσα στη συνολική περίοδο, ενώ στις αντίστοιχες RL περιοδικές ανάλυσεις, το μέγεθος του υπολείμματος χαρακτηρίζεται δυσανάλογο σε σχέση με τη μεταβολή των συνολικών εκπομπών CO₂.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προβλέψεων, υπάρχει μία σοβαρή δυνατότητα συγκράτησης της ανοδικής πορείας των εκπομπών από την εφαρμογή των εξεταζόμενων πολιτικών και μέτρων. Συγκεκριμένα, ενώ το σενάριο χωρίς δράσεις, ΣΧΔ, επιφέρει αύξηση των εκπομπών CO₂ ύψους 50% το 2020 σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, οι αντίστοιχες μεταβολές στα ΣΕΕ και ΣΜΕ περιορίζονται στο 25% και 1% αντίστοιχα. Στην περίπτωση μάλιστα του ΣΜΕ, τα μέτρα συνεισφέρουν σημαντικά στην επίτευξη του δεσμευτικού στόχου της Ελλάδας, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Απόφασης 406/2009/EC, για μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 4% μέχρι το 2020, σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, από τους τομείς που δεν συμμετέχουν στην Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών.

Λέξεις κλειδιά: εκπομπές CO₂, ανάλυση αποδόμησης, επιβατικά αυτοκίνητα, πολιτικές και μέτρα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΚΙΝΗΤΡΑ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	1
1.2	ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΣΕ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ	3
1.3	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	5
2.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	9
2.1	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ	10
2.1.1	<i>Σύγκριση μεθοδολογιών ανάλυσης αποδόμησης βάσει δεικτών</i>	11
2.1.2	<i>Μεθοδολογίες Laspeyres</i>	16
2.1.3	<i>Μεθοδολογίες Divisia</i>	18
2.1.4	<i>Μεθοδολογία Sharpley</i>	21
2.1.5	<i>Λοιπές μεθοδολογίες αποδόμησης</i>	23
2.2	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	24
2.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΒΑΤΙΚΩΝ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ	30
2.3.1	<i>Προσδιοριστικές παράμετροι</i>	31
2.3.2	<i>Προβλέψεις και πολιτικές</i>	35
2.3.3	<i>Αναλύσεις αποδόμησης</i>	39
2.4	ΘΕΜΑΤΑ ΠΡΟΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	40
3.	Ο ΤΟΜΕΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	44
3.1	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO ₂	44
3.2	ΕΠΙΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ ΜΕΣΩ ΞΗΡΑΣ.....	49
3.3	ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΙΧ	51
3.3.1	<i>Πλήθος και κατά κεφαλή κατοχή ΙΧ</i>	51
3.3.2	<i>Κατηγοριοποίηση ΙΧ αυτοκινήτων με βάση το καύσιμο</i>	53
3.3.3	<i>Κατηγοριοποίηση ΙΧ αυτοκινήτων με βάση το μέγεθος και την τεχνολογία του κινητήρα</i>	53
3.3.4	<i>Αποδοτικότητα ΙΧ αυτοκινήτων</i>	57
3.3.5	<i>Στόχοι και πολιτικές</i>	60
4.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ	62
4.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ ΑΠΟ ΤΑ ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1990-2005	62
4.1.1	<i>Κατασκευή και ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου</i>	62
4.1.2	<i>Ανάλυση αποδόμησης των εκπομπών CO₂</i>	66

4.2	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ ΑΠΟ ΤΑ ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΓΙΑ ΤΟ 2020-ΣΕΝΑΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΔΡΑΣΕΙΣ	72
4.3	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ	73
4.3.1	Πολιτικές και μέτρα.....	73
4.3.2	Ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση	74
4.3.3	Σχεδιασμός σεναρίων.....	76
4.3.4	Διαχείριση αποτελεσμάτων.....	76
4.3.5	Συγκριτική θεώρηση των μεθοδολογιών αποδόμησης	79
5.	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	80
5.1	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ ΑΠΟ ΤΑ ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1990-2005	80
5.1.1	Παράμετροι του υπολογιστικού μοντέλου	80
5.1.2	Εκπομπές CO ₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα την περίοδο 1990-2005.....	85
5.1.3	Ανάλυση αποδόμησης εκπομπών CO ₂ την περίοδο 1990-2005	89
5.2	ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ ΑΠΟ ΤΑ ΕΠΙΒΑΤΙΚΑ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΑ ΓΙΑ ΤΟ 2020-ΣΕΝΑΡΙΟ ΧΩΡΙΣ ΔΡΑΣΕΙΣ	96
5.2.1	Πρόβλεψη των παραμέτρων του υπολογιστικού μοντέλου.....	96
5.2.2	Εκπομπές CO ₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα την περίοδο 2005-2020.....	100
5.3	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ	103
5.3.1	Πολιτικές και μέτρα.....	103
5.3.2	Ποιοτική ανάλυση και βαθμός διεύθυνσης πολιτικών και μέτρων	109
5.3.3	Ποσοτική ανάλυση πολιτικών και μέτρων ως μεμονωμένων παρεμβάσεων.....	115
5.3.4	Ποσοτική ανάλυση συνδυασμένων πολιτικών και μέτρων.....	123
5.3.5	Διαχείριση αβεβαιότητας.....	140
6.	ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ	144
6.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΤΗΣΙΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ	144
6.2	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ	147
7.	ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	155
7.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	155
7.2	ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	161
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	163
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	182

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Σύνοψη αναλύσεων αποδόμησης στον τομέα των μεταφορών	41
Πίνακας 2.2. Σύνοψη ιδιοτήτων βασικών μεθοδολογιών αποδόμησης.....	43
Πίνακας 3.1. Κατηγοριοποίηση αυτοκινήτων ΙΧ ανάλογα με το καύσιμο, το μέγεθος και τις προδιαγραφές του κινητήρα	54
Πίνακας 3.2. Τυπική Ειδική κατανάλωση ανά κατηγορία ΙΧ	58
Πίνακας 5.1. Συνοπτική εξέλιξη συγκεντρωτικών παραμέτρων υπολογιστικού μοντέλου για την περίοδο 1990-2005.....	81
Πίνακας 5.2. Πραγματική (on-road) μέση σταθμισμένη ειδική κατανάλωση κατηγοριών αυτοκινήτων με βάση το καύσιμο και τον κυβισμό	85
Πίνακας 5.3. Χαρακτηριστικά καυσίμων	85
Πίνακας 5.4. Ανάλυση αποδόμησης εκπομπών CO ₂ με εφαρμογή της LMDI I.....	90
Πίνακας 5.5. Εξέλιξη συγκεντρωτικών παραμέτρων στο Σενάριο Χωρίς Δράσεις	99
Πίνακας 5.6. Βαθμός διείσδυσης πολιτικών και μέτρων	111
Πίνακας 5.7. Βαθμολόγηση ελάχιστης επίδρασης κάθε μέτρου στις συγκεντρωτικές παραμέτρους.....	116
Πίνακας 5.8. Βαθμολόγηση μέγιστης επίδρασης κάθε μέτρου στις συγκεντρωτικές παραμέτρους.....	117
Πίνακας 5.9. Επίδραση μεμονωμένων Π&Μ στις εκπομπές CO ₂ το 2020	118
Πίνακας 5.10. Κυριότερες συνέργειες από τους ‘ανά 2’ συνδυασμούς Π&Μ.....	124
Πίνακας 5.11. Συνέργειες ‘ανά 2’ συνδυασμένων μέτρων ως προς τη μεταβολή των εκπομπών CO ₂ – ΣΕΕ.....	125
Πίνακας 5.12. Συνέργειες ‘ανά 2’ συνδυασμένων μέτρων ως προς τη μεταβολή των εκπομπών CO ₂ – ΣΜΕ.....	126
Πίνακας 5.13. Επίδραση συνόλου μεμονωμένων και συνδυασμένων Π&Μ στις προσδιοριστικές παραμέτρους.....	129
Πίνακας 5.14. Μεταβολή εκπομπών CO ₂ σε σχέση με το ΣΧΔ, από το σύνολο των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων	137
Πίνακας 6.1. Ανάλυση αποδόμησης ετήσιων μεταβολών με εφαρμογή της RL μεθοδολογίας	145
Πίνακας 6.2. Σχετική συνεισφορά (%) προσδιοριστικών παραγόντων από την εφαρμογή των	

RL και LMDI I μεθοδολογιών	146
Πίνακας Π1. Μεταβολή (%) παραμέτρων από τα επίπεδα του ΣΧΔ για το 2020- ΣΕΕ	164
Πίνακας Π2. Μεταβολή (%) παραμέτρων από τα επίπεδα του ΣΧΔ για το 2020 - ΣΜΕ	165
Πίνακας Π3. Μεταβολή (%) CO ₂ από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ	166
Πίνακας Π4. Μεταβολή (%) CO ₂ από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ	167
Πίνακας Π5. Μεταβολή (%) μέσης ενεργειακής έντασης (E) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ	168
Πίνακας Π6. Μεταβολή (%) μέσης ενεργειακής έντασης (E) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ	169
Πίνακας Π7. Μεταβολή (%) μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης (D) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ.....	170
Πίνακας Π8. Μεταβολή (%) μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης (D) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ	171
Πίνακας Π9. Μεταβολή (%) συνολικών οχηματοχιλιομέτρων (vkm) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ.....	172
Πίνακας Π10. Μεταβολή (%) συνολικών οχηματοχιλιομέτρων (vkm) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ	173
Πίνακας Π11. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού (Sm,b) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ	174
Πίνακας Π12. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού (Sm,b) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ	175
Πίνακας Π13. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων τεχνολογίας προ-2005 (Told) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ.....	176
Πίνακας Π14. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων τεχνολογίας προ-2005 (Told) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ	177
Πίνακας Π15. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων συμβατικών καυσίμων (Fc) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ.....	178
Πίνακας Π16. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων συμβατικών καυσίμων (Fc) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ	179
Πίνακας Π17. Μεταβολή (%) κατά κεφαλή κατοχής (Os) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ	180
Πίνακας Π18. Μεταβολή (%) κατά κεφαλή κατοχής (Os) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ	181

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1. Διάγραμμα ροής της διατριβής	8
Σχήμα 3.1. Εξέλιξη (%) συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και μεταφορών σε Ελλάδα και ΕΕ27	45
Σχήμα 3.2. Εξέλιξη (%) εκπομπών CO ₂ από τη συνολική ενέργεια και τις μεταφορές σε Ελλάδα και ΕΕ27.....	46
Σχήμα 3.3. Κατανομή εκπομπών CO ₂ στα μέσα μεταφοράς.....	46
Σχήμα 3.4. Εξέλιξη (%) εκπομπών CO ₂ από τις οδικές μεταφορές σε Ελλάδα και ΕΕ27	47
Σχήμα 3.5. Εξέλιξη (%) εκπομπών CO ₂ και ενεργειακής κατανάλωσης από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα	47
Σχήμα 3.6. Κατανάλωση συνολικής ενέργειας (ΕΚ), βενζίνης και πετρελαίου από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα	48
Σχήμα 3.7. Κατανομή μεταφορικού έργου (ρkm) επιβατικών μεταφορών ξηράς	50
Σχήμα 3.8. Εξέλιξη (%) του πλήθους των ΙΧ σε Ελλάδα, ΕΕ27 και ΕΕ15.....	52
Σχήμα 3.9. Εξέλιξη (%) κατά κεφαλή πλήθους ΙΧ, νέων ετήσιων εγγραφών και ΑΕΠ στην Ελλάδα.....	52
Σχήμα 3.10. Κατανομή αυτοκινήτων στην Ελλάδα με βάση το μέγεθος κινητήρα	55
Σχήμα 3.11. Κατανομή αυτοκινήτων στην Ελλάδα με βάση την τεχνολογία του κινητήρα... ..	56
Σχήμα 3.12. Μέση τυπική ειδική κατανάλωση κατηγοριών ΙΧ με βάση το καύσιμο.....	59
Σχήμα 4.1. Διάγραμμα ροής μεθοδολογικής προσέγγισης.....	63
Σχήμα 5.1. Εξέλιξη (%) μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης, συνολικών οχηματοχιλιομέτρων και κατά κεφαλή κατοχής	83
Σχήμα 5.2. Μέση σταθμισμένη ειδική κατανάλωση (on-road) στόλου επιβατικών αυτοκινήτων	84
Σχήμα 5.3. Εκπομπές CO ₂ από το σύνολο των επιβατικών αυτοκινήτων και τις επιμέρους κατηγορίες ανά καύσιμο.....	86
Σχήμα 5.4. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων υπολογιστικού μοντέλου - σύγκριση με COPERT	87
Σχήμα 5.5. Εξέλιξη (%) κατά κεφαλή εκπομπών CO ₂ από το συνολικό τομέα της ενέργειας, τις μεταφορές και τα αυτοκίνητα.....	89
Σχήμα 5.6. Ανάλυση αποδόμησης ετήσιων μεταβολών CO ₂	91
Σχήμα 5.7. Ανάλυση αποδόμησης μεταβολών CO ₂ ανά πενταετία	91
Σχήμα 5.8. Ετήσιες μεταβολές συνολικών εκπομπών CO ₂ και εκπομπών που οφείλονται στην	

επίδραση της κατά κεφαλή κατοχής.....	92
Σχήμα 5.9. Εκπομπές CO ₂ στο πλαίσιο του ΣΧΔ.....	101
Σχήμα 5.10. Εξέλιξη μέσης έντασης εκπομπών CO ₂ ανά μονάδα διανυθείσας απόστασης .	101
Σχήμα 5.11. Εξέλιξη μέσης έντασης εκπομπών CO ₂ ανά αυτοκίνητο	102
Σχήμα 5.12. Ελάχιστη και μέγιστη μεταβολή (%) εκπομπών CO ₂ από μεμονωμένες παρεμβάσεις, για το 2020	120
Σχήμα 5.13. Ελάχιστη και μέγιστη μεταβολή (%) παραμέτρων από μεμονωμένες παρεμβάσεις, για το 2020	121
Σχήμα 5.14. Σύγκριση συνδυαστικής και αθροιστικής αποτελεσματικότητας των μέτρων προώθησης πετρελαιοκίνησης και βελτίωσης κινητήρα	127
Σχήμα 5.15. Σύγκριση συνδυαστικής και αθροιστικής αποτελεσματικότητας των μέτρων προώθησης πετρελαιοκίνησης και βιοκαυσίμων.....	128
Σχήμα 5.16. Μεταβολή (%) μέσης ενεργειακής έντασης (E) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων	130
Σχήμα 5.17. Μεταβολή (%) κατά κεφαλή κατοχής (Os) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων.....	132
Σχήμα 5.18. Μεταβολή (%) μέσης διανυθείσας απόστασης (D) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων.....	133
Σχήμα 5.19. Μεταβολή (%) οχηματοχιλιομέτρων (νkm) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων.....	134
Σχήμα 5.20. Μεταβολή (%) μεριδίου μεσαίων-μεγάλων (Sm,b) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων.....	135
Σχήμα 5.21. Μεταβολή (%) μεριδίου παλαιών αυτοκινήτων (Told) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων.....	135
Σχήμα 5.22. Μεταβολή (%) μεριδίου συμβατικών αυτοκινήτων (Fc) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων.....	136
Σχήμα 5.23. Μεταβολή (%) μέσου συντελεστή εκπομπών CO ₂ (f) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων.....	136
Σχήμα 5.24. Μεταβολή (%) εκπομπών CO ₂ από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων	138
Σχήμα 5.25. Εξέλιξη εκπομπών CO ₂ με το ΣΧΔ και τα ΣΕΕ, ΣΜΕ των συνδυασμένων μέτρων	139
Σχήμα 5.26. Ομοιόμορφη κατανομή πυκνότητας πιθανότητας μείωσης των εκπομπών CO ₂ (%).....	141
Σχήμα 5.27. Αθροιστική κατανομή ομοιόμορφης καμπύλης.....	141

Σχήμα 5.28. Κανονική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας μείωσης των εκπομπών CO ₂ (%)	142
Σχήμα 5.29. Αθροιστική κατανομή κανονικής καμπύλης	142
Σχήμα 5.30. Πιθανότερη εξέλιξη εκπομπών CO ₂ με Monte Carlo μεθοδολογία	143
Σχήμα 6.1. Σύγκριση αποδόμησης ετήσιων μεταβολών από την εφαρμογή των LMDI I και RL μεθοδολογιών	144
Σχήμα 6.2. Σύγκριση ετήσιας και περιοδικών αναλύσεων με εφαρμογή της RL	147
Σχήμα 6.3. Σύγκριση ετήσιας και περιοδικών αναλύσεων με εφαρμογή της LMDI I	148
Σχήμα 6.4. Σχετική συνεισφορά παραγόντων στην ετήσια και τις περιοδικές αναλύσεις με εφαρμογή της LMDI I	149
Σχήμα 6.5. Χρονοσειρά C _{ijk} για την περίοδο 1990-2005	150
Σχήμα 6.6. Σύγκριση ετήσιας και περιοδικής ανάλυσης διακριτών προσδιοριστικών παραγόντων, με εφαρμογή της LMDI I	151
Σχήμα 6.7. Ανάλυση αποδόμησης ιστορικών και προβλεπόμενων (ΣΧΔ) εκπομπών CO ₂ με την περιοδική LMDI I	152
Σχήμα 6.8. Ανάλυση αποδόμησης ιστορικών και προβλεπόμενων (ΣΧΔ) εκπομπών CO ₂ με την περιοδική RL	153
Σχήμα 6.9. Περιοδική RL ανάλυση αποδόμησης εκπομπών CO ₂ με βάση τα σενάρια προβλέψεων, για την περίοδο 2005-2020	154

1. Εισαγωγή

1.1 Κίνητρα και σκοπός της εργασίας

Οι μεταφορές αποτελούν έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, με αποτέλεσμα να είναι σήμερα υπεύθυνες για το 1/3 περίπου της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης και των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ευρώπη. Το ζήτημα του περιορισμού των αερίων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)- βασικότερου υπευθύνου για το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε παγκόσμια κλίμακα- από τις μεταφορές απασχολεί όλο και περισσότερο την επιστημονική κοινότητα και τις διακρατικές επιτροπές για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Η εξοικονόμηση ενέργειας από τον τομέα των μεταφορών θεωρείται επιπλέον καθοριστική στην προσπάθεια ορθολογικής διαχείρισης των αποθεμάτων πετρελαίου, ενώ ήδη θεμελιώνονται νέες τάσεις στην αγορά της αυτοκινητοβιομηχανίας με τη στήριξη της έρευνας πάνω σε αποδοτικότερες τεχνολογίες και εναλλακτικές ενεργειακές πηγές, με στόχο τη μελλοντική απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Και αν στους τομείς της παραγωγής ενέργειας και της βιομηχανίας τα μέσα για τη μείωση των αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου είναι πλέον κατανοητά και κοινώς αποδεκτά, με ελάχιστες εξαιρέσεις, όπως το μείζον θέμα της εκμετάλλευσης της πυρηνικής ενέργειας, στις μεταφορές επικρατεί ακόμα ένα θολό τοπίο, με μία σωρεία παραμέτρων να δυσχεραίνουν τη λήψη αποτελεσματικών πολιτικών αποφάσεων. Η συνεχής αύξηση της ζήτησης αυτοκινήτων αποτελεί προϋπόθεση για την ανάπτυξη αυτής της δυναμικής αγοράς, ενώ ταυτόχρονα διογκώνει το ήδη υπάρχον ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η δε ταχεία ανανέωση του στόλου των οχημάτων με νέα αποδοτικότερα δεν μπορεί να ευνοηθεί χωρίς τα αντίστοιχα οικονομικά κίνητρα από την πλευρά της πολιτείας, η οποία λειτουργεί αμήχανα εν μέσω της σοβαρής τρέχουσας οικονομικής κρίσης.

Τα επιβατικά αυτοκίνητα καλύπτουν ένα πολύ μεγάλο κομμάτι των μεταφορών παγκοσμίως, ενώ ειδικά στην περίπτωση της Ελλάδας παρουσιάζουν μία ραγδαία και ανησυχητική αύξηση την τελευταία 20ετία. Είναι αδιαμφισβήτητη η ανάγκη

αντιμετώπισης μίας πιθανής ανάλογης μελλοντικής εξέλιξης, τη στιγμή που ο Έλληνας οδηγός δείχνει να είναι, ή αδυνατεί να μην είναι, εξαρτημένος από το αυτοκίνητο. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος (EEA, 2009) έχει, πολύ σωστά, επιμείνει στην ανάγκη διερεύνησης του δυναμικού μείωσης των εκπομπών CO₂ στο οποίο στοχεύει το σύνολο των πολιτικών και μέτρων που προτείνονται σήμερα και αφορούν στις μεταφορές. Βασικά ερωτήματα που προκύπτουν, επομένως, είναι τα εξής: ποιες είναι αυτές οι πολιτικές και τα μέτρα, πόσο μπορούν να συνεισφέρουν στον περιορισμό των εκπομπών, ποιους παράγοντες που σχετίζονται με τις εκπομπές CO₂ μπορούν να μεταβάλλουν και πόσο; Ο περιορισμός των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές συμπεριλαμβάνεται, άλλωστε, και στους μελλοντικούς στόχους που θέτει πλέον η Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο του προγράμματος για την κλιματική αλλαγή, με χρονικό ορίζοντα το 2020. Είναι, επομένως, απαραίτητη η ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη του τομέα, έτσι ώστε να σχεδιαστούν μελλοντικά σενάρια και να αξιολογηθούν οι δυνατότητες των εξεταζόμενων πολιτικών και μέτρων ως προς τη συνεισφορά τους στην επίτευξη των εθνικών στόχων.

Η παρούσα διατριβή εστιάζει στις εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα, με σκοπό να απαντήσει ως ένα βαθμό στα παραπάνω ερωτήματα. Η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύσσεται εμπεριέχει σύγχρονες και ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθοδολογίες, καθώς και το χτίσιμο ενός πρωτότυπου, σύνθετου υπολογιστικού μοντέλου που δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης ποικίλων παραμέτρων σχετικών με τα αυτοκίνητα και τις εκπομπές CO₂. Οι προσδιοριστικοί αυτοί παράγοντες επιλέχθηκαν με κριτήριο τη δυνατότητά τους να αναδείξουν την εξέλιξη των τεχνολογικών χαρακτηριστικών του αυτοκινήτου σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της αγοράς και τη συμπεριφορά των οδηγών-αγοραστών. Με τη βοήθεια των μεθοδολογικών αυτών εργαλείων επιτυγχάνεται ουσιαστικά η σύνθεση του προβλήματος, η εκτίμηση δηλαδή των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα, και η αποδόμηση (αποσύνθεση) των εκπομπών, ο υπολογισμός δηλαδή της συνεισφοράς κάθε προσδιοριστικού παράγοντα στη μεταβολή αυτών. Η ανάλυση αποδόμησης πραγματοποιείται με δύο καθιερωμένες, και εξίσου αποδεκτές μεθοδολογίες, καθώς βασικός στόχος είναι η συγκριτική θεώρησή τους και η ανάδειξη των παραμέτρων που μειώνουν, ή δύνανται να αναιρούν, την αξιοπιστία τους.

Στο πλαίσιο της πρόβλεψης και ανάλυσης των μελλοντικών εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα, σχεδιάζονται σενάρια εξέλιξης των εξεταζόμενων προσδιοριστικών παραμέτρων, χωρίς και με τη λήψη μέτρων για τη συγκράτηση των εκπομπών. Οι βαθμοί επίδρασης συγκεκριμένων μέτρων και πολιτικών στη μελλοντική εξέλιξη των παραμέτρων ενσωματώνονται στο υπολογιστικό μοντέλο, έτσι ώστε να είναι μεταβλητοί και να διευκολύνουν τη διαμόρφωση σεναρίων βάσει διαφορετικών θεωρητικών προσεγγίσεων. Τα σενάρια που σχεδιάστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξετάζουν τόσο το βαθμό αποτελεσματικότητας των μέτρων ως μεμονωμένων παρεμβάσεων, όσο και τη συνδυασμένη αποτελεσματικότητα του συνόλου ή υποσυνόλων των μέτρων. Στόχος είναι η ανάδειξη της διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων ανάλογα με το μίγμα πολιτικών που επιλέγεται, καθώς και των συνεργειών που προκαλούνται από τους διάφορους συνδυασμούς των παρεμβάσεων.

1.2 Συνεισφορά σε ερευνητικό πεδίο

Τα βασικά σημεία στα οποία εντοπίζεται η συνεισφορά στο ερευνητικό πεδίο, όπως προκύπτουν από τη συνολική θεώρηση της διατριβής και τη μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας, είναι τα ακόλουθα:

1. Αναλύεται ένα μεγάλο εύρος προσδιοριστικών παραγόντων που αφορούν στις εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα, και οι οποίοι αντιμετωπίζονται ως σύνολο με στόχο την εκτίμηση της σχετικής τους συνεισφοράς στις συνολικές ετήσιες εκπομπές. Η πρωτοτυπία έγκειται καταρχήν στο είδος των προσδιοριστικών παραγόντων που αναλύονται με μεθοδολογίες αποδόμησης, οι οποίοι εκφράζουν τόσο τους καθιερωμένους δείκτες που αφορούν στην εξέλιξη της αγοράς και της χρήσης αυτοκινήτων, όπως η κατά κεφαλή κατοχή, ο πληθυσμός, η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση και η ενεργειακή ένταση, όσο και δείκτες που αναδεικνύουν τη σημασία της δομής του στόλου, όπως αυτή προσδιορίζεται από τα μερίδια των οχημάτων ανάλογα με τις τεχνολογικές προδιαγραφές, τον κυβισμό και το καύσιμο με το οποίο λειτουργεί ο κινητήρας.

Στη διάρκεια της βιβλιογραφικής επισκόπησης συναντήσαμε αρκετές εφαρμογές των μεθοδολογιών αποδόμησης των εκπομπών CO₂ από τον τομέα των μεταφορών, αλλά ελάχιστες παραμένουν οι εφαρμογές με αποκλειστικό αντικείμενο την ιδιωτική μετακίνηση με επιβατικά αυτοκίνητα, άρα και την εις βάθος διερεύνηση των

περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη ραγδαία ανάπτυξη του συγκεκριμένου τομέα, με εξέταση του συνόλου των παραμέτρων που προσδιορίζουν την εξέλιξη των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα. Επιπλέον, δεν βρέθηκαν εφαρμογές των μεθοδολογιών αποδόμησης με αντικείμενο εξέτασης τα επιβατικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα.

2. Πραγματοποιείται συγκριτική θεώρηση των δύο πλέον διαδεδομένων μεθοδολογιών αποδόμησης, με στόχο να αναδειχθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο μεθοδολογιών ως προς την ικανότητά τους να ερμηνεύουν μεταβολές σε μεγάλα χρονικά διαστήματα, στο πλαίσιο σύνθετων μοντέλων με αλληλεξαρτημένες παραμέτρους. Τα συμπεράσματα συμβάλλουν σημαντικά στον επιστημονικό διάλογο που έχει ανοίξει για την αξιοπιστία των δύο διακεκριμένων μεθοδολογιών αποδόμησης, καθώς βασίζονται στην περίπτωση ενός ιδιαίτερου σύνθετου συστήματος παραμέτρων που δίνει τη δυνατότητα ουσιαστικής εξέτασης των περισσότερων ζητημάτων που έχουν κατά καιρούς προβληματίσει τους θεωρητικούς μελετητές των συγκεκριμένων μεθοδολογιών.

3. Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των δράσεων για τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ προσεγγίζεται με δύο διαφορετικές μεθόδους, με στόχο τόσο την εκτίμηση της μεμονωμένης επίδρασης κάθε παρέμβασης, όσο και των συνεργειών που προκαλούνται από τους συνδυασμούς αυτών. Η ανάγκη μελέτης της συνδυασμένης αποτελεσματικότητας δράσεων έχει ήδη επισημανθεί στην πρόσφατη βιβλιογραφία, ενώ στην παρούσα διατριβή εξετάζεται στο πλαίσιο ενός συνόλου ποικίλων και ευρέως συζητούμενων πολιτικών και μέτρων. Επιπλέον, εξετάζεται η συνδυασμένη επίδραση των μέτρων όχι μόνο στις τελικές εκπομπές CO₂, αλλά και στις παραμέτρους του υπολογιστικού μοντέλου, οι οποίες αποτελούν τους βασικούς τεχνολογικούς, κοινωνικούς και οικονομικούς προσδιοριστικούς παράγοντες που καθορίζουν την εξέλιξή τους.

4. Δομείται ένα υπολογιστικό μοντέλο πρόβλεψης των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα, το οποίο αποτελεί τη βάση για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των εξεταζόμενων πολιτικών και μέτρων. Το υπολογιστικό μοντέλο προσαρμόζεται ούτως ώστε να αφομοιώνει σε κάθε περίπτωση τον εκάστοτε βαθμό διεύθυνσης της εξεταζόμενης παρέμβασης. Με τον τρόπο αυτό, το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να

υπολογίζει τις μεταβολές που επιφέρει η εφαρμογή ενός μέτρου, καθώς και συνδυασμού μέτρων, συνυπολογίζοντας τυχόν αλληλεπιδράσεις.

1.3 Δομή της διατριβής

Η ανάπτυξη της διατριβής γίνεται σε επτά βασικά κεφάλαια, ακολουθώντας τη ροή που παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 1.1.

Στο παρόν **πρώτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα κίνητρα για την επιλογή του θέματος και οι κεντρικοί στόχοι της διατριβής, οι οποίοι διακρίνονται σε τέσσερις άξονες:

- Την ανάλυση επιλεγμένων προσδιοριστικών παραγόντων ως προς τη συνεισφορά τους στις εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα.
- Την συγκριτική θεώρηση των μεθοδολογιών αποδόμησης που εφαρμόζονται για την εκτίμηση της σχετικής συνεισφοράς των προσδιοριστικών παραγόντων των εκπομπών.
- Την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αντιπροσωπευτικών μέτρων και πολιτικών ως προς τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα, με χρονικό ορίζοντα το 2020, λαμβάνοντας υπόψη και την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τη μελλοντική εξέλιξη των κρίσιμων προσδιοριστικών παραμέτρων.
- Τη συγκριτική αξιολόγηση των μεθοδολογιών προσέγγισης των μέτρων και πολιτικών ως μεμονωμένων και παράλληλα εφαρμοζόμενων παρεμβάσεων.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζεται μία εκτεταμένη βιβλιογραφική και μεθοδολογική επισκόπηση, με στόχο τόσο την κάλυψη της ιστορικής και τρέχουσας έρευνας πάνω σε όλα τα θέματα που πραγματεύεται η διατριβή, όσο και την ανάδειξη των ζητημάτων που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και αποτέλεσαν αφορμή για την παρούσα εργασία. Πραγματοποιείται ιστορική αναδρομή στις μεθοδολογίες αποδόμησης, την εξέλιξή τους, την προσφορά και τα αδύνατα σημεία τους, καθώς και στις παραμέτρους που εξετάζονται στο πεδίο των μεταφορών, με έμφαση στα επιβατικά αυτοκίνητα. Συνοψίζονται, επιπλέον, οι πολιτικές και τα μέτρα που

συστήνονται στην πρόσφατη βιβλιογραφία για την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής διάστασης του προβλήματος των επιβατικών μεταφορών, με ιδιαίτερη αναφορά στην Ευρώπη και την Ελλάδα.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται, με στατιστικά στοιχεία, η συνολική εικόνα των μεταφορών στην Ευρώπη και την Ελλάδα, εστιάζοντας στις επιβατικές μεταφορές μέσω ξηράς και στα επιβατικά αυτοκίνητα. Σχολιάζονται ειδικά επιλεγμένοι δείκτες, οι οποίοι φανερώνουν την υπερβολική αύξηση των αυτοκινήτων, της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂, καθώς και την πτώση του μεριδίου των δημόσιων μέσων μεταφοράς στο συνολικό μεταφορικό έργο. Επιπροσθέτως, εξετάζεται η εξέλιξη της δομής του στόλου των αυτοκινήτων στην Ελλάδα μέσα από το πρίσμα των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του κινητήρα και συγκεκριμένα του κυβισμού, της τεχνολογίας και του τύπου καυσίμου που καταναλώνει.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** αναλύεται η μεθοδολογία προσέγγισης όλων των ζητημάτων που εξετάζονται στο πλαίσιο της διατριβής, με βασικότερα σημεία:

- Τη σύνθεση του υπολογιστικού μοντέλου για την εκτίμηση των εκπομπών CO₂, με την ενσωμάτωση όλων των εξεταζόμενων προσδιοριστικών παραγόντων.
- Την ανάπτυξη των μεθοδολογιών ανάλυσης αποδόμησης των εκπομπών CO₂ με βάση τους δείκτες Divisia και Laspeyres, για την εκτίμηση της σχετικής συνεισφοράς των προσδιοριστικών παραγόντων.
- Το σχεδιασμό του σεναρίου αναφοράς (Σενάριο Χωρίς Δράσεις) για την πρόβλεψη των παραμέτρων του υπολογιστικού μοντέλου και των εκπομπών CO₂ το 2020.
- Την επιλογή αντιπροσωπευτικών πολιτικών και μέτρων για τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ και τη μετατροπή του υπολογιστικού μοντέλου έτσι ώστε να ενσωματώνεται ο βαθμός διείδυσης κάθε παρέμβασης.
- Τη διαμόρφωση σεναρίων για την αξιολόγηση του εύρους της αποτελεσματικότητας των μέτρων και πολιτικών ως μεμονωμένων

παρεμβάσεων, καθώς και σε συνδυασμούς.

- Τη διαχείριση της αβεβαιότητας ως προς την αποτελεσματικότητα των συνδυασμένων παρεμβάσεων, με βάση τον ελάχιστο και μέγιστο βαθμό επίδρασης που ασκούν στις παραμέτρους του υπολογιστικού μοντέλου.

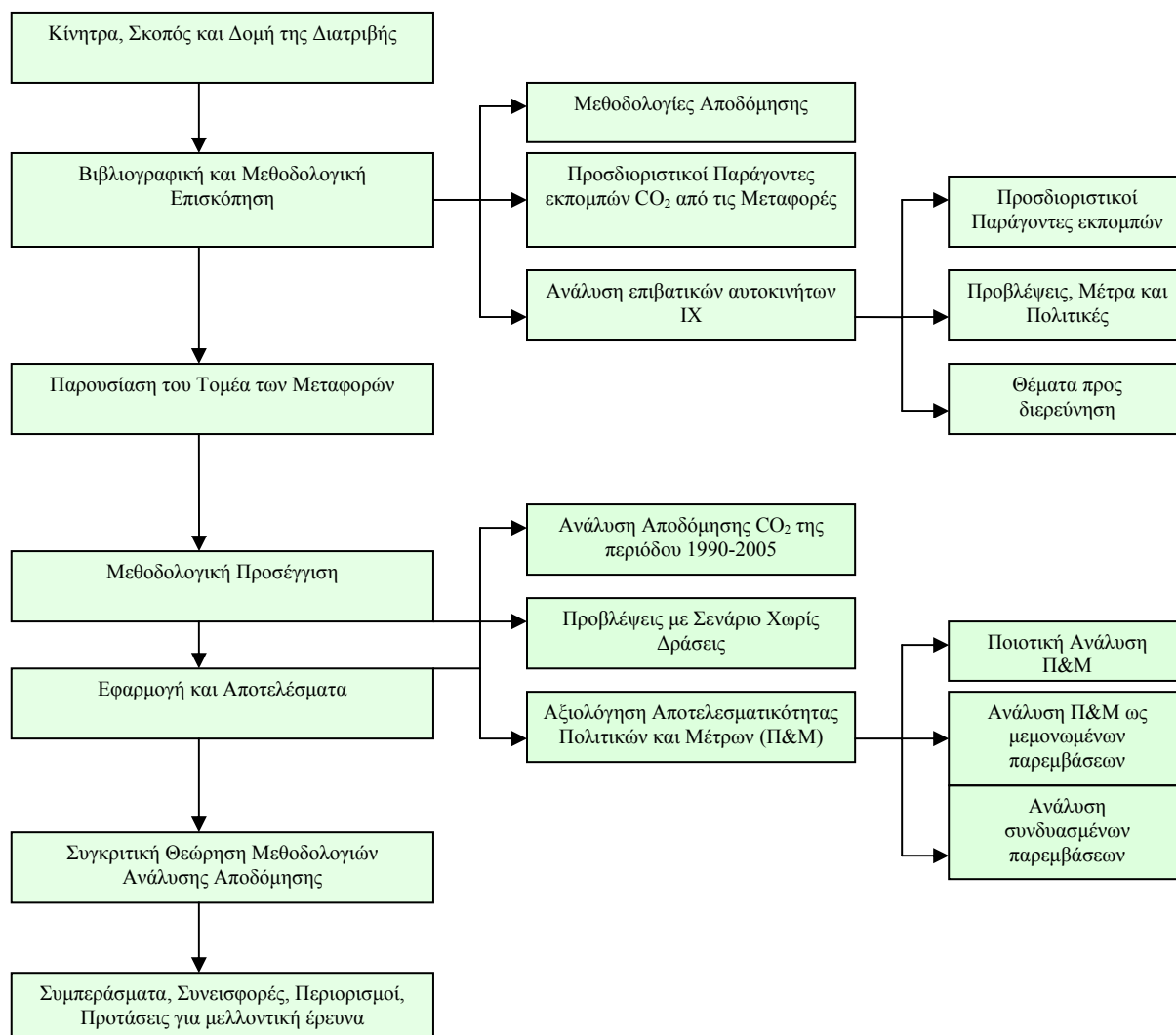
Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται και ερμηνεύονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στον τομέα των επιβατικών αυτοκινήτων με την ακόλουθη σειρά:

- Αναδεικνύεται η σημασία κάθε προσδιοριστικού παράγοντα στην εξέλιξη των εκπομπών CO₂ την περίοδο 1990-2005 στον εξεταζόμενο τομέα.
- Αξιολογούνται τα αποτελέσματα του Σεναρίου Χωρίς Δράσεις σε σχέση με την εξέλιξη των εκπομπών CO₂ μέχρι το 2020.
- Αναπτύσσονται το θεωρητικό υπόβαθρο και οι στόχοι των επιλεγμένων πολιτικών και μέτρων.
- Καταγράφονται τα ειδικά χαρακτηριστικά κάθε παρέμβασης, η ελάχιστη και μέγιστη επίδραση που ασκεί σε συγκεκριμένες παραμέτρους του μοντέλου, καθώς και οι παραδοχές που τις συνοδεύουν.
- Βαθμολογείται η αποτελεσματικότητα κάθε παρέμβασης και προβάλλονται οι διαφορές που προκύπτουν από την αντιμετώπιση ενός συνόλου μέτρων και πολιτικών ως μεμονωμένων και ως συνδυασμένων παρεμβάσεων.
- Περιορίζεται η αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει την αποτελεσματικότητα των συνδυασμένων παρεμβάσεων και η οποία συνδέεται με το εύρος του βαθμού διείσδυσης κάθε παρέμβασης.

Στο **έκτο κεφάλαιο** συγκρίνονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας ανάλυσης αποδόμησης Laspeyres με τα αντίστοιχα της Divisia μεθοδολογίας, ενώ πραγματοποιούνται διάφορες δοκιμές πάνω στις δύο εναλλακτικές εφαρμογές, που στόχο έχουν να αναδείξουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο μεθοδολογιών σχετικά με την ικανότητά τους να διαχειρίζονται πολύπλοκα

μοντέλα στο πλαίσιο της ανάλυσης μεταβολών σε μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** συνοψίζονται τα βασικά αποτελέσματα και συμπεράσματα όλων των επιμέρους σταδίων της διδακτορικής διατριβής. Παρουσιάζονται, επίσης, προτάσεις για μελλοντική έρευνα, με αφορμή τους περιορισμούς και τις αδυναμίες της παρούσας εργασίας.



Σχήμα 1.1. Διάγραμμα ροής της διατριβής

2. Βιβλιογραφική και Μεθοδολογική Επισκόπηση

Στις αρχές της δεκαετίας του 1990 παρατηρείται μία εντατική διερεύνηση του τομέα των μεταφορών ως προς την ευθύνη που φέρει για την εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων, την επιδείνωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις πόλεις και του φαινομένου του θερμοκηπίου. Η κατακόρυφη αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων για τις μεταφορές, εμπορευματικές και επιβατικές, καθιστά τον τομέα αντικείμενο όλο και περισσότερων ερευνητικών μελετών, στις οποίες η μεθοδολογική προσέγγιση του θέματος ξεπερνάει την απλή καταγραφή και ερμηνεία στατιστικών δεδομένων του τομέα και των τάσεων τους και προσανατολίζεται στον επιμερισμό ευθυνών σε καταλυτικούς παράγοντες με θεμελιώδη επίδραση στην ενεργειακή κατανάλωση. Το 1992, οι Schipper et al., στο πλαίσιο της εξέτασης της κατανομής του μεταφορικού έργου στις τέσσερις μεγαλύτερες κατηγορίες μέσω μεταφοράς- αυτοκίνητα, λεωφορεία, τρένα, αεροπλάνα- στα πιο ανεπτυγμένα κράτη μέλη του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) για την περίοδο 1970-1987, οδηγήθηκε σε μία απαισιόδοξη πρόβλεψη για το μέλλον της ενεργειακής κατανάλωσης από τον τομέα. Επιμέρισε δε την κινητήρια δύναμη για την καταναλισκόμενη ενέργεια σε τρεις βασικές συνιστώσες: το συνολικό μεταφορικό έργο, τα μερίδια του συνολικού μεταφορικού έργου που αποδίδονται σε κάθε κατηγορία μέσω μεταφοράς και την ενεργειακή ένταση κάθε κατηγορίας υπολογιζόμενη σε ενέργεια ανά μονάδα μεταφορικού έργου. Η ανάλυση συνοδεύεται από τη θεωρητική προσέγγιση και ερμηνεία της ανησυχητικά αυξανόμενης ενεργειακής έντασης και τη συσχέτιση της εξέλιξης του μεταφορικού έργου με οικονομικούς δείκτες όπως το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ). Ακολουθούν αρκετές παρόμοιες αναλύσεις του τομέα των μεταφορών, ενδεικτικές της τάσης που δημιουργήθηκε για ανάπτυξη μοντέλων προσομοίωσης του τομέα με την ενσωμάτωση ποικίλων συνιστωσών που αφορούν στην ενεργειακή κατανάλωση και, κατ' επέκταση, τις εκπομπές του βασικού αερίου του θερμοκηπίου, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂).

2.1 Μεθοδολογίες αποδόμησης

Το βασικότερο εργαλείο για την ανάλυση της μεταβαλλόμενης ενεργειακής έντασης και των συνεπαγόμενων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αποτέλεσαν οι μεθοδολογίες ανάλυσης αποδόμησης (Decomposition analysis), οι οποίες παρουσιάζουν ευκρινώς τις σχετικές συνεισφορές των συνιστωσών, όπως αυτές έχουν καθοριστεί κάθε φορά στο πλαίσιο του εξεταζόμενου προβλήματος. Στο προαναφερθέν παράδειγμα του Schipper et al. (1992), η μεθοδολογική προσέγγιση της ανάλυσης συνιστωσών βασίζεται σε δύο από τις σημαντικότερες μεθοδολογίες ανάλυσης αποδόμησης με δείκτες, τις Lasreyres και Divisia που θα παρουσιάσουμε αναλυτικά στη συνέχεια, και οι οποίες καθιερώθηκαν σε ανάλογες μελέτες, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκαν και βελτιώθηκαν μέσα στην δεκαπενταετία που ακολούθησε.

Η ιστορία των αναλύσεων αποδόμησης, όμως, ξεκινάει πολύ νωρίτερα, στα τέλη της δεκαετίας του 1970, με κύριο αντικείμενο μελέτης την επίδραση της μεταβολής του μίγματος προϊόντος στη βιομηχανική ενεργειακή ζήτηση. Αφορμή για την ανάπτυξη των συγκεκριμένων μεθοδολογιών υπήρξε η πετρελαϊκή κρίση του 1973/1974 που δημιούργησε την ανάγκη μιας προσεχτικής εξέτασης και κατανόησης των μηχανισμών που επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση. Στη μελέτη της σύνθεσης της βιομηχανικής παραγωγής προϊόντος προστέθηκε σταδιακά και η διερεύνηση της τομειακής ενεργειακής έντασης, δηλαδή ο επιμερισμός της ευθύνης για τη συνολική ενεργειακή ένταση στους διάφορους παραγωγικούς τομείς. Ένας από τους σημαντικότερους μελετητές των μεθοδολογιών αποδόμησης, με συνεισφορά όχι μόνο στην πρακτική εφαρμογή τους αλλά και στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων μαθηματικών προσεγγίσεων, ο Ang B.W., παρουσίασε το 2000 (Ang and Zhang, 2000) μία εκτενή βιβλιογραφική επισκόπηση των βασικών κατηγοριών μοντέλων αποδόμησης, τα οποία διακρίνονται σε μοντέλα με πίνακες εισροών-εκροών (Input-Output Tables), γνωστών επίσης ως δομικών αναλύσεων (Structural Decomposition Analysis) και σε μοντέλα αποδόμησης βασισμένα σε δείκτες (Index Decomposition Analysis). Κατέγραψε, επίσης, το σύνολο των μελετών που τις προτίμησαν, αναδεικνύοντας τις σχετικές αναλύσεις με δείκτες ως τις πλέον διαδεδομένες και αρκετά αποτελεσματικές όχι μόνο για την ανάλυση της βιομηχανικής ζήτησης, αλλά και για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ευρύτερη ενεργειακή κατανάλωση σε

ποικίλους τομείς. Ο βασικός λόγος για τον οποίο βρήκαν μεγάλη ανταπόκριση οι αναλύσεις βάσει δεικτών σε σχέση με τις δομικές αναλύσεις είναι ο περιορισμός των δεδομένων που απαιτούνται στη μεθοδολογία, και συνεπώς η ευκολία στην ανάλυση χρονοσειράς (time-series analysis) καθώς και στη συγκριτική ανάλυση μεταξύ κρατών (cross-country analysis). Οι πίνακες εισροών-εκροών είναι συνήθως συγκεντρωτικοί, δίνοντας τη δυνατότητα προσδιορισμού έμμεσων επιπτώσεων λόγω της ανάδειξης των διασυνδέσεων μέσα στην οικονομία, ενώ οι μεθοδολογίες με δείκτες προσφέρουν τη δυνατότητα λεπτομερούς ανάλυσης των εξεταζόμενων προσδιοριστικών παραγόντων. Οι μεθοδολογίες αποδόμησης με δείκτες επεκτάθηκαν τελικά με γοργό ρυθμό από το 1995 κι έπειτα, καλύπτοντας και άλλα θέματα ενεργειακού και περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος πέραν του βιομηχανικού τομέα.

2.1.1 Σύγκριση μεθοδολογιών ανάλυσης αποδόμησης βάσει δεικτών

Οι επικρατέστερες μεθοδολογίες ανάλυσης αποδόμησης βάσει δεικτών είναι οι Laspeyres και οι Divisia, οι οποίες και εξελίχθηκαν μέσα από την πρακτική εφαρμογή και την προσπάθεια εξάλειψης των μειονεκτημάτων τους.

Οι Laspeyres μεθοδολογίες εισήχθησαν αρχικά από τους Howarth et al. (1991) και Park (1992) με αντικείμενο τη βιομηχανική ενεργειακή κατανάλωση. Βασίζονται ουσιαστικά στους οικονομικούς Laspeyres δείκτες κόστους και ποσότητας, ενώ οι συναρτήσεις υπολογισμού της επίδρασης των συνιστωσών βασίζονται στη λογική των εκατοστιαίων μεταβολών, με πολύ απλή και κατανοητή μορφή. Η επίδραση ενός προσδιοριστικού παράγοντα, μιας συνιστώσας δηλαδή που συνδέεται με τη μεταβολή του ζητούμενου όρου, απομονώνεται καθώς αφήνουμε μόνο τον συγκεκριμένο παράγοντα να μεταβάλλεται στην καθορισμένη περίοδο, ενώ οι υπόλοιποι μένουν σταθεροί στα επίπεδα του έτους βάσης. Στη συμβατική τους μορφή, όμως, οι Laspeyres εφαρμογές αφήναν πολύ μεγάλο υπόλειμμα που δεν επιμεριζόταν στις συνιστώσες της συνάρτησης που όριζε το πρόβλημα, με αποτέλεσμα ένα κομμάτι των εξεταζόμενων μεταβολών να παραμένει ανεξήγητο. Η δημιουργία υπολείμματος οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συνιστωσών, κάτι που συμβαίνει σε όλες τις αναλύσεις τύπου *ceteris paribus*, στις οποίες υπολογίζεται η επίδραση μιας συνιστώσας κρατώντας τις υπόλοιπες σταθερές. Αυτή η έλλειψη ακρίβειας που χαρακτήριζε την αρχική μορφή των μεθοδολογιών Laspeyres αντιμετωπίστηκε τελικά από τον Sun (1998), ο οποίος εισήγαγε μια εξευγενισμένη εκδοχή (Refined

Laspeyres) στην οποία κατανέμεται το υπόλειμμα βάσει της αρχής ότι δημιουργείται 'από κοινού και επομένως ισοκατανέμεται' στις εξεταζόμενες συνιστώσες.

Ένα βασικό πρακτικό πρόβλημα της Refined Laspeyres μεθοδολογίας είναι η πολυπλοκότητα των συναρτήσεων όταν οι συνιστώσες ξεπερνούν τις τρεις. Το πλήθος των συναρτήσεων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της μεθοδολογίας είναι σε αυτές τις περιπτώσεις αποτρεπτικό, όπως θα δείξουμε σε επόμενα κεφάλαια. Υπάρχει όμως και ζήτημα από θεωρητικής μαθηματικής σκοπιάς. Η θεωρία της ισοκατανομής του υπολείμματος μπορεί να αμφισβητηθεί στην περίπτωση που το υπόλειμμα είναι πάρα πολύ μεγάλο σε σχέση με τις μεμονωμένες μεταβολές των συνιστωσών. Άλλωστε η ισοκατανομή βασίστηκε στην αρχή της 'από κοινού ευθύνης' των συνιστωσών χωρίς την ύπαρξη άλλων επιχειρημάτων, αλλά θεωρώντας απλώς ότι δεν υπάρχει λόγος να μην είναι έτσι, όπως αναφέρεται και στον Ang et al. (2003), στο πλαίσιο της αναλυτικής παρουσίασης των 'τέλειων' μεθοδολογιών αποδόμησης, εκείνων δηλαδή που δεν αφήνουν υπόλειμμα ή απλώς το διαχειρίζονται. Στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγεται η ευκολία με την οποία αντιλαμβανόμαστε την προσέγγιση της Laspeyres μεθοδολογίας, με τη βοήθεια των εκατοστιαίων μεταβολών που χαρακτηρίζουν τους αντίστοιχους δείκτες. Επίσης, οι συναρτήσεις που διαμορφώνονται στο πλαίσιο των Laspeyres αναλύσεων δεν αντιμετωπίζουν δυσκολία στην ενσωμάτωση μηδενικών όρων, κάτι που συμβαίνει σε όλες τις μεθοδολογίες αποδόμησης που βασίζονται σε λογαριθμικούς δείκτες, όπως είναι οι Divisia δείκτες.

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 αφήναν 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 που εισήγαγε πολύ νωρίτερα ο Törnqvist (1935).

Η συγκριτική μελέτη του Ang (2004) πάνω στις μεθοδολογίες αποδόμησης με Laspeyres και Divisia δείχνει ξεκάθαρα προς τις τελευταίες, αποδίδοντάς τους σαφώς ανώτερη επιστημονική αξία. Μία σημαντική διαφορά των δύο προσεγγίσεων έγκειται στο συντελεστή βαρύτητας που χρησιμοποιούν για την εκτίμηση της συνεισφοράς κάθε προσδιοριστικού παράγοντα στη μεταβολή του αποδομούμενου όρου. Ενώ στις Laspeyres ο συντελεστής βαρύτητας ενός παράγοντα βασίζεται στην αξία των υπόλοιπων παραγόντων, οι οποίοι μένουν ουσιαστικά αμετάβλητοι, στο έτος βάσης, στις Divisia η συνάρτηση υπολογισμού της συνεισφοράς ενός παράγοντα είναι ένα σταθμισμένο άθροισμα των λογαριθμικών μεταβολών των μεριδίων της αξίας των συνιστωσών στην τελική αξία, σε μορφή επικαμπύλιου ολοκληρώματος. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε δηλαδή εκατοστιαίες μεταβολές, ενώ στη δεύτερη λογαριθμικές. Σύμφωνα με τον Törnqvist et al. (1985), οι λογαριθμικές μεταβολές είναι οι μόνοι συμμετρικοί και προσθετικοί δείκτες των σχετικών μεταβολών, συγκρινόμενοι με τους κλασικούς εκατοστιαίους δείκτες. Ο Ang (2004) δίνει ένα πολύ απλό παράδειγμα για να κατανοήσουμε το θέμα της συμμετρίας: η μεταβολή ενός παράγοντα από 10 τον έτος 0 σε 20 το έτος t, μεταφράζεται σε 100% μεταβολή στο διάστημα [0-t] και -50% στο διάστημα [t-0] με τους εκατοστιαίους δείκτες, ενώ σύμφωνα με τους λογαριθμικούς δείκτες καταλήγουμε σε $\ln(20/10)=0.693$ για το διάστημα [0-t] και $\ln(10/20)=-0.693$ για το διάστημα [t-0]. Μπορεί λοιπόν να είναι πιο ευκολονόητοι οι Laspeyres δείκτες, φαίνεται πως μειονεκτούν όμως ως προς την ακρίβεια και το θεωρητικό τους υπόβαθρο σε σύγκριση με τους Divisia.

Υπάρχουν δύο ειδών μαθηματικές προσεγγίσεις των αναλύσεων αποδόμησης, η πολλαπλασιαστική (multiplicative decomposition) και η προσθετική (additive decomposition). Η διαφορά έγκειται στον τρόπο παρουσίασης μιας μεταβολής σε μια ορισμένη χρονική περίοδο, η οποία στην πολλαπλασιαστική εκδοχή αντιμετωπίζεται ως κλάσμα, ακολουθώντας τη μορφή των οικονομικών δεικτών, ενώ στην προσθετική ως διαφορά. Έτσι, στην πολλαπλασιαστική εκδοχή οι μεταβολές που αποδίδονται σε κάθε συνιστώσα πολλαπλασιαζόμενες πρέπει να ισοδυναμούν με το κλάσμα

μεταβολής του ζητούμενου όρου, ενώ στην προσθετική οι μεταβολές ως διαφορές προστιθέμενες πρέπει να ισοδυναμούν με τη μεταβολή του ζητούμενου όρου στο ορισμένο χρονικό διάστημα. Σε περίπτωση βέβαια που η μεθοδολογία αφήνει υπόλειμμα, οι παραπάνω ισοδυναμίες δεν ισχύουν με αποτέλεσμα να μένει ένα μέρος της μεταβολής του ζητούμενου όρου ανεξήγητο.

Για να γίνουν πιο κατανοητά τα παραπάνω θα δώσουμε ένα παράδειγμα, ορίζοντας ένα πρόβλημα με μία μαθηματική έκφραση. Έστω ότι θέλουμε να εξετάσουμε τη μεταβολή του διοξειδίου του άνθρακα από τα ΙΧ αυτοκίνητα σε μία χρονική στιγμή t . Η ποσότητα CO_2 (C) που εκπέμπεται από ένα αυτοκίνητο που διανύει μία συγκεκριμένη απόσταση (D) τη χρονική στιγμή t μπορεί να καθοριστεί από τρεις βασικές συνιστώσες, τη δραστηριότητα, την ενεργειακή ένταση και το συντελεστή εκπομπών CO_2 ως εξής:

$$C^t = D^t \cdot \left(\frac{e}{D}\right)^t \cdot \left(\frac{C}{e}\right)^t \quad \text{όπου,} \quad (2.1a)$$

C = εκπομπές CO_2

D = διανυθείσα απόσταση

e = κατανάλωση καυσίμου

Η συνάρτηση (I) για ευκολία μπορεί να οριστεί ως εξής:

$$C^t = D^t \cdot E^t \cdot F^t \quad \text{όπου,} \quad (2.1b)$$

E = κατανάλωση καυσίμου ανά διανυθείσα απόσταση

F = συντελεστής εκπομπής CO_2 ανά μονάδα καταναλισκόμενου καυσίμου i

Για να ποσοτικοποιήσουμε τις συνεισφορές των συνιστωσών σε μία χρονική περίοδο $[0-t]$, βέβαια, πρέπει να υπολογίσουμε τις μεταβολές των συνιστωσών στην ορισμένη περίοδο. Οι μεταβολές μπορούν να δοθούν με 2 τρόπους, πολλαπλασιαστικά και προσθετικά:

$$\frac{C^t}{C^0} = \frac{D^t}{D^0} \cdot \frac{E^t}{E^0} \cdot \frac{F^t}{F^0}$$

$$C_t - C_0 = \Delta D_{0-t} + \Delta E_{0-t} + \Delta F_{0-t}$$

Έστω, τώρα, ότι έχουμε i καύσιμα (Παράδειγμα 1). Επιλέγουμε ως προσδιοριστικούς παράγοντες (ή αλλιώς συνιστώσες του ζητούμενου όρου) τη δραστηριότητα, δηλαδή τα μερίδια των οχηματοχιλιομέτρων των αυτοκινήτων ανά καύσιμο και την ενεργειακή ένταση, δηλαδή την ενεργειακή κατανάλωση ανά οχηματοχιλιόμετρο που αντιστοιχεί σε κάθε καύσιμο. Ο συντελεστής εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα από κάθε καύσιμο θεωρείται σταθερός μέσα στο χρονικό διάστημα $[0-t]$. Έστω:

C = εκπομπές CO_2

D_i = μερίδιο οχηματοχιλιομέτρων των αυτοκινήτων με καύσιμο i

E_i = κατανάλωση καυσίμου i ανά οχηματοχιλιόμετρο

F_i = συντελεστής εκπομπής CO_2 ανά μονάδα καταναλισκόμενου καυσίμου i

Η βασική συνάρτηση του προβλήματος που δίνει τις εκπομπές CO_2 τη χρονική στιγμή t είναι επομένως η ακόλουθη:

$$C^t = \sum_i (D_i^t \cdot E_i^t \cdot F_i) \quad (2.2)$$

Η αποδόμηση της μεταβολής των εκπομπών CO_2 την χρονική περίοδο $[0-t]$ με την πολλαπλασιαστική μέθοδο ακολουθεί τη συνάρτηση (2.3):

$$\frac{C^t}{C^0} = \frac{D^t}{D^0} \cdot \frac{E^t}{E^0} \cdot r \quad \text{ή για λόγους συμβολισμού}$$

$$dC_{0-t} = C_t / C_0 = dD_{0-t} \cdot dE_{0-t} \cdot r \quad (2.3)$$

Όπου τα dD και dE αντιστοιχούν στις επιδράσεις των δύο εξεταζόμενων παραγόντων, τη δραστηριότητα και την ενεργειακή ένταση, στη συνολική μεταβολή του CO_2 . Ως r ορίζεται το υπόλειμμα (residual) που δημιουργείται στις ατελείς μεθοδολογίες, και το οποίο παραμένει ανεξήγητο. Οι συντελεστές εκπομπής CO_2 ανά καύσιμο δεν συνεισφέρουν στη μεταβολή του CO_2 εφόσον παραμένουν σταθεροί στην ορισμένη χρονική περίοδο.

Στην προσθετική εκδοχή ακολούθως, η αποδόμηση ορίζεται από τη συνάρτηση (2.4):

$$\Delta C_{0-t} = C_t - C_0 = \Delta D_{0-t} + \Delta E_{0-t} + R \quad (2.4)$$

Όπου, ομοίως, τα ΔD και ΔE αντιστοιχούν στις επιδράσεις της δραστηριότητας και της ενεργειακής έντασης στη συνολική μεταβολή του CO_2 . Ως R ορίζεται το υπόλειμμα. Είναι προφανές ότι οι προσθετικές μεθοδολογίες αποδόμησης έχουν ένα πλεονέκτημα όσον αφορά στην παρουσίαση και άμεση κατανόηση των αποτελεσμάτων, ειδικά στις περιπτώσεις που ο ζητούμενος όρος που αναλύεται (αποδομείται) είναι ποσοτικός. Συχνά επιλέγεται η προσθετική μεθοδολογία ακόμα και στις περιπτώσεις που ο ζητούμενος όρος είναι δείκτης/κλάσμα (Ang and Zhang, 2000).

2.1.2 Μεθοδολογίες Laspeyres

Με βάση το Παράδειγμα 1 του κεφαλαίου 2.1.1, θα παρουσιάσουμε τις αναλυτικές συναρτήσεις της κλασικής μεθοδολογίας Laspeyres (Las) καθώς και της Refined Laspeyres (RL), η οποία επί του παρόντος έχει μόνο προσθετική εκδοχή. Ξεκινώντας από την πολλαπλασιαστική προσέγγιση της κλασικής Laspeyres, οι όροι της συνάρτησης (2.3) αναλύονται ως εξής:

$$dD_{0-t} = \frac{\sum_i (D_i^t \cdot E_i^0 \cdot F_i)}{\sum_i (D_i^0 \cdot E_i^0 \cdot F_i)} \quad (2.5)$$

$$dE_{0-t} = \frac{\sum_i (D_i^0 \cdot E_i^t \cdot F_i)}{\sum_i (D_i^0 \cdot E_i^0 \cdot F_i)} \quad (2.6)$$

$$r = dC_{0-t} / (dD_{0-t} \cdot dE_{0-t}) \quad (2.7)$$

Σε κάθε μία από τις συναρτήσεις (2.5) και (2.6), παρατηρούμε ότι μεταβλητή είναι μόνο η συνιστώσα της οποίας η συνεισφορά στη μεταβολή του CO_2 εξετάζεται, ενώ οι υπόλοιπες μένουν σταθερές στο έτος βάσης. Θεωρούμε δηλαδή ότι καμία άλλη συνιστώσα δεν μεταβάλλεται εκτός από την εξεταζόμενη. Αντίστοιχα, στην προσθετική προσέγγιση, οι όροι της συνάρτησης (2.4) αναλύονται ως εξής:

$$\Delta D_{0-t} = \sum_i (D_i^t \cdot E_i^0 \cdot F_i) - \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^0 \cdot F_i) \quad (2.8)$$

$$\Delta E_{0-t} = \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^t \cdot F_i) - \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^0 \cdot F_i) \quad (2.9)$$

$$R = \Delta C_{0-t} - \Delta D_{0-t} - \Delta E_{0-t} \quad (2.10)$$

Η εξευγενισμένη Laspeyres του Sun (1998) έρχεται να διαχειριστεί το υπόλειμμα R το οποίο δίνεται από τη συνάρτηση (2.11), σύμφωνα με τη λογική ότι προκύπτει από τις συνδυασμένες μεταβολές των προσδιοριστικών παραγόντων. Το R κατανέμεται ακολούθως στις συνιστώσες του προβλήματος, στις οποίες επιμερίζεται ισοδύναμα η ευθύνη, όπως δείχνουν οι συναρτήσεις (2.12) και (2.13).

$$R = \sum_i (D_i^t \cdot E_i^t \cdot F_i) - \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^0 \cdot F_i) = \sum_i ((D_i^t - D_i^0) \cdot (E_i^t - E_i^0) \cdot F_i) \quad (2.11)$$

$$\Delta D_{0-t} = \sum_i ((D_i^t - D_i^0) \cdot E_i^0 \cdot F_i^0) + \frac{1}{2} R \quad (2.12)$$

$$\Delta E_{0-t} = \sum_i (D_i^0 \cdot (E_i^t - E_i^0) \cdot F_i^0) + \frac{1}{2} R \quad (2.13)$$

Στο παράδειγμά μας έχουμε 2 προσδιοριστικούς μεταβλητούς παράγοντες, με αποτέλεσμα οι συναρτήσεις (2.11)-(2.13) να είναι πολύ απλές στην εφαρμογή τους. Το πρόβλημα ξεκινάει με την αύξηση των μεταβλητών και συνεπώς της πολυπλοκότητας των συναρτήσεων που αποτελούν το υπόλειμμα R. Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε 3 μεταβλητές A, B, C, κι έστω ότι συμβολίζουμε τις μεταβολές αυτών σε μια χρονική περίοδο με Xa, Xb, Xc. Το R θα εξαρτάται από όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των Xa, Xb, Xc ως εξής:

$$R = X_a \cdot X_b + X_a \cdot X_c + X_b \cdot X_c + X_a \cdot X_b \cdot X_c$$

Οι δε συνολικές συνεισφορές των 3 προσδιοριστικών παραγόντων θα δίνονται από τις συναρτήσεις:

$$\Delta A = X_a + \frac{1}{2}(X_a \cdot X_b + X_a \cdot X_c + X_b \cdot X_c) + \frac{1}{3}(X_a \cdot X_b \cdot X_c)$$

$$\Delta B = X_b + \frac{1}{2}(X_a \cdot X_b + X_a \cdot X_c + X_b \cdot X_c) + \frac{1}{3}(X_a \cdot X_b \cdot X_c)$$

$$\Delta C = X_c + \frac{1}{2}(X_a \cdot X_b + X_a \cdot X_c + X_b \cdot X_c) + \frac{1}{3}(X_a \cdot X_b \cdot X_c)$$

Εύκολα αντιλαμβάνεται κανείς πόσο επεκτείνονται οι συναρτήσεις αποδόμησης όταν ο αριθμός των παραγόντων ξεπερνάει τους 3. Θα αναφερθούμε ξανά πιο συγκεκριμένα στο πρόβλημα αυτό στο Κεφάλαιο 6, στο οποίο παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του αντικειμένου της παρούσας εργασίας.

2.1.3 Μεθοδολογίες Divisia

Με βάση τη θεωρία των Divisia δεικτών, με λογαρίθμηση και παραγοντοποίηση της συνάρτησης 2.2 παίρνουμε τη μεταβολή:

$$\frac{1}{C} \frac{dC}{dt} = \sum_i \left(\frac{1}{D_i} \frac{dD_i}{dt} + \frac{1}{E_i} \frac{dE_i}{dt} \right) \quad (2.14)$$

Η συνάρτηση (2.14) δείχνει ότι η εκατοστιαία μεταβολή του CO₂ σε μια ορισμένη χρονική στιγμή δίνεται από το άθροισμα των μεταβολών των μεταβλητών συνιστωσών. Ολοκληρώνοντας και τις δύο πλευρές έχουμε:

$$\Delta C_{0-t} = \sum_i \left(\ln \frac{D_i^t}{D_i^0} \cdot w \right) + \sum_i \left(\ln \frac{E_i^t}{E_i^0} \cdot w \right) \quad (2.15)$$

όπου w ο συντελεστής βαρύτητας της μεταβολής ενός παράγοντα. Βάσει και πάλι του Παραδείγματος 1 του κεφαλαίου 2.1.1 θα παρουσιάσουμε τις αναλυτικές συναρτήσεις των AMDI και των πιο εξελιγμένων LMDI μεθοδολογιών.

Η AMDI (Arithmetic Mean Divisia Index), όπως υποδηλώνει και η ονομασία της, έχει ως συντελεστή βαρύτητας έναν αριθμητικό μέσο όρο των μεριδίων των αξιών των συνιστωσών, αναλυμένων στο επίπεδο του τελευταίου δείκτη, στην τελική συνολική αξία. Για να εξηγήσουμε το σχηματισμό του αριθμητικού συντελεστή

βαρύτητας για 2 προσδιοριστικούς παράγοντες, όπως στο Παράδειγμα (1), θα ακολουθήσουμε το συμβολισμό και την ανάλυση που δίνουν οι Ang and Zhang (2000) για τη βαρύτητα των i συνιστωσών, w_i :

$$w_i = C_i^t / C^t$$

Ο σταθμισμένος συντελεστής βαρύτητας, \hat{w}_i , για τον υπολογισμό της επίδραση κάθε προσδιοριστικού παράγοντα σε μια εξεταζόμενη περίοδο $[0-t]$ θα δίνεται βάσει της συνάρτησης του Tönnqvist:

$$\tilde{w}_i = (w_i^0 + w_i^t) / 2$$

Οι όροι της συνάρτησης (2.3) στην AMDI αναλύονται ως εξής:

$$dD_{0-t} = \exp \sum_i (\tilde{w}_i \cdot \ln(D_i^t / D_i^0)) \quad (2.16)$$

$$dE_{0-t} = \exp \sum_i (\tilde{w}_i \cdot \ln(E_i^t / E_i^0)) \quad (2.17)$$

$$r = dC_{0-t} / (dD_{0-t} \cdot dE_{0-t}) \quad (2.18)$$

Αντίστοιχα, στην προσθετική προσέγγιση, οι όροι της συνάρτησης (2.4) αναλύονται ως εξής:

$$\Delta D_{0-t} = \sum_i ((C_i^0 + C_i^t) / 2 \cdot \ln(D_i^t / D_i^0)) \quad (2.19)$$

$$\Delta E_{0-t} = \sum_i ((C_i^0 + C_i^t) / 2 \cdot \ln(E_i^t / E_i^0)) \quad (2.20)$$

$$R = \Delta C_{0-t} - \Delta D_{0-t} - \Delta E_{0-t} \quad (2.21)$$

Στις Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) μεθοδολογίες, ο συντελεστής βαρύτητας βασίζεται στο λογαριθμικό μέσο όρο 2 θετικών αριθμών του Tönnqvist, με αποτέλεσμα να εξαλείφεται το πρόβλημα του υπολείμματος R:

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

Στην πρώτη απόπειρα να διαμορφωθεί συντελεστής βαρύτητας βάσει του λογαριθμικού μέσου, δημιουργήθηκε η LMDI II μεθοδολογία (Ang and Zhang, 2000; Ang et al., 1998), η οποία κατάφερε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα του υπολείμματος. Ως συντελεστή βαρύτητας, στην περίπτωση του Παραδείγματος (1), ισχύει η σχέση:

$$\tilde{w}_i = L(w_i^0, w_i^t) / \sum_i L(w_i^0, w_i^t)$$

Όπου $w_i = C_i^t / C^t$. Το \tilde{w}_i εφαρμόζεται αντίστοιχα στις εξισώσεις (2.16) και (2.17). 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. Η εξέλιξη της LMDI II είναι η πιο άρτια LMDI I (Ang and Liu, 2001) μεθοδολογία, η οποία λύνει και το πρόβλημα της συνάθροισης. Ο συντελεστής βαρύτητας εξελίσσεται ως εξής:

$$\tilde{w}_i = L(C_i^0, C_i^t) / L(C^0, C^t)$$

Οι όροι της συνάρτησης (2.3) στην πολλαπλασιαστική μεθοδολογία αναλύονται ως εξής:

$$dD_{0-t} = \exp \sum_i (L(C_i^t, C_i^0) / L(C^t, C^0) \cdot \ln(D_i^t / D_i^0)) \quad (2.22)$$

$$dE_{0-t} = \exp \sum_i (L(C_i^t, C_i^0) / L(C^t, C^0) \cdot \ln(E_i^t / E_i^0)) \quad (2.23)$$

Αντίστοιχα, στην προσθετική προσέγγιση, οι όροι της συνάρτησης (2.4) αναλύονται ως εξής:

$$\Delta D_{0-t} = \sum_i (L(C_i^t, C_i^0) \cdot \ln(D_i^t / D_i^0)) \quad (2.24)$$

$$\Delta E_{0-t} = \sum_i (L(C_i^t, C_i^0) \cdot \ln(E_i^t / E_i^0)) \quad (2.25)$$

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι η λογαριθμική μορφή των LMDI μεθοδολογιών δημιουργεί δύο βασικούς περιορισμούς. Συγκεκριμένα, είναι απαγορευτική η ύπαρξη αρνητικών και μηδενικών όρων. Στην περίπτωση αρνητικών όρων, κάτι που είναι σχεδόν απίθανο να συμβεί σε αναλύσεις σχετικές με ενεργειακές καταναλώσεις που αναφέρονται σε φυσικά μεγέθη, η εφαρμογή των LMDI είναι προφανώς αδύνατη. Οι μηδενικοί όροι, όμως, δεν είναι καθόλου σπάνιο φαινόμενο, μιας και στις περισσότερες περιπτώσεις εμπεριέχεται στην ανάλυση ο παράγοντας καύσιμο. Σε μια περιοδική ανάλυση με καταναλώσεις καυσίμων είναι πιθανό να υπάρχουν είδη καυσίμων που σε κάποια χρονική στιγμή είτε παύουν να χρησιμοποιούνται, είτε πρωτοεμφανίζονται. Το πρόβλημα των μηδενικών όρων αντιμετωπίστηκε από τον Ang, ο οποίος αντικατέστησε το μηδέν με ένα πολύ μικρό σταθερό θετικό νούμερο (Ang and Liu, 2007; Ang, 2005; Ang et al., 1998) μεταξύ 10^{-10} και 10^{-20} .

Πλεονέκτημα των μεθοδολογιών LMDI αποτελεί η σχέση μεταξύ πολλαπλασιαστικής και προσθετικής προσέγγισης (Ang, 2005), οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους μία πολύ απλή φόρμουλα, η οποία στο Παράδειγμα (1) διαμορφώνεται ως εξής:

$$\Delta C / \ln(dC) = \Delta D / \ln(dD) = \Delta E / \ln(dE)$$

Η σχέση αυτή δίνει τη δυνατότητα να μεταφράζουμε την πολλαπλασιαστική αποδόμηση σε προσθετική και αντιστρόφως, χωρίς να χρειάζεται η παράλληλη εφαρμογή και των 2 μεθοδολογιών.

2.1.4 Μεθοδολογία Shapley

Ο Albrecht et al. (2002) έκανε ορισμένες πολύ σημαντικές παρατηρήσεις πάνω στις μεθοδολογίες Laspeyres και Divisia, ενώ παρουσίασε μία νέα μεθοδολογία χωρίς υπόλειμμα, την Shapley, η οποία οφείλει τη ονομασία της στον μαθηματικό και οικονομολόγο Shapley (1953). Στην κριτική του ανάλυση ο Albrecht αμφισβητεί καταρχήν τη Refined Laspeyres ως προς την επιστημονική αρτιότητά της, βάσει της ελλιπούς επιχειρηματολογίας του Sun (1998) σχετικά με τον επιμερισμό του υπολείμματος. Παράλληλα, αμφισβητεί και την εγκυρότητα των λογαριθμικών Divisia, ειδικά όταν εφαρμόζονται σε πολύπλοκα συστήματα με πολλές συνιστώσες

και για μεγάλες περιόδους. Συγκεκριμένα, αναφέρει ότι η χρήση λογαριθμικών συντελεστών βαρύτητας συνεπάγεται την υπόθεση σταθερού ρυθμού μεταβολής. Αν δεχτούμε, όμως, αυτήν την υπόθεση, ουσιαστικά δεν λογαριάζουμε τη διαδρομή της εξεταζόμενης συνιστώσας από την αρχή προς το τέλος της χρονικής περιόδου που μελετάμε. Άλλο ένα πρόβλημα που επισημαίνεται είναι η κανονικοποίηση του λογαριθμικού συντελεστή βαρύτητας της LMDI μεθοδολογίας, λόγω του ότι το άθροισμα των σταθμισμένων συντελεστών των επιμέρους υποκατηγοριών (\hat{w}_i) είναι πάντα μικρότερο της μονάδας. Τέλος, αναδεικνύεται ως πολύ σημαντικό πρόβλημα η εξάρτηση των Divisia από τη σειρά με την οποία εμφανίζονται οι αλληλοεξαρτώμενοι παράγοντες μέσα στη μαθηματική έκφραση του προβλήματος. Στην ουσία, δηλαδή, τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τη διάταξη των αλληλοεξαρτώμενων συνιστωσών στους υπολογισμούς.

Σύμφωνα με τον Albrecht, η Shapley μεθοδολογία αντιμετωπίζει αποτελεσματικά όλα τα προβλήματα των παραπάνω μεθοδολογιών αποδόμησης, ενώ παράλληλα καταφέρνει να επεξεργάζεται 'συμμετρικά' όλες τις συνιστώσες. Αυτό σημαίνει ότι διαχωρίζει τους προσδιοριστικούς παράγοντες και τους αντιμετωπίζει με τον ίδιο τρόπο, ανεξάρτητα από τη σειρά με την οποία εμφανίζονται στη συνάρτηση του προβλήματος. Έτσι, αν έχουμε s προσδιοριστικούς παράγοντες, θα χρειαστούν $s!$ υπολογισμοί, με κάθε υπολογισμό να βασίζεται σε άλλη σειρά εμφάνισης των παραγόντων, ενώ όλοι οι παράγοντες θα λαμβάνουν τον ίδιο συντελεστή βαρύτητας με βάση το μέσο όρο των $s!$ υπολογισμών. Με βάση τη σχέση Shapley, η συνάρτηση υπολογισμού της επίδρασης της δραστηριότητας D στο Παράδειγμα (1) θα έχει τη μορφή:

$$\Delta D_{0-t} = \sum_{s=1}^2 \frac{(s-1)!(2-s)!}{2!} \cdot \sum_{S:x \in S} (C(S) - C(S-x)) \quad (2.26) \quad \text{ή}$$

$$\Delta D_{0-t} = \frac{1}{2} \cdot \left[\sum_i (D_i^t \cdot E_i^0 \cdot F_i) - \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^0 \cdot F_i) \right] \quad \text{όταν } S = \{D\}$$

$$+ \frac{1}{2} \cdot \left[\sum_i (D_i^t \cdot E_i^t \cdot F_i) - \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^t \cdot F_i) \right] \quad \text{όταν } S = \{D, E\}$$

Όπου x ένας προσδιοριστικός παράγοντας, $C(S)$ η συνάρτηση (2.2) με τη αξία του παράγοντα x στο χρόνο t και των υπόλοιπων παραγόντων στο χρόνο 0 . Αντίστοιχα υπολογίζεται και το ΔE . Είναι προφανής η πολυπλοκότητα των συναρτήσεων σε περίπτωση που έχουμε πάνω από 3 παράγοντες.

Στο πλαίσιο της παρουσίασης των τρεχουσών μεθοδολογιών αποδόμησης, οι Ang et al. (2003) απέδειξαν ότι η Shapley μεθοδολογία είναι ακριβώς η ίδια με τη Refined Laspeyres του Sun (1998), υποβιβάζοντας έτσι τη σημασία της. Μολαταύτα, στο συγκεκριμένο άρθρο του Ang δεν γίνεται κάποιος σχολιασμός των παρατηρήσεων του Albrecht πάνω στην ορθότητα των λογαριθμικών Divisia, κυρίως όταν αυτές εφαρμόζονται σε πολύπλοκα συστήματα με πολλές εξαρτημένες και για μεγάλες χρονικές περιόδους, όπου οι διαδρομές των προσδιοριστικών παραγόντων είναι πιθανόν να χάνονται (πρόβλημα κυκλικότητας). Νωρίτερα, οι Ang and Zhang (2000) είχε ήδη αναφερθεί στο πρόβλημα της κυκλικότητας, σχολιάζοντας ότι κανένας αριθμητικός δείκτης δεν μπορεί να το λύσει. Πολύ αργότερα, στο άρθρο των Ang and Liu (2007), γίνεται αναφορά, σε μορφή υποσημείωσης, στο θέμα της κανονικοποίησης του λογαριθμικού συντελεστή βαρύτητας της LMDI I μεθοδολογίας, υποστηρίζοντας ότι η στάθμιση αυτή διασφαλίζει συνέπεια στη συνάθροιση των υποκατηγοριών. Στο συγκεκριμένο άρθρο συγκρίνονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή Laspeyres και Divisia μεθοδολογιών σε μία αποδόμηση της ενεργειακής κατανάλωσης στις Η.Π.Α από τρεις τομείς, της κατασκευαστικής βιομηχανίας, των εμπορευματικών και των επιβατικών μεταφορών. Το συμπέρασμα του άρθρου είναι ότι μεθοδολογίες με υπόλειμμα, όπως η κλασική Laspeyres, είναι μάλλον ακατάλληλες για ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων που τείνουν να παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές μέσα στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

2.1.5 Λοιπές μεθοδολογίες αποδόμησης

Οι Laspeyres, Divisia και Shapley μεθοδολογίες είναι χωρίς αμφιβολία οι πλέον διαδεδομένες και συζητημένες μεθοδολογίες ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων. Από τις υπόλοιπες μεθοδολογίες ξεχωρίζουμε τρεις που κινούνται, ως ένα βαθμό, στη βάση των Laspeyres, χωρίς να αφήνουν υπόλειμμα, τις Fisher, Paasche και Marshall-Edgeworth.

Η μεθοδολογία Paasche (Doblin, 1988) έχει παρόμοια λογική με τη Laspeyres, με μόνη διαφορά ότι οι συνιστώσες που περιβάλλουν τον παράγοντα του οποίου την επίδραση εξετάζουμε, μένουν σταθερές στο έτος t της περιόδου $[0-t]$, αντί του έτους βάσης. Χαρακτηρίζεται δηλαδή η Paasche από μία ανασκοπική ματιά σε σχέση με τη Laspeyres. Οι συναρτήσεις (4) και (7), για παράδειγμα, μετατρέπονται αντίστοιχα στις (2.27) και (2.28):

$$dD_{0-t} = \frac{\sum_i (D_i^t \cdot E_i^t \cdot F_i)}{\sum_i (D_i^0 \cdot E_i^t \cdot F_i)} \quad (2.27)$$

$$\Delta D_{0-t} = \sum_i (D_i^t \cdot E_i^t \cdot F_i) - \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^t \cdot F_i) \quad (2.28)$$

Η προσθετική μεθοδολογία Marshall-Edgeworth (Ang and Lee, 1994) αποτελεί επίσης παρακλάδι της Refined Laspeyres (RLI), ενώ καταλήγει στην ίδια φόρμουλα με την αντίστοιχη της RLI για το πλήθος 2 προσδιοριστικών παραγόντων, ξεκινώντας από μία γενική φόρμουλα, η οποία για το Παράδειγμα (1) και την επίδραση του προσδιοριστικού παράγοντα D , δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} \Delta D_{0-t} = \frac{1}{2} \cdot [& (\sum_i (D_i^t \cdot E_i^0 \cdot F_i) - \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^0 \cdot F_i)) \\ & + (\sum_i (D_i^t \cdot E_i^t \cdot F_i) - \sum_i (D_i^0 \cdot E_i^t \cdot F_i))] \end{aligned} \quad (2.29)$$

Τέλος, η πολλαπλασιαστική μεθοδολογία Fisher (Ang et al., 2004) βασίζεται στο γεωμετρικό μέσο των RLI και Paasche, όπως φαίνεται από τη συνάρτηση (2.30) για την επίδραση dD του Παραδείγματος (1):

$$dD_{0-t} = \left(\frac{\sum_i (D_i^t \cdot E_i^0 \cdot F_i)}{\sum_i (D_i^0 \cdot E_i^0 \cdot F_i)} \cdot \frac{\sum_i (D_i^t \cdot E_i^t \cdot F_i)}{\sum_i (D_i^0 \cdot E_i^t \cdot F_i)} \right)^{1/2} \quad (2.30)$$

2.2 Αναλύσεις αποδόμησης στον τομέα των μεταφορών

Στην πρώιμη φάση τους οι αναλύσεις αποδόμησης έτυχαν ευρείας χρήσης κυρίως στη μελέτη του συνολικού οικονομικού τομέα, καθώς και του πολύ ενεργοβόρου βιομηχανικού τομέα (Park, 1992; Howarth et al., 1991), ο οποίος παρουσίαζε έντονο

ενδιαφέρον λόγω της μεγάλης ευαισθησίας της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης στο κόστος των καυσίμων και τους περιορισμούς που επέβαλλαν οι περιβαλλοντικές πολιτικές με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης και των εκπομπών αερίων ρύπων. Οι τεχνολογικές βελτιώσεις, άλλωστε, στο βιομηχανικό τομέα έχουν άμεσα και ξεκάθαρα αποτελέσματα. Οι αναλύσεις αποδόμησης, συνεπώς, βασίζονται σε οικονομικούς δείκτες, όπως το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) και η προστιθέμενη αξία, οι οποίοι αντικατοπτρίζουν την παραγωγική δραστηριότητα και τη σχετική της ενεργειακή ένταση. Σταδιακά, διερευνάται και η περιβαλλοντική διάσταση του ενεργειακού προβλήματος, όσον αφορά τόσο στο βιομηχανικό τομέα (Diakoulaki and Mandaraka, 2007; Liaskas et al., 2000;), όσο και στους υπόλοιπους ενεργοβόρους τομείς της οικονομίας (Diakoulaki et al., 2006), ενώ οι εκπομπές CO₂ αποτελούν πλέον βασικό αντικείμενο των αναλύσεων αποδόμησης.

Γρήγορα, όμως, φάνηκε και η βαρύτητα άλλων τομέων εκτός του οικονομικού και βιομηχανικού, όπως του οικιακού και των μεταφορών, στις οποίες παρατηρήθηκε αλματώδης αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Στο πλαίσιο της καταγραφής των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου με έτος βάσης το 1990, σύμφωνα με τις υποχρεώσεις που απορρέουν από το Πρωτόκολλο του Κιότο, οι μεταφορές αναδείχθηκαν ως ο τομέας με τον ταχύτερο ρυθμό αύξησης εκπομπών, καθώς και με συνεχώς αυξανόμενο μερίδιο στο σύνολο των εκπομπών. Η ιδιαιτερότητα του τομέα των μεταφορών έγκειται στη δυσκολία επιλογής κατάλληλων προσδιοριστικών παραγόντων, αφού δεν υφίστανται οικονομικοί δείκτες με αξιόπιστη σύνδεση με τη μεταφορική δραστηριότητα και οι οποίοι θα μπορούσαν να συσχετιστούν με τις κατηγοριοποιήσεις των διεθνών βάσεων ενεργειακών δεδομένων (Farla and Blok, 2000; Lakshmanan and Han, 1997). Δεν είναι τυχαίο λοιπόν που οι αναλύσεις αποδόμησης στράφηκαν εμφανώς σε αυτόν τον τομέα, σε μια προσπάθεια να αντιμετωπιστούν τα μεθοδολογικά προβλήματα προσέγγισής του και να επιμεριστούν κατάλληλα οι ευθύνες για την ανοδική πορεία της κατανάλωσης καυσίμων.

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του τρέχοντος κεφαλαίου, ο Schipper et al. (1992), πριν από δύο δεκαετίες εξέτασε τη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης ανά μέσο επιβατικών μεταφορών σε οχτώ ανεπτυγμένες χώρες για την περίοδο 1970-1987. Ακολουθώντας τη μεθοδολογική προσέγγιση του Schipper, ο Danielis (1995) χρησιμοποίησε τη Laspeyres μεθοδολογία αποδόμησης για να κατανοήσει τις

ευθύνες που φέρουν παράγοντες με καταλυτικό ρόλο στη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης από τις επιβατικές και εμπορευματικές μεταφορές στην Ιταλία, μέσα στην περίοδο 1975-1991. Ο Danielis, ακολουθώντας το παράδειγμα του Schipper, εκτίμησε την επίδραση της ενεργειακής έντασης και της σύνθεσης του κάθε τομέα (επιβατικό και εμπορευματικό) ανά μεταφορικό μέσο στην ενεργειακή ένταση, περικλείοντας και κοινωνικο-οικονομικούς δείκτες στην ανάλυση. Αναφέρεται δε εκτενώς στη μεγάλη αβεβαιότητα των στατιστικών δεδομένων που αφορούν στον τομέα των μεταφορών, με έμφαση στο πρόβλημα της σύμπτυξης των δύο τομέων, επιβατικό και εμπορευματικό, στα επίσημα ενεργειακά ισοζύγια, το οποίο μπορεί να αντιμετωπιστεί μόνο με ιδιαίτερες αμφισβητούμενες υποθέσεις. Τα συμπεράσματα του Danielis συμπίπτουν σε πολλά σημεία με αυτά του Schipper, επιβεβαιώνοντας την καταλυτική στροφή προς πιο εντατικά μεταφορικά μέσα και την αδυναμία των νέων τεχνολογιών να την αντισταθμίσουν.

Προσδιοριστικές παράμετροι

Η ενεργειακή ένταση για τον τομέα των μεταφορών έχει ήδη αρχίσει να αντιμετωπίζεται με διαφορετική λογική σε σύγκριση με τη μορφή που έχει στο βιομηχανικό τομέα. Η μεταφορική δραστηριότητα ποσοτικοποιείται σε μονάδες κατάλληλες για συγκριτική ανάλυση των διαφορετικών μέσων μεταφοράς. Για τις επιβατικές μεταφορές συναντάμε τα επιβατοχιλιόμετρα (passenger-kilometers ή pkm), ενώ για τις εμπορευματικές τα τονοχιλιόμετρα (tonne- kilometers ή tkm). Οι Kiang and Schipper (1996), στην ανάλυση, με βάση τη Laspeyres μεθοδολογία, των επιβατικών και εμπορευματικών μεταφορών στην Ιαπωνία για την περίοδο 1965-1993 διατυπώνουν την προτίμησή τους στην έκφραση της ενεργειακής έντασης ως ενεργειακής κατανάλωσης ανά μονάδα δραστηριότητας, με το απλό σκεπτικό ότι πρόκειται για έναν πιο ουσιαστικό δείκτη της τάσης του τομέα. Ο Stead (2001) παρουσιάζει για τα 15 Ευρωπαϊκά κράτη μέλη της EE15 και τα δύο είδη δεικτών, αποδίδοντας στο κλάσμα της ενεργειακής χρήσης ανά μεταφορική δραστηριότητα την έννοια της μεταφορικής ενεργειακής αποτελεσματικότητας, ενώ ονομάζει οικονομική αποδοτικότητα το ΑΕΠ ανά δραστηριότητα. Ο πρώτος δείκτης είναι σαφώς ο πλέον χρησιμοποιούμενος για την έκφραση της αποδοτικότητας/έντασης του τομέα. Άλλωστε, όπως εξηγεί ο Stead, ο οικονομικής φύσης δείκτης υπόκειται σε μια σειρά περιορισμών όταν συνυπολογίζονται θέματα ευημερίας και βιωσιμότητας.

Το βέβαιο είναι ότι οι συσχετισμοί των δεικτών της οικονομικής δραστηριότητας (ΑΕΠ), της μεταφορικής δραστηριότητας (pkm/tkm) και της ενεργειακής κατανάλωσης, θεωρούνται ιδιαιτέρως χρήσιμοι για την περιγραφή των βασικών τάσεων του τομέα και τη διερεύνηση σημείων αποσύζευξης των μεταφορών από τη συνολική οικονομία (Tapio et al., 2007; Banister and Stead, 2003).

Υπάρχει, βέβαια, μια βασική διαφοροποίηση της έννοιας της μεταφορικής δραστηριότητας στον εμπορευματικό από τον επιβατικό και τομέα, η οποία έγκειται στο πόσο ολοκληρωμένα εκφράζει τα βασικά χαρακτηριστικά του τομέα που αντιπροσωπεύει. Ο Schipper et al. (1997), στο πλαίσιο της αποδόμησης με τη μεθοδολογία Laspeyres των μεταβολών της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂ από τις εμπορευματικές μεταφορές σε 10 αναπτυγμένες χώρες για την περίοδο 1973-1992, σχολιάζει την αδυναμία του δείκτη δραστηριότητας των εμπορευματικών μεταφορών (τονοχιλιόμετρα) να εκφράσει την αξία του φορτίου, την απόσταση που διανύεται για ένα συγκεκριμένο προϊόν, καθώς και την προστιθέμενη αξία των μεταφερόμενων προϊόντων, η οποία με τη σειρά της επηρεάζεται από τον τόπο των παραγωγών των πρώτων υλών, των δευτερογενών αγαθών, των διανομέων, των πωλητών, των τελικών καταναλωτών. Το δε συνολικό βάρος του φορτίου αναλογικά με τη χωρητικότητα σχετίζεται με τα ποικίλα χαρακτηριστικά της παραγωγικής δραστηριότητας των κρατών, ενώ η μεγάλη αύξηση της μετακίνησης μη πλήρων φορτηγών θεωρείται ενδεικτική της αυξημένης ενεργειακής έντασης. Οι Leonardi and Baumgartner (2004) πρότειναν την αντικατάσταση των τονοχιλιομέτρων από τα μάζα-χιλιόμετρα (mass-kilometres), το άθροισμα δηλαδή της μάζας του οχήματος και του φορτίου.

Για τις ανάγκες της ανάλυσης του συνολικού τομέα των μεταφορών, η μεταφορική δραστηριότητα χρειαζόταν να εκφραστεί με μια μονάδα που να επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ επιβατικών και εμπορευματικών μεταφορών. Ο Peake (1994) εισήγαγε την έννοια της Καθαρής Μαζικής Μετακίνησης, KMM (Net Mass Movement ή NMM), και συνέδεσε το επιβατικό και εμπορευματικό μεταφορικό έργο σε μία ποσότητα, μετατρέποντας τα επιβατοχιλιόμετρα σε ισοδύναμα τονοχιλιόμετρα βάσει του μέσου βάρους επιβατών και αποσκευών σε ένα επιβατικό αυτοκίνητο. Ο Stead (2001) βελτίωσε τη μονάδα KMM, επανεξετάζοντας το μέσο βάρος και

αναπροσαρμόζοντάς το στα 90 κιλά.

Ο δείκτης της ενεργειακής έντασης ως ενεργειακής κατανάλωσης ανά μονάδα μεταφορικής δραστηριότητας χρησιμοποιήθηκε πολύ σε αναλύσεις αποδόμησης καθώς και σε επεξεργασίες των ενδεικτικών τάσεων που χαρακτηρίζουν τον τομέα των μεταφορών. Ο Scholl et al., (1996) αποδομεί τις άμεσες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από τις επιβατικές μεταφορές 9 κρατών του ΟΟΣΑ για την περίοδο 1973-1992, εστιάζοντας στις επιδράσεις της μεταφορικής δραστηριότητας, της ενεργειακής έντασης, του μείγματος καυσίμων, και της σύνθεσης των μεταφορικών μέσων. Συνδυάζει δε την ενεργειακή ένταση και το μείγμα καυσίμων για να σχηματίσει τις εκπομπές CO₂ ανά επιβατοχιλιόμετρο, τη συνιστώσα, δηλαδή, ένταση εκπομπών CO₂ (CO₂ intensity). Η ανάλυση, η οποία βασίζεται στην κλασική Laspeyres πολλαπλασιαστική μεθοδολογία αφήνοντας ένα ανεξήγητο υπόλειμμα το οποίο κρίνεται μικρό από το συγγραφέα, αναδεικνύει ως βασικές υπεύθυνες για την αύξηση των εκπομπών CO₂ την αυξανόμενη δραστηριότητα και τη μεταφορική σύνθεση. Το άρθρο ολοκληρώνεται με μια συνεπτυγμένη αναφορά σε πολιτικές για τον περιορισμό των εκπομπών, εκ των οποίων σημαντικότερες φέρονται η φορολόγηση της μετακίνησης και η προώθηση εναλλακτικών καυσίμων.

Οι Schipper et al. (1997) και Greening et al. (1999) εστιάζουν στην αποδόμηση των εκπομπών CO₂ συγκεκριμένα από τις εμπορευματικές μεταφορές στις πολύ αναπτυγμένες χώρες, με βάση τη Laspeyres και την Adaptive Weighted Divisia μεθοδολογία αντίστοιχα. Οι προσδιοριστικοί παράγοντες που εξετάζονται περιλαμβάνουν τη δομή ανά μέσο μεταφοράς, τη μεταφορική δραστηριότητα εκφρασμένη σε τονοχιλιόμετρα, την ενεργειακή ένταση και το μείγμα καυσίμων. Εντοπίζονται και στα 2 άρθρα πορίσματα που αφορούν στην έξαρση της ενεργειακής κατανάλωσης, η οποία μπορεί να συγκριθεί μόνο με εκείνη των επιβατικών μεταφορών, καθώς και τη σημαντική επίδραση που ασκούν οι φορολογίες των καυσίμων και των μεταφερόμενων προϊόντων.

Σχεδόν μία δεκαετία αργότερα, οι Kveiborg and Fosgerau (2007) προχωρούν στην ανάλυση της αύξησης της κίνησης (οχηματοχιλιόμετρα) και του έργου (τονοχιλιόμετρα) των εμπορευματικών μεταφορών στη Δανία. Εφαρμόζουν την Divisia μεθοδολογία, ψάχνοντας ουσιαστικά την αποσύζευξη των δύο δεικτών της

μεταφορικής δραστηριότητας από την αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας, μέσα από μία ενδεδειγμένη εξέταση ποικίλων καταλυτικών παραμέτρων όπως η βιομηχανική παραγωγή και το μείγμα παραγωγής, το μέγεθος των φορτηγών, το μεταφερόμενο βάρος, το ποσοστό των άδειων οχημάτων.

Την ίδια περίοδο, οι Lu et al. (2007) αποδομούν, με βάση την προσθετική AMDI (Arithmetic Mean Divisia Index), τις εκπομπές CO₂ συγκεκριμένα από τις οδικές μεταφορές, συγκρίνοντας τρεις ασιατικές χώρες (Ταϊβάν, Ιαπωνία, Ν.Κορέα) και μία ευρωπαϊκή (Γερμανία). Η ανάλυση διαφέρει από τις προηγούμενες του είδους ως προς τις συνιστώσες που πραγματεύεται, οι οποίες καταρχήν είναι εντελώς διακριτές. Συνδυάζονται δε ενεργειακοί, μεταφορικοί και οικονομικοί δείκτες. Εξετάζονται το κλάσμα των συνολικών εκπομπών προς τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση από τις οδικές μεταφορές, η συνολική ενεργειακή κατανάλωση προς τα συνολικά οχήματα, το κατά κεφαλή πλήθος οχημάτων, ο πληθυσμός ανά ΑΕΠ και το συνολικό ΑΕΠ ως προς τη σχετική τους συνεισφορά στη μεγάλη αύξηση των εκπομπών CO₂, μέσα σε τέσσερις χρονικές περιόδους από το 1990 μέχρι το 2002. Μία ακόμα βασική διαφοροποίηση της μελέτης των Lu et al. έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπολογίζονται οι εκπομπές CO₂ από το συνδυασμό των συγκεκριμένων παραμέτρων. Αντιθέτως, τα στατιστικά δεδομένα των εκπομπών CO₂ παρέχονται αυτούσια από τη διεθνή βάση δεδομένων του ΟΟΣΑ, ενώ το πλήθος των οχημάτων προέρχεται από διαφορετική βάση, κάτι που υποβιβάζει την αξιοπιστία της μεθοδολογίας.

Η κατανόηση των παραγόντων που ευθύνονται για την αύξηση των εκπομπών CO₂ από τις συνολικές μεταφορές στις αναπτυσσόμενες ασιατικές χώρες είναι επίσης το κεντρικό ζητούμενο σχετικής μελέτης της Παγκόσμιας Τράπεζας (Timilsina and Shrestha, 2009). Οι 6 παράγοντες που εξετάζονται, με βάση τη λογαριθμική Divisia μεθοδολογία, σχετίζονται με τη δομή του τομέα, το μείγμα καυσίμων, τους συντελεστές εκπομπής CO₂, την τομεακή ενεργειακή ένταση, τον πληθυσμό και την κατά κεφαλή οικονομική ανάπτυξη, εκ των οποίων οι τρεις τελευταίοι αναγνωρίζονται ως οι βασικοί υπεύθυνοι της ραγδαίας αύξησης των αέριων εκπομπών. Μέρος της θεωρητικής ανάλυσης της έκθεσης είναι και η διερεύνηση των βασικών πολιτικών που θα μπορούσαν να συνεισφέρουν στον περιορισμό της μεταφορικής ζήτησης, καθώς και στη μείωση της μέσης ενεργειακής έντασης. Επιτυχημένα μέτρα που έχουν ήδη εφαρμοστεί θεωρούνται η υψηλή φορολόγηση

των καυσίμων και τα κίνητρα για την προτίμηση οχημάτων μικρού μεγέθους και εναλλακτικού τύπου καυσίμων, ενώ προτείνονται η προώθηση των δημόσιων μέσων μεταφοράς, η αύξηση του μέσου αριθμού επιβατών ανά όχημα και εναλλακτικά οικονομικά εργαλεία για την αντιμετώπιση της κυκλοφοριακής συμφόρησης.

Οι μελλοντικές τάσεις της ενεργειακής έντασης και των εκπομπών CO₂ από τις μεταφορές, καθώς και μια εκτενής παράθεση πολιτικών και μέτρων για τον περιορισμό τους, αποτελούν το αντικείμενο του άρθρου των Michaelis and Davidson (1996). Οι συγγραφείς παρακολουθούν και αξιολογούν τις διεθνείς εξελίξεις σε φορολογικά σχήματα, επιδοτήσεις χαμηλής κατανάλωσης οχημάτων και πολιτικές προώθησης ήπιων μέσων μεταφοράς, χαμηλού κυβισμού οχήματα και φιλικής στο περιβάλλον οδήγησης. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην αποτελεσματικότητα του συνδυασμού μέτρων και πολιτικών στο χώρο των μετακινήσεων με επιβατικά αυτοκίνητα, παραπέμποντας στην πιθανότητα αύξησης της χρήσης από μέτρα που απλώς δημιουργούν περισσότερο χώρο για μετακίνηση, όπως ο έλεγχος στάθμευσης. Στο ευαίσθητο αυτό θέμα δίνει πολύ μεγάλη έμφαση αργότερα και ο Metz (2008) στο βιβλίο του 'The limits to travel', επιχειρηματολογώντας με βάση τη σκιαγράφηση των θεμελιωδών χαρακτηριστικών της ανθρώπινης μετακίνησης. Αναφέρει χαρακτηριστικά ότι ο ταξιδιώτης αντιλαμβάνεται τα οφέλη των νέων υποδομών για οδικές μεταφορές ως δυνατότητα έξτρα πρόσβασης και όχι οικονομίας χρόνου. Πρέπει, δηλαδή, να προσανατολιστούμε σε πολιτικές μείωσης της χρήσης και της ταχύτητας του αυτοκινήτου με κάθε τρόπο, αλλά βεβαίως και σε ανάπτυξη τεχνολογιών μηδενικών εκπομπών CO₂. Έναν προσανατολισμό στην εξέταση των ανθρώπινων μετακινήσεων μέσα από το πρίσμα κοινωνικο-οικονομικών δομών δίνει ήδη το 2001 ο Preston, ο οποίος προκαλεί την αναζήτηση της αμφίδρομης σχέσης μετακίνησης-ζήτησης. Τα μοτίβα ανθρώπινης δραστηριότητας, η οικογενειακή δομή, το εισόδημα, η αγορά, τα δημογραφικά δεδομένα συνεισφέρουν συνολικά στη διαμόρφωση των μετακινήσεων, όπως στην επιλογή του μέσου μεταφοράς και την ένταση της χρήσης.

2.3 Ανάλυση επιβατικών αυτοκινήτων

Τα στατιστικά δεδομένα που εμπεριέχονται στις ετήσιες αναφορές της Eurostat (2010, 2009) σχετικά με την εξέλιξη των δεικτών της ενέργειας και των μεταφορών

στην ΕΕ δείχνουν ξεκάθαρα την κυριαρχία των οδικών μεταφορών. Ειδικά στο κομμάτι των επιβατικών μεταφορών, τα επιβατικά αυτοκίνητα καλύπτουν πάνω από 70% της κίνησης, ποσοστό που δεν έχει σχεδόν καθόλου μεταβληθεί από το 1990. Παράλληλα, τα αυτοκίνητα παρουσιάζουν μία συνεχή ετήσια αύξηση που, ανάλογα με τη χώρα, κυμαίνεται από 1% μέχρι και 6% κατά μέσο όρο όπως συμβαίνει στην περίπτωση της Ελλάδας. Δεδομένου κιόλας ότι δεν υφίστανται εύκολες και ασφαλείς συνταγές, όπως στο βιομηχανικό τομέα, για την εξοικονόμηση ενέργειας και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων, η ανοδική αυτή τάση είναι τουλάχιστον ανησυχητική, με αποτέλεσμα να γίνεται σταδιακά εμφανής η ανάγκη αντιμετώπισης των προβλημάτων ανάλυσης του τομέα.

Η δυσκολία στην ανάλυση των τάσεων της κατηγορίας των επιβατικών αυτοκινήτων βρίσκεται σε πολλά στάδια. Ένα βασικό πρόβλημα αφορά στην αναζήτηση και συλλογή των κατάλληλων στατιστικών δεδομένων. Στην περίπτωση που δεν διεξάγεται πρωτογενής έρευνα με συλλογή πληροφοριών από την πηγή, κάτι σχετικά χαώδες όταν αναφερόμαστε στο στόλο των αυτοκινήτων, η ανάλυση βασίζεται ουσιαστικά σε εθνικές και διεθνείς βάσεις δεδομένων και εκτιμήσεις μελετητών. Ο André (1999), στο πλαίσιο του χρηματοδοτούμενου από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή προγράμματος MEET (Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport) συμπέρανε ότι ακόμα και τα πλέον ‘κοινά’ στατιστικά δεδομένα των διαθέσιμων πηγών, όπως η κατανομή της μεταφορικής κίνησης στα διαφορετικά μεταφορικά μέσα, χαρακτηρίζονται από σημαντική έλλειψη αξιοπιστίας, ασυνέπεια και αβεβαιότητα. Πόσω μάλλον όταν εφαρμόζονται διαφορετικές μεθοδολογίες επεξεργασίας και εκτίμησης δεδομένων, ενώ και η κάλυψη των υποκατηγοριών του στόλου των αυτοκινήτων είναι ανεπαρκής ή λιγότερο λεπτομερής από το απαιτούμενο.

2.3.1 Προσδιοριστικές παράμετροι

Αν εξαιρέσουμε τα στατιστικά στοιχεία για το πλήθος και είδος των αυτοκινήτων σε χρήση, τα οποία σε γενικές γραμμές θεωρούνται αρκετά αξιόπιστα, υπάρχουν πολλές άλλες παράμετροι που μπορούν να αξιοποιηθούν σε αναλύσεις του τομέα και οι οποίες εκτιμώνται μόνο βάσει πολλών υποθέσεων. Οι συνολικές και μέσες διανυθείσες αποστάσεις, τα επιβατοχιλιόμετρα, το μέσο επιβατικό φορτίο, η μέση ταχύτητα και η κατανομή της μεταφορικής κίνησης στα διαφορετικά είδη του

οδικού δικτύου αποτελούν βασικές περιγραφικές παραμέτρους, κάποιες από τις οποίες είτε αλληλεξαρτώνται είτε σχετίζονται με ακόμα πιο εξειδικευμένα χαρακτηριστικά, όπως η ηλικία των οχημάτων (Zachariadis et al., 2001). Οι Ζαχαριάδης και Σαμαράς (Zachariadis and Samaras, 2001), δύο επιστήμονες με πλούσιο βιογραφικό σχετικό με τον τομέα των μεταφορών, αξιολόγησαν τις επίσημες διεθνείς βάσεις δεδομένων συνδυάζοντας τα παρεχόμενα στοιχεία μεταφορικής κίνησης, για τις χώρες της ΕΕ, με τα αντίστοιχα ενεργειακά στατιστικά και παρατηρώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την ενεργειακή αποδοτικότητα και τις ειδικές καταναλώσεις καυσίμων. Τα συμπεράσματα ήταν αποθαρρυντικά, φανερώνοντας μεγάλες αδυναμίες στην καταγραφή της πραγματικής εικόνας. Αναδεικνύεται δε το φαινόμενο της κυκλικής εξάρτησης κατά τον υπολογισμό πολλών παραμέτρων, όπως των διανυθέντων χιλιομέτρων (οχηματοχιλιομέτρων) και της ενεργειακής κατανάλωσης, με εντελώς αναξιόπιστα αποτελέσματα. Σε ένα τελικό και πολύ σημαντικό συμπέρασμα, οι συγγραφείς παραπέμπουν στις κατευθυντήριες οδηγίες του προαναφερθέντος προγράμματος MEET, στο οποίο συστήνεται η ανεξάρτητη συλλογή δεδομένων για τα οχηματοχιλιόμετρα και τις ειδικές καταναλώσεις καυσίμων, καθώς και η σύγκριση των εκτιμώμενων ενεργειακών καταναλώσεων με τα αντίστοιχα στοιχεία των ενεργειακών ισοζυγίων.

Οι υποχρεώσεις των κρατών ως προς την τήρηση των δεσμεύσεων που απορρέουν από το Πρωτόκολλο του Κιότο δημιούργησαν την ανάγκη για ποιοτικές και αξιόπιστες εκτιμήσεις των εθνικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Τίθεται, επιπλέον, θέμα αποτίμησης της αποτελεσματικότητας πολιτικών και μέτρων για το μελλοντικό περιορισμό των εκπομπών. Σε κάθε περίπτωση, κρίθηκε απαραίτητη η διερεύνηση εναλλακτικών μεθοδολογιών που θα αντιμετώπιζαν το πρόβλημα έλλειψης δεδομένων στον τομέα των μεταφορών. Οι Ντζιαχρήστος και Σαμαράς (Ntziachristos and Samaras, 2000) δημιούργησαν, με τη χρηματοδότηση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (European Environment Agency, EEA), το μοντέλο εκτίμησης εκπομπών ρύπων COPERT (Computer programme to calculate emissions from road transport), στο οποίο κατηγοριοποιούνται τα οχήματα με βάση το καύσιμο που καταναλώνουν, τον κυβισμό τους και τις τεχνολογικές προδιαγραφές των μηχανών καύσης, ενώ προτείνονται τυπικές ειδικές καταναλώσεις, εκφρασμένες σε μάζα καυσίμου ανά διανυθείσα απόσταση (gr/km) για κάθε κατηγορία. Εισάγει

επίσης το διαχωρισμό των διανυθέντων χιλιομέτρων ανά τύπο οδικού δικτύου (πόλης, αγροτικό, ταχείας κυκλοφορίας). Για τον υπολογισμό εκπομπών ανά μέσο μεταφοράς επιμερίζεται η τελική ενεργειακή κατανάλωση που καταγράφεται στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο βάσει των διανυθέντων χιλιομέτρων. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε ευρέως από τα κράτη-μέλη της ΕΕ για τις εθνικές απογραφές αερίων εκπομπών από τις οδικές μεταφορές, καθώς και για μελλοντικές προβλέψεις.

Η μέση ειδική κατανάλωση του στόλου των αυτοκινήτων, εκφρασμένη συνήθως σε l/100km, καθιερώθηκε ως βασικός δείκτης μέσα από πολλές αναλύσεις και περιγραφές του τομέα των μεταφορών, καθώς συνδέεται με κοινωνικο-οικονομικές μεταβολές, όντας ενδεικτική της τάσης για οχήματα μεγαλύτερου κυβισμού και όγκου. Οι Van den Brink and Van Wee (2001) διερευνούν τις αιτίες που σχετίζονται με το 'πάγωμα' της μέσης ειδικής κατανάλωσης του Ολλανδικού στόλου από το 1990 κι έπειτα, το οποίο έρχεται σε αντίθεση με την έως τότε παρατηρούμενη μείωση που συνδέεται με την εισαγωγή νέων καλύτερων τεχνολογιών με λιγότερη ενεργειακή κατανάλωση. Μοιράζουν τις ευθύνες στη διαφημιστική προώθηση από τις αυτοκινητοβιομηχανίες και στη ζήτηση από τους καταναλωτές αυτοκινήτων πολυτελέστερων, ταχύτερων και ογκωδών. Αναφέρονται δε και στο πρόβλημα της αποτίμησης της πραγματικής (on-road) ειδικής κατανάλωσης των αυτοκινήτων, η οποία επηρεάζεται καταλυτικά από τον τρόπο οδήγησης, την κυκλοφοριακή συμφόρηση, την ταχύτητα, τα ενεργοβόρα συστήματα κλιματισμού, την πίεση των ελαστικών. Το συγκεκριμένο θέμα έχει συζητηθεί πολύ στην πρόσφατη βιβλιογραφία, από την οποία προκύπτει ένα σημαντικό χάσμα μεταξύ της επίσημης και της πραγματικής ειδικής κατανάλωσης που κυμαίνεται από 7% έως 25% ανάλογα με τη μελέτη (Fontaras and Samaras, 2007; Kwon, 2006; Zachariadis, 2006; Shipper and Tax, 1994).

Στους πιο σημαντικούς παράγοντες που ευθύνονται για την τελική διαμόρφωση της μέσης ειδικής κατανάλωσης ενός στόλου συγκαταλέγεται ο κυβισμός της μηχανής του αυτοκινήτου, τον οποίο αναφέρουμε συχνά και ως μέγεθος μηχανής. Ένας από τους πιο συστηματικούς μελετητές της μετακίνησης με επιβατικά αυτοκίνητα, ο Kwon, στο πλαίσιο της εξέτασης των παραγόντων που συνέβαλλαν στην εξέλιξη της μέσης ειδικής κατανάλωσης των αυτοκινήτων στη Μεγάλη Βρετανία την περίοδο 1978-2000 (Kwon, 2006) επιβεβαίωσε την καθοριστική αύξηση του μεριδίου των

μεγάλου μεγέθους αυτοκινήτων, η οποία αντιστάθμισε τα οφέλη των τεχνολογικών βελτιώσεων.

Το βάρος των αυτοκινήτων ως σημαντική προσδιοριστική παράμετρος της ενεργειακής κατανάλωσης, η επίδραση που ασκεί στην ενεργειακή κατανάλωση και η δυνατότητα περιορισμού του αποτελούν το αντικείμενο μελέτης των Zervas and Lazarou (2008). Παρουσιάζουν την ανοδική τάση που παρουσιάζει το μέσο βάρος του στόλου των αυτοκινήτων στην ΕΕ και προτείνουν δύο παράλληλους δρόμους αντιμετώπισης. Ο ένας απαιτεί τη συνδρομή των αυτοκινητοβιομηχανιών με την απαλλαγή των οχημάτων από πολυτελή και δευτερεύοντα εξαρτήματα. Σαν δεύτερο δρόμο προτείνουν φορολογικά σχήματα με στόχο την αύξηση του μεριδίου των μικρών αυτοκινήτων στο συνολικό στόλο. Προβλέποντας τις μελλοντικές εκπομπές CO₂ με διαφορετικά σενάρια καταλήγουν στη εκτίμηση σημαντικού οφέλους από τον περιορισμό του μέσου βάρους των αυτοκινήτων.

Η επιλογή του τύπου καυσίμου, όπως προκύπτει μέσα από την εξέταση των μεριδίων των αυτοκινήτων ανά καύσιμο, αποτελεί επίσης κλειδί στην εξέλιξη της μέσης ειδικής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂. Η παρουσίαση των μέσων ειδικών καταναλώσεων που αντιστοιχούν στα σύνολα των αυτοκινήτων με βάση το καύσιμο που χρησιμοποιούν, γίνεται όλο και πιο συχνή, ειδικά σε εκθέσεις των ερευνητικών και στατιστικών κέντρων της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (JRC, 2003), ενώ αναφέρεται πλέον ως ένταση ή αποδοτικότητα καυσίμου, καθώς επίσης και ως μέση ενεργειακή ένταση ή αποδοτικότητα όταν αφορά στο σύνολο των αυτοκινήτων. Εκτός από τον δείκτη όμως της μέσης ενεργειακής έντασης (fuel intensity/economy), εκφρασμένης σε l/100km, εμφανίζεται παράλληλα και η μέση ένταση CO₂ (CO₂ intensity) εκφρασμένη σε g CO₂/km, ως πιο ξεκάθαρα περιβαλλοντικός δείκτης.

Η επίδραση της διείσδυσης νέων τεχνολογιών στη μέση ενεργειακή ένταση και τη μέση ένταση CO₂ στις χώρες της ΕΕ, στο παρόν και το μέλλον, παρουσιάζεται αναλυτικά στη σχετική μελέτη που δημοσιεύτηκε από το ερευνητικό κέντρο JRC το 2003, αντιστοιχίζοντας πολλές φορές κατάλληλα νέες τεχνολογίες με νέες μορφές καυσίμων. Η πρόβλεψη της εξέλιξης της μέσης ενεργειακής έντασης των αυτοκινήτων στην Ευρώπη είναι το κεντρικό θέμα και του Ζαχαριάδη (Zachariadis, 2006). Βασίζεται δε σε μία προσεχτική ιστορική ανάλυση των τάσεων των

κατασκευαστών και των καταναλωτών, παρατηρώντας τις μεταβολές στις τεχνολογίες των μηχανών, του μέσου όγκου των οχημάτων και της μέσης ισχύος, καθώς και την αντίδραση της αγοράς στις φορολογίες των καυσίμων και την προώθηση εναλλακτικών τύπων καυσίμων, όπως των υβριδικών.

2.3.2 Προβλέψεις και πολιτικές

Η πρόβλεψη της εξέλιξης του τομέα των μεταφορών με επιβατικά αυτοκίνητα προϋποθέτει μία πολύ καλή συλλογή και ανάλυση των ιστορικών δεδομένων, καθώς και τη δημιουργία κατάλληλων σεναρίων ώστε να αποτυπωθούν τα μέτρα και οι πολιτικές που δύνανται να αντιμετωπίσουν τις αναγνωσμένες αδυναμίες της κάθε εξεταζόμενης περίπτωσης. Ο σχεδιασμός των σεναρίων δεν μπορεί παρά να αποτελείται και από πολλές υποθέσεις όσον αφορά στους ποικίλους αστάθμητους παράγοντες, όπως η ανταπόκριση της αγοράς στη φορολόγηση της μετακίνησης και την προώθηση των εναλλακτικών τύπων καυσίμων, αλλά και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σχεδιαζόμενων μέτρων.

Η συμβολή των αυτοκινητοβιομηχανιών με την παραγωγή νέων βελτιωμένων μηχανών καύσης, καθώς και οχημάτων ελαφρύτερων και πιο αεροδυναμικών, η προώθηση των λιγότερο ενεργοβόρων πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων και η διείσδυση των υβριδικών ανήκουν στα σίγουρα και δυνατά χαρτιά της επόμενης εικοσαετίας. Ο Ζαχαριάδης (Zachariadis, 2006) ασχολείται με το δυναμικό που ουσιαστικά έχουν οι συγκεκριμένες παρεμβάσεις όσον αφορά στη μείωση της μέσης ενεργειακής έντασης, τονίζοντας ότι η επίτευξη δραστικών αποτελεσμάτων συνεπάγεται πρόσθετα μέτρα που θα αποτρέψουν την πιθανότητα φαινομένων ‘αναπήδησης’ (rebound effect), την εκμετάλλευση, δηλαδή, της δυνατότητας που προσφέρεται από τη μειωμένη ενεργειακή ένταση των βελτιωμένων οχημάτων για περισσότερες μετακινήσεις. Όπως αναφέρεται στο σχετικό άρθρο των A. Greening et al. (2000), το φαινόμενο ‘αναπήδησης’ έχει ήδη αναγνωριστεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 ως υπαρκτός κίνδυνος στον ενεργειακό τομέα, όταν το κόστος των καυσίμων ευνοεί την αυξημένη χρήση τους. Στις ιδιωτικές οδικές μετακινήσεις, το φαινόμενο ‘αναπήδησης’ μπορεί να συνδέεται όχι μόνο με το κόστος των καυσίμων, αλλά και με όποια παρέμβαση μειώνει την κατανάλωση καυσίμου ανά μετακίνηση, άρα και το τελικό κόστος της μετακίνησης, όπως προσηγορεύουν οι de Haan et al. (2007) και Ryan et al. (2009). Στο ίδιο ύφος, οι Meyer and Wessely

(2009) επισείουν την προσοχή στη αύξηση της μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης του αυστριακού στόλου επιβατικών αυτοκινήτων λόγω της αντίστοιχης αύξησης του μεριδίου των αποδοτικότερων, σε σύγκριση με τα βενζινοκίνητα, πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Παρατηρούν ότι τα οφέλη της αυξημένης αποδοτικότητας υπερκαλύφθηκαν από τον παράγοντα απόσταση, διαφωνούν με την ενίσχυση των καυσίμων πετρελαίου και προτείνουν την προώθηση των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων.

Το πολύ σοβαρό ζήτημα του περιορισμού των μετακινήσεων με συμβατικά αυτοκίνητα τίθεται στο επίκεντρο των σεναρίων για την πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης και των εκπομπών αερίων. Οι Bose (1998) και Difulio and Fulton (2000), με γεωγραφικό προσανατολισμό την Ινδία και τις Η.Π.Α αντίστοιχα, δημιουργούν σενάρια αναφοράς με στόχο τη μελέτη σεναρίων με μέτρα και πολιτικές για τη μείωση εκπομπών αερίων το 2010. Βασική προϋπόθεση είναι η προβολή προσδιοριστικών συνιστωσών στο μέλλον, όπως το πλήθος των αυτοκινήτων και η μεταφορική δραστηριότητα, οι οποίες σε συνδυασμό με τις σχετικές ενεργειακές εντάσεις αρκούν για την εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Τα μέτρα που εξετάζονται έχουν κοινή αφετηρία το στόχο της προώθησης ήπιων μέσων μεταφοράς, καθαρότερων καυσίμων, αποτελεσματικότερων τεχνολογιών. Τα οικονομικά μέτρα όπως η φορολόγηση των καυσίμων, τα διόδια, η χρηματοδότηση των δημόσιων μεταφορών, θεωρούνται τα ικανότερα για την επίτευξη των στόχων της περιβαλλοντικής πολιτικής.

Η πρόβλεψη του πλήθους αυτοκινήτων βασίζεται σε ποικίλες μεθόδους. Συναντάμε προβλέψεις με βάση ιστορικούς ετήσιους ρυθμούς μεταβολής (Bose, 1998), ελαστικότητες που επηρεάζονται από το κόστος των καυσίμων (Hayashi, 2001; Difulio and Fulton, 2000; Kirby, 2000), ή άλλες παραμέτρους που συνδέονται με τη χρήση των αυτοκινήτων όπως η ηλικία των οχημάτων, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και τα μέτρα αντιμετώπισής της, καθώς και οι οδικές υποδομές (Zachariadis, 1995). Ελαστικότητα παρουσιάζεται σε σχέση με τις μεταβολές όχι μόνο του κόστους της μετακίνησης, αλλά και του εισοδήματος και των λειτουργικών εξόδων, ενώ παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ βραχυπρόθεσμης (short-term) και μακροπρόθεσμης (long-term) ελαστικότητας (Fosgerau, 2004). Συναντάμε, επιπλέον, την εκτίμηση της ζήτησης αυτοκινήτων με βάση τη μικροοικονομική θεωρία

ζήτησης και τις συναρτήσεις μεγιστοποίησης οφέλους, οι οποίες απαιτούν τον καθορισμό συνολικών δαπανών και μεταβλητών κόστους των οχημάτων και των γενικής χρήσης αγαθών (Meyer, 2007).

Η ύπαρξη αξιόπιστων, συστηματικών και αναλυτικών στατιστικών στοιχείων σε συνδυασμό με τον πολιτικό προγραμματισμό και την προβολή φιλόδοξων περιβαλλοντικών πολιτικών για τον τομέα των μεταφορών φαίνεται πως αρκούν για να πυροδοτήσουν σχετικές μελέτες προβλέψεων. Το αγγλικό σύστημα παρείχε τις παραπάνω συνθήκες, με αποτέλεσμα, την τριετία 2005-2007, τρία άρθρα να πραγματεύονται την πρόβλεψη της μεταφορικής δραστηριότητας, του πλήθους των οχημάτων και των εκπομπών CO₂ για το 2030, με βάση λεπτομερείς χρονοσειρές των διανυθέντων αποστάσεων ανά είδος μετακίνησης και ανά πληθυσμιακή ομάδα (Hickman and Banister, 2007; Chatterjee and Gordon, 2006; Kwon, 2005). Τα σενάρια διακρίνονται στην προώθηση οχημάτων μικρότερου μεγέθους, εναλλακτικών καυσίμων και δημόσιων μέσων, την αντιμετώπιση της αστικής συμφόρησης, τις τεχνολογικές προόδους. Ο Kwon διαχωρίζει σε πακέτα τις πολιτικές για τη διείσδυση των εναλλακτικών οχημάτων και τη μείωση της μέσης ισχύος του στόλου, ενώ προχωράει και στο συνδυασμό αυτών με στόχο την ενδυνάμωση της αποδοτικότητάς τους.

Η διαφοροποίηση των μετακινήσεων ανάλογα με τις ανάγκες που καλύπτουν, καθώς και με βάση την απόσταση, απασχολεί και τους Nicolas and David (2009), οι οποίοι αξιοποιούν τη σχετική στατιστική έρευνα του 1994 στη Γαλλία για την εκτίμηση των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα. Η προσέγγιση του θέματος συνοδεύεται και από οικονομικοκοινωνική ανάλυση για την καλύτερη κατανόηση των τάσεων που δημιουργούνται και την επιλογή των κατάλληλων πολιτικών. Ένα πολύ ενδιαφέρον σχόλιο σχετίζεται με την ορθότητα της εκτεταμένης χρήσης των παραδοσιακών οικονομικών εργαλείων, τα οποία κρίνονται μεν κατάλληλα για τη μετακίνηση σε μεγάλες αποστάσεις, αλλά δημιουργούν κοινωνική δυσφορία και αίσθημα ανισότητας όταν συμπαρασύρουν και τις μικρότερες και επιτακτικότερες μετακινήσεις.

Το θέμα της επιλογής κατάλληλων μέτρων και πολιτικών διευρύνεται όλο και περισσότερο, σε μια προσπάθεια να καλυφθούν όλες οι δυνατότητες περιορισμού των αερίων εκπομπών, ενόψει των απαιτητικών στόχων που θέτουν οι χώρες. Οι Grazi

and van den Bergh (2008) συνηγορούν υπέρ μιας πιο αστικής αντιμετώπισης του προβλήματος, με έμφαση στον προσεχτικό μακροχρόνιο σχεδιασμό των πόλεων που θα αποτρέπει τη χρήση αυτοκινήτων, αλλά και με μία σειρά από πρόσθετα μέτρα, όπως η κοστολόγηση των χώρων στάθμευσης, η φορολόγηση των αυτοκινητόδρομων και της χρήσης γης με στόχο την πυκνότερη συγκέντρωση κατοίκων και υπηρεσιών στο κέντρο, ο δακτύλιος, καθώς και εκπαιδευτικές και διαφημιστικές εκστρατείες με στόχο την αλλαγή νοοτροπίας των οδηγών. Η αξιολόγηση των πολιτικών αυτών γίνεται ποιοτικά, βάσει τεσσάρων κριτηρίων, την οικονομική ανταποδοτικότητα, την αποτελεσματικότητα, τη διασφάλιση ισότητας (δικαίου) και την δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου. Ο Mandell (2009) κατηγοριοποιεί και μελετάει τα τρέχοντα ευρωπαϊκά μέτρα που στοχεύουν στα επιβατικά αυτοκίνητα από τη σκοπιά της προθυμίας του καταναλωτή να πληρώσει ('willingness to pay'). Το μοντέλο του ισορροπεί το κόστος της μετακίνησης και την ανταπόκριση των οδηγών, προβλέποντας τη μελλοντική εξέλιξη της έντασης CO₂ (CO₂ ανά διανυθείσα απόσταση). Το σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει και την ανταπόκριση των αυτοκινητοβιομηχανιών στη ζήτηση για αποδοτικότερη μετακίνηση, δείχνει τη σημασία της στάσης των καταναλωτών στην εμφάνιση κάθε νέου μέτρου και την αλληλεπίδραση που παρουσιάζουν συνολικά οι πολιτικές.

Θα πρέπει να επισημάνουμε ότι εκτός από τις μακροσκοπικού τύπου μεθοδολογίες πρόβλεψης της ενεργειακής κατανάλωσης και των αέριων εκπομπών που βασίζονται σε απλά στατιστικά δεδομένα του στόλου των οχημάτων, συντελεστές εκπομπών και κατάλληλες υποθέσεις, υφίστανται και μοντέλα αναλυτικής προσομοίωσης του τομέα των μεταφορών, με την ενσωμάτωση πολλών παραμέτρων τεχνολογικής και οικονομικής φύσης. Στο πλαίσιο του Transforum 2007, χρηματοδοτούμενου από το 6^ο Πρόγραμμα Πλαίσιο (FP6) της ΕΕ, αξιολογούνται τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην ΕΕ την τελευταία 20ετία ως προς την ικανότητά τους να ενσωματώνουν και να αποτιμούν προγραμματισμένες πολιτικές, όπως η φορολόγηση των καυσίμων και των οχημάτων με βάση τις εκπομπές CO₂, οι ενεργειακές και οικονομικές πολιτικές και η προώθηση εύκολης εναλλαγής μεταξύ των μέσων μεταφοράς. Ξεχωρίζουμε το μοντέλο TREMOVE, το οποίο σχεδιάστηκε για να μελετάει την επίδραση περιβαλλοντικών σεναρίων στην κατανομή του μεταφορικού έργου στα διάφορα μέσα μεταφοράς, στα χαρακτηριστικά του στόλου (πλήθος,

ηλικία, τεχνολογία) και στις τελικές εκπομπές CO₂, (De Ceuster, et al., 2006). Το TREMOVE θεωρείται το βασικότερο εργαλείο αποτίμησης πολιτικών στην ΕΕ που αφορούν στις μεταφορές (Fontaras et al., 2007), επιτρέποντας την ταυτόχρονη εξέταση ενός μεγάλου εύρους μεταβλητών. Ο κίνδυνος, βέβαια, που υπάρχει σε αυτού του είδους τα υπολογιστικά μοντέλα είναι η δυνατότητα να αναπτυχθούν σε τέτοιο βαθμό ώστε να καθίστανται δυσνόητα και δυσλειτουργικά.

2.3.3 Αναλύσεις αποδόμησης

Στη διάρκεια της βιβλιογραφικής επισκόπησης συναντήσαμε αρκετές εφαρμογές των μεθοδολογιών αποδόμησης των εκπομπών CO₂ από τον τομέα των μεταφορών, μία σύνοψη των οποίων παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.1. Ελάχιστες όμως παραμένουν οι εφαρμογές με αποκλειστικό αντικείμενο την ιδιωτική μετακίνηση με επιβατικά αυτοκίνητα, άρα και την εις βάθος διερεύνηση της ραγδαίας ανάπτυξης του συγκεκριμένου τομέα.

Η σημαντικότερη σχετική μελέτη εξήχθη από τον Kwon το 2005, ο οποίος διερευνά τη συνεισφορά τριών βασικών συνιστωσών που καθορίζουν τις εκπομπές CO₂ από τον στόλο της Μ. Βρετανίας την περίοδο 1970-2000, του πληθυσμού, της δραστηριότητας και της έντασης CO₂ ανά μονάδα δραστηριότητας. Η διανυθείσα απόσταση αποδομείται περαιτέρω στο μεταφορικό έργο και τον αριθμό επιβατών ανά όχημα. Επίσης η ένταση CO₂ ανά διανυθείσα απόσταση μπορεί να προσδιοριστεί περαιτέρω από την ειδική κατανάλωση ανά καύσιμο και τον αντίστοιχο συντελεστή CO₂. Ο Kwon εφαρμόζει στη συνέχεια τη λογαριθμική Divisia μεθοδολογία LMDI I για να υπολογίσει τη σχετική συνεισφορά των προσδιοριστικών παραγόντων. Ο παράγοντας της κατά κεφαλή διανυθείσας απόστασης αναδεικνύεται ως ο κύριος υπεύθυνος για την αύξηση των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα στην εξεταζόμενη περίοδο, με συνυπεύθυνο τον υπό συρρίκνωση μέσο αριθμό επιβατών ανά αυτοκίνητο. Η μελέτη του Kwon δίνει μια διαφορετική κατεύθυνση στη διερεύνηση των προσδιοριστικών παραγόντων της μεταβολής των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα, προσανατολιζόμενος στην κάλυψη των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της ιδιωτικής επιβατικής μετακίνησης.

Μόλις το 2008, ο Lu στο πλαίσιο της διδακτορικής διατριβής του εφαρμόζει την απλή παραμετρική Divisia μεθοδολογία για την αποδόμηση της ενεργειακής κατανάλωσης

από τα επιβατικά αυτοκίνητα και τα δίκυκλα της Ταϊβάν, για την περίοδο 1990-2005. Οι πέντε συνιστώσες που εξετάζει είναι απολύτως διακριτές, ενώ η τελική ενεργειακή κατανάλωση συμμετέχει αυτούσια στο σύνολο των συνιστωσών και δεν υπολογίζεται από τον συνδυασμό τους, γεγονός που θεωρούμε ότι μειώνει την αξία της μεθοδολογίας.

2.4 Θέματα προς διερεύνηση

Ο Πίνακας 2.1 συνοψίζει τις πιο διαδεδομένες αναλύσεις αποδόμησης με αντικείμενο τον τομέα των μεταφορών. Στις προσδιοριστικές παραμέτρους που εξετάζονται συγκαταλέγονται το μεταφορικό έργο, η διανυθείσα απόσταση, το πλήθος των οχημάτων, το ΑΕΠ, καθώς και η ενεργειακή ένταση εκφρασμένη σε κατανάλωση καυσίμων ανά μονάδα κάθε μίας από τις αναφερθείσες παραμέτρους. Συναντάμε επίσης τον συνδυασμό όλων των παραμέτρων με τον παράγοντα πληθυσμό για την διαμόρφωση των κατά κεφαλή δεικτών. Τέλος, εκτός από την επιλογή μέσου μεταφοράς, που απασχόλησε τις πρώτες σχετικές μελέτες, εμφανίζεται όλο και πιο συχνά ο τύπος καυσίμου ως προσδιοριστικός παράγοντας της εξέλιξης της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών CO₂.

Στο μεθοδολογικό πεδίο παρατηρούμε μία σαφή προτίμηση των μεθοδολογιών Lasreyres και Divisia, ενώ οι τελευταίες κερδίζουν συνεχώς έδαφος. Η συζήτηση γύρω από τις μεθοδολογίες αποδόμησης πάντως παραμένει ανοιχτή, με αναπάντητα ερωτήματα ως προς την καταλληλότητα αυτών για αναλύσεις μεγάλων χρονικών περιόδων και πολλών αλληλοεξαρτώμενων συνισταμένων. Ο Πίνακας 2.2 συνοψίζει τις πιο διαδεδομένες μεθοδολογίες αποδόμησης και τις ιδιότητές του, όπως αυτές προσδιορίζονται από τις επιδόσεις τους σε πολύ βασικά τεστ (Ang, 2000). Τη μεγαλύτερη κάλυψη των επιθυμητών ιδιοτήτων παρουσιάζουν οι LMDI I και RLI μεθοδολογίες, με αποτέλεσμα να θεωρούνται και οι καταλληλότερες προς εφαρμογή και διερεύνηση. Επιπλέον, η καταλληλότητα των μεθοδολογιών αποδόμησης για την ανάλυση προβλέψεων είναι ένα θέμα προς διερεύνηση. Μέχρι σήμερα δεν έχει υπάρξει ανάλογη εφαρμογή, ενώ ο Ang (2000) το περικλείει στα πεδία προς μελλοντική εξέταση.

Πίνακας 2.1. Σύνοψη αναλύσεων αποδόμησης στον τομέα των μεταφορών

Μελέτη	Πεδίο	Χώρα	Περίοδος	Προσδιοριστικοί Παράγοντες	Μεθοδολογία
Schipper et al., 1992	επιβατικές μεταφορές	χώρες ΟΟΣΑ	1970-1987	$E = w \cdot \sum_i \left(S_{w_i} \cdot \frac{E_i}{w_i} \right)$ $\frac{E}{w} = \sum_i \left(S_{w_i} \cdot \frac{E_i}{w_i} \right)$	AMDI, Laspeyres
Danielis, 1995	συνολικές μεταφορές	Ιταλία	1975-1991	$E = w \cdot \sum_i \left(S_{w_i} \cdot \frac{E_i}{w_i} \right)$ $\frac{E}{w} = \sum_i \left(S_{w_i} \cdot \frac{E_i}{w_i} \right)$	Laspeyres
Kiang and Schipper, 1996	συνολικές μεταφορές	Ιαπωνία	1965-1993	$E = w \cdot \sum_i \left(S_{w_i} \cdot \frac{E_i}{w_i} \right)$	Laspeyres
Scholl et al., 1996	επιβατικές μεταφορές	χώρες ΟΟΣΑ	1973-1991	$C = w \cdot \sum_i \left(S_{w_i} \cdot \frac{C_i}{w_i} \cdot \left(\sum_j \left(\frac{C_{ij}}{E_{ij}} \cdot \frac{E_{ij}}{w_{ij}} \right) \right) \right)$	Laspeyres
Schipper et al., 1997	εμπορευματικές μεταφορές	χώρες ΟΟΣΑ	1973-1992	$E = w \cdot \sum_i \left(S_{w_i} \cdot \frac{E_i}{w_i} \right)$ $C = \sum_j \left(E_j \cdot \frac{C_j}{E_j} \right)$	Laspeyres
Greening et al., 1999	εμπορευματικές μεταφορές	χώρες ΟΟΣΑ	1971-1993	$\frac{C}{w} = \sum_i \sum_j \left(\frac{C_{ij}}{E_{ij}} \cdot \frac{E_{ij}}{E_i} \cdot \frac{E_i}{w_i} \cdot \frac{w_i}{w} \right)$	AMDI
Kwon, 2005	ΙΧ αυτοκίνητα	Μ. Βρετανία	1970-2000	$C = P \cdot \frac{D}{P} \cdot \frac{C}{D}$ $\frac{D}{P} = \frac{w}{P} \cdot \frac{D}{w}$ $\frac{C}{D} = \sum_j \left(\frac{D_j}{D} \cdot \frac{E_j}{D_j} \cdot \frac{C_j}{E_j} \right)$ $C = P \cdot \left(\frac{w}{P} \cdot \frac{D}{w} \right) \cdot \sum_j \left(\frac{D_j}{D} \cdot \frac{E_j}{D_j} \cdot \frac{C_j}{E_j} \right)$	LMDI I
Lu et al., 2007	επιβατικές μεταφορές	Ασιατικές χώρες και Γερμανία	1990-2002	$C = \frac{C}{E} \cdot \frac{E}{V} \cdot \frac{V}{P} \cdot \frac{P}{GDP} \cdot GDP$	AMDI
Lu, 2008	ΙΧ αυτοκίνητα, δίκυκλα	Ταϊβάν	1990-2005	$E = \frac{E}{D} \cdot \frac{D}{V} \cdot \frac{V}{P} \cdot \frac{P}{GDP} \cdot GDP$	AWDI
Timilsina and Shrestha, 2009	συνολικές μεταφορές	Ασιατικές χώρες	1980-2005	$C = \sum_i \sum_j \left(\frac{C_{ij}}{E_{ij}} \cdot \frac{E_{ij}}{E_i} \cdot \frac{E_i}{E} \cdot \frac{E}{GDP} \cdot \frac{GDP}{P} \cdot P \right)$	LMDI I

E: ενεργειακή κατανάλωση, C: εκπομπές CO₂, w: μεταφορικό έργο (pkm/tkm), D: διανυθείσα απόσταση (νkm), P: πληθυσμός, GDP: ΑΕΠ, S: μερίδιο, i,j: δείκτες μέσου μεταφοράς και τύπου καυσίμου αντίστοιχα.

Η ανάγκη βιώσιμης ανάπτυξης του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα είναι ορατή σήμερα περισσότερο από ποτέ. Από τα επίσημα στατιστικά δεδομένα προκύπτει με βεβαιότητα ότι οι οδικές μεταφορές καταναλώνουν το μεγαλύτερο μέρος των καυσίμων για μετακίνηση (ΥΠΕΚΑ, 2009), με τη μερίδα του λέοντος να αναλογεί στα επιβατικά αυτοκίνητα (ΥΠΕΚΑ, 2007) και την κατά κεφαλή κατοχή αυτοκινήτων να ξεπερνάει την ανοδική πορεία του κατά κεφαλή ΑΕΠ. Οι Paravantis and Georgakellos (2007) εστιάζουν στην κατά κεφαλή κατοχή αυτοκινήτων στην Ελλάδα και προβλέπουν επιτυχώς την κατακόρυφη αύξησή της για την 5ετία 2005-2010, τονίζοντας ότι υπάρχει ακόμα μεγάλο περιθώριο μελλοντικής αύξησης. Οι Koroneos and Nanaki (2007) αποτιμούν την περιβαλλοντική επίδοση του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα, εντοπίζουν την ανησυχητική αύξηση των αυτοκινήτων και συστήνουν τη δημιουργία ολοκληρωμένης πολιτικής που θα στοχεύει στην τόνωση των μέσων μαζικής μεταφοράς, την προώθηση των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων, τη φορολόγηση των ορυκτής προέλευσης καυσίμων και την ευαισθητοποίηση των πολιτών στην ορθή χρήση των μέσων μεταφοράς. Εν τέλει, όλες οι σχετικές βιβλιογραφικές πηγές συνηγορούν στο ότι η ολοκληρωμένη περιβαλλοντική πολιτική προϋποθέτει την εξέταση όλων των μέτρων που έχουν τεθεί από τους αναλυτές στο επίκεντρο, καθώς και την αποτίμηση της συνδυασμένης αποδοτικότητάς τους.

Πίνακας 2.2. Σύνοψη ιδιοτήτων βασικών μεθοδολογιών αποδόμησης

		τεστ μηδενικών όρων	τεστ χρονικής σταθερότητας	τεστ κυκλικότητας	τεστ αθροιστικής σταθερότητας	Τεστ Τεστ υπολοίπων
$Y = \sum_i (X_{1i} \cdot X_{2i}) \quad \Delta Y = \Delta X_1 + \Delta X_2$		$dY = dX_1 \cdot dX_2$				
$X_1, X_2 \in X$	Αθροιστική εκδοχή	Πολλ/κή εκδοχή	$\Delta X_{0-t} = \Delta X_{0-s} + \Delta X_{s-t}$	$\Delta X = \sum_i \Delta X_i$		
Laspeyres	$\Delta X_1^{0-t} = \sum_i (X_{1i}^t \cdot X_{2i}^0) - \sum_i (X_{1i}^0 \cdot X_{2i}^0)$	$dX_1^{0-t} = \frac{\sum_i (X_{1i}^t \cdot X_{2i}^0)}{\sum_i (X_{1i}^0 \cdot X_{2i}^0)}$	-	-	-	-
Refined Laspeyres/ Shapley	$\Delta X_1^{0-t} = \sum_i (X_{1i}^t \cdot X_{2i}^0) - \sum_i (X_{1i}^0 \cdot X_{2i}^0)$	ΔY	+	+	-	+
AMDI	$\Delta X^{0-t} = \sum_i \left(\frac{Y_i^0 + Y_i^t}{2} \cdot \ln(X_i^t / X_i^0) \right)$	$dX^{0-t} = \exp \sum_i \left(\frac{w_i^0 + w_i^t}{2} \cdot \ln(X_i^t / X_i^0) \right)$	-	+	-	-
LMDI II	$\Delta X^{0-t} = \sum_i \left(\frac{L(w_i^t, w_i^0)}{\sum_i L(w_i^t, w_i^0)} \cdot L(Y_i^t, Y_i^0) \cdot \ln(X_i^t / X_i^0) \right)$	$dX^{0-t} = \exp \sum_i \left(\frac{L(w_i^t, w_i^0)}{\sum_i L(w_i^t, w_i^0)} \cdot \ln(X_i^t / X_i^0) \right)$	+	+	-	+
LMDI I	$\Delta X^{0-t} = \sum_i (L(C_i^t, C_i^0) \cdot \ln(X_i^t / X_i^0))$	$dX^{0-t} = \exp \sum_i \left(\frac{L(C_i^t, C_i^0)}{L(C^t, C^0)} \cdot \ln(X_i^t / X_i^0) \right)$	+	+	-	+

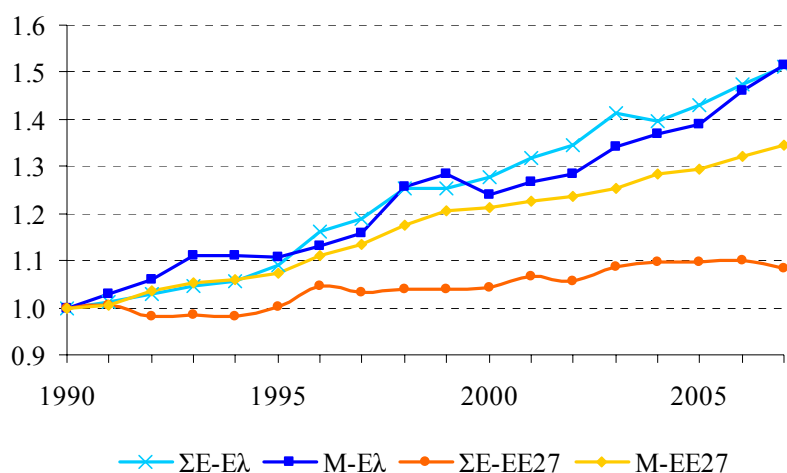
Wi= Ci/C, +/-: θετική/αρνητική επίδοση, L(a,b)=(a-b)/(lna-lnb), ΔY: Δεν υπάρχει

3. Ο τομέας των μεταφορών

3.1 Ενεργειακή κατανάλωση και εκπομπές CO₂

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες ο τομέας των μεταφορών απέκτησε έναν ιδιαίτερα επιβαρυντικό ρόλο όσον αφορά στην κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων και τις συνεπαγόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat, 2010), στην Ευρωπαϊκή Ένωση των 27 κρατών-μελών (EE27) η κατανάλωση ενέργειας από τις μεταφορές αυξήθηκε κατά 34% την περίοδο 1990-2007, όταν η συνολική ενεργειακή κατανάλωση την ίδια περίοδο περιορίστηκε σε αύξηση ύψους 8% (Σχήμα 3.1). Το δε μερίδιο των μεταφορών στην τελική κατανάλωση αυξήθηκε από 27% το 1990 σε 33% το 2007. Στην Ελλάδα, αντίστοιχα, οι μεταφορές καταναλώνουν σταθερά το 40% της συνολικής ενέργειας, η οποία αυξήθηκε κατά 51% από το 1990 έως το 2007, όσο δηλαδή αυξήθηκε και η ενέργεια που κατανάλωσαν οι μεταφορές την ίδια περίοδο. Ενδεικτικό της ανησυχητικής τάσης των μεταφορών στην Ελλάδα είναι και το γεγονός ότι η κατά κεφαλή ενεργειακή κατανάλωση από τις μεταφορές εξακολουθεί να βρίσκεται περίπου 16% κάτω από το μέσο όρο της EE15 (εξαιρουμένου του Λουξεμβούργου), δηλαδή των πιο ανεπτυγμένων κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στο πεδίο των οδικών μεταφορών η κατά κεφαλή ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα είναι ακόμα χαμηλότερη σε σύγκριση με το μέσο όρο της EE15, κατά 19%.

Πάνω από το 80% της ενεργειακής κατανάλωσης των μεταφορών στην EE27 αποδίδεται στις οδικές μεταφορές, ενώ για την Ελλάδα το αντίστοιχο μερίδιο ανέρχεται σε 77% για το 2007. Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι ο περαιτέρω επιμερισμός της ενεργειακής κατανάλωσης από το σύνολο των μεταφορών στις επιβατικές και εμπορευματικές μεταφορές καθίσταται αδύνατος με τα πρωτογενή στοιχεία που διατίθενται στα εθνικά ενεργειακά ισοζύγια (Κεφάλαιο 2.2). Συνεπώς, η εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης από τις επιμέρους κατηγορίες μεταφορών βασίζεται σε μία σειρά από στατιστικά δεδομένα, όπως το μεταφορικό έργο, το φορτίο και οι διανυθείσες αποστάσεις, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις πάσχουν από μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας.

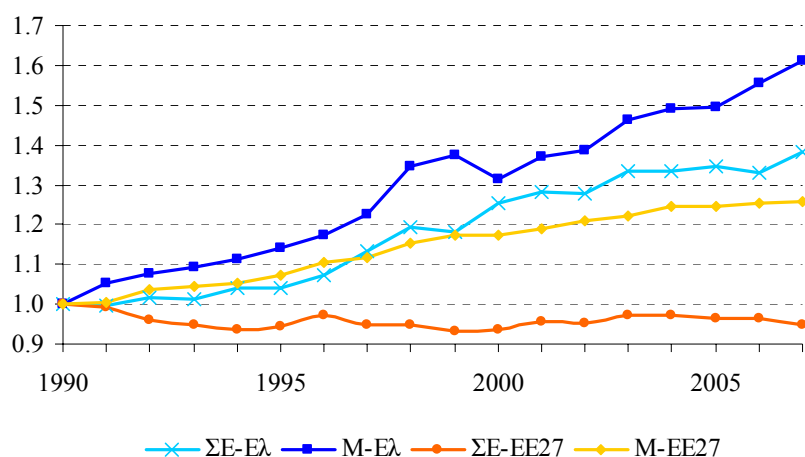


Πηγή: Eurostat 2010

Σχήμα 3.1. Εξέλιξη (%) συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και μεταφορών σε Ελλάδα και ΕΕ27

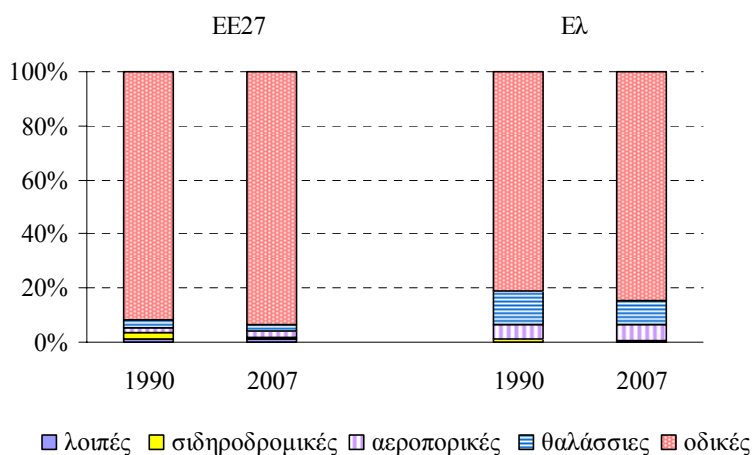
Από τις ενεργειακές καύσεις στις μεταφορές εκπέμπονται και τα τρία βασικά αέρια του θερμοκηπίου, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και το μεθάνιο (CH₄). Το μερίδιο του CO₂ στις συνολικές εκπομπές των 3 αερίων από τις μεταφορές, υπολογισμένες σε μονάδες ισοδύναμου CO₂ (CO₂eq), ξεπερνάει το 98%, με συνέπεια να αξιώνει και τη συνολική προσοχή μας. Το 23% των εκπομπών CO₂ από τις συνολικές ανθρωπογενείς δραστηριότητες και το 25% από την ενεργειακή κατανάλωση στην ΕΕ27 οφείλεται στις μεταφορές (Eurostat 2010). Το ποσοστό αυτό δεν ξεπερνούσε το 19% το 1990, ενώ αντίστοιχη είναι η εξέλιξη της βαρύτητας του τομέα των μεταφορών στην Ελλάδα, όσον αφορά στις εκπομπές CO₂. Κι ενώ οι εκπομπές CO₂ από τις μεταφορές παρουσίασαν αύξηση 26% από το 1990 στο σύνολο της ΕΕ27, στην Ελλάδα η αντίστοιχη αύξηση ξεπέρασε το 60% (Σχήμα 3.2).

Τη συντριπτική ευθύνη για τις εκπομπές CO₂ από τον τομέα των μεταφορών φέρουν οι οδικές μεταφορές, με το μερίδιό τους να ξεπερνάει το 90% στην ΕΕ27 (χωρίς να συνυπολογίζονται οι εκπομπές από τη διεθνή αεροπλοΐα και ναυσιπλοΐα), ενώ στην Ελλάδα βρίσκεται στο 85% (Σχήμα 3.3).



Πηγή: Eurostat 2010

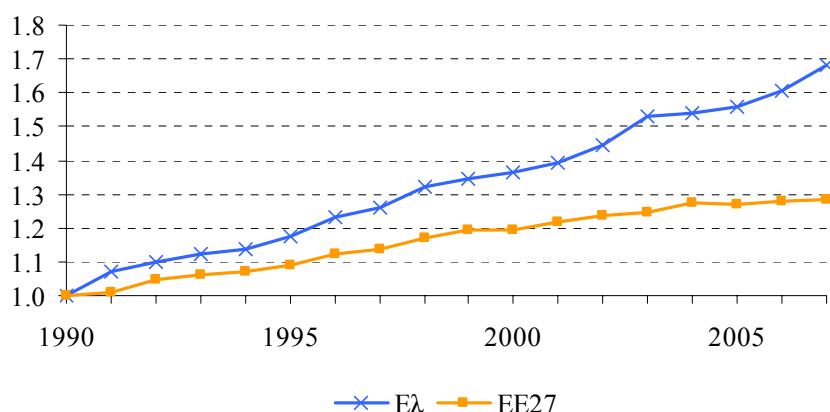
Σχήμα 3.2. Εξέλιξη (%) εκπομπών CO₂ από τη συνολική ενέργεια και τις μεταφορές σε Ελλάδα και ΕΕ27



Πηγή: Eurostat 2010 (εξαιρουμένων διεθνούς αεροπλοΐας και ναυσιπλοΐας)

Σχήμα 3.3. Κατανομή εκπομπών CO₂ στα μέσα μεταφοράς

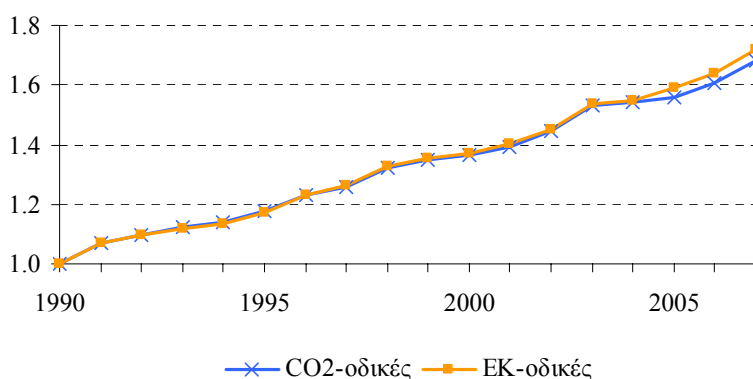
Οι εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές παρουσιάζουν έντονη ανοδική τάση στην Ελλάδα, ενώ ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης για την περίοδο 1990-2007 εκτιμάται στο 3.1%, όταν ο αντίστοιχος ρυθμός έφτασε το 1.5% στην ΕΕ27 (Σχήμα 3.4). Οι δε κατά κεφαλή εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα υπολογίζονται σε 1.77 tn CO₂/cap για το 2007, κατά 3% δηλαδή χαμηλότερες από το μέσο όρο της ΕΕ27 και κατά 6% από το μέσο όρο της ΕΕ15 (Eurostat 2010; EEA, 2010a).



Πηγή: Eurostat 2010

Σχήμα 3.4. Εξέλιξη (%) εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές σε Ελλάδα και ΕΕ27

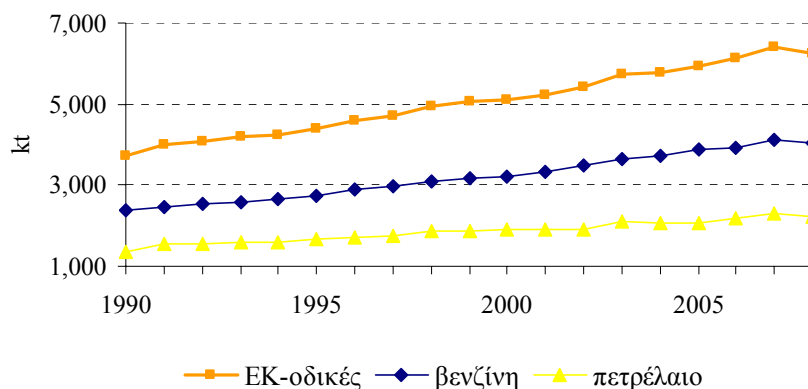
Σύμφωνα με την Εθνική Απογραφή αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου (ΥΠΕΚΑ, 2010), η τάση των εκπομπών CO₂ από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα για την περίοδο 1990-2008 (Σχήμα 3.5) ακολουθεί πιστά την ανοδική τάση της ενεργειακής κατανάλωσης. Εφόσον οι εκπομπές CO₂ είναι συνυφασμένες με την κατανάλωση και το είδος των καυσίμων, η παρατηρούμενη αδυναμία αποσύζευξης αναδεικνύει την ύπαρξη μιας σταθερής ισορροπίας μεταξύ των κυρίαρχων καταναλισκόμενων καυσίμων, καθώς και την αμελητέα συνεισφορά εναλλακτικών μορφών καυσίμων με χαμηλές εκπομπές CO₂.



Πηγή: ΥΠΕΚΑ 2010 (Ετήσια Έκθεση Απογραφής αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου)

Σχήμα 3.5. Εξέλιξη (%) εκπομπών CO₂ και ενεργειακής κατανάλωσης από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα

Πράγματι, στη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών οι οδικές μεταφορές στην Ελλάδα εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από δύο βασικά, ορυκτής προέλευσης, καύσιμα, τη βενζίνη (gasoline oil) και το πετρέλαιο (diesel oil), με το ποσοστό της βενζίνης να κυμαίνεται μεταξύ 61% και 65% (Σχήμα 3.6).



Πηγή: ΥΠΕΚΑ 2010 (Ετήσια Έκθεση Απογραφής αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου)

Σχήμα 3.6. Κατανάλωση συνολικής ενέργειας (EK), βενζίνης και πετρελαίου από τις οδικές μεταφορές στην Ελλάδα

Το συντριπτικό μερίδιο του πετρελαίου κίνησης αναλογεί στις εμπορευματικές μεταφορές, λόγω της απαγόρευσης της κυκλοφορίας πετρελαιοκίνητων επιβατικών αυτοκινήτων ιδιωτικής χρήσης (ΙΧ) μέσα στα αστικά κέντρα (Αθήνα, Θεσσαλονίκη), η οποία συνδέεται με τα υψηλά επίπεδα αέριων ρύπων (κυρίως καπνού και διοξειδίου του θείου) που εκπέμπονται από την καύση πετρελαίου. Η βελτίωση, βέβαια, της τεχνολογίας των πετρελαιοκίνητων οχημάτων κατά την τελευταία δεκαετία σε συνδυασμό με την αυστηρότερη νομοθεσία της ΕΕ σε ότι αφορά τις εκπομπές αέριων ρύπων, εγείρουν επιχειρήματα υπέρ της άρσης της απαγόρευσης, με την προϋπόθεση να εφαρμόζεται πλήρως η περιβαλλοντική νομοθεσία. Όσον αφορά στο πετρέλαιο που καταναλώνεται από τα επιβατικά οχήματα, το περισσότερο αναλογεί στα ταξί και τα λεωφορεία, τα οποία εξαιρούνται από το απαγορευτικό μέτρο, κι ένα μικρό μέρος σε ΙΧ αυτοκίνητα ταξινομημένα εκτός των μεγάλων αστικών κέντρων. Σε αντίθεση με την Ελλάδα, η ΕΕ27 πήρε μία σαφή στροφή την τελευταία δεκαετία προς την κατεύθυνση της πετρελαιοκίνησης, με το ποσοστό του πετρελαίου στο σύνολο της ενεργειακής κατανάλωσης από τις οδικές μεταφορές να ξεπερνάει το 60% το 2008 (ΕΕΑ, 2010a). Η άνοδος του μεριδίου του πετρελαίου στην ΕΕ27 πιστώνεται κυρίως

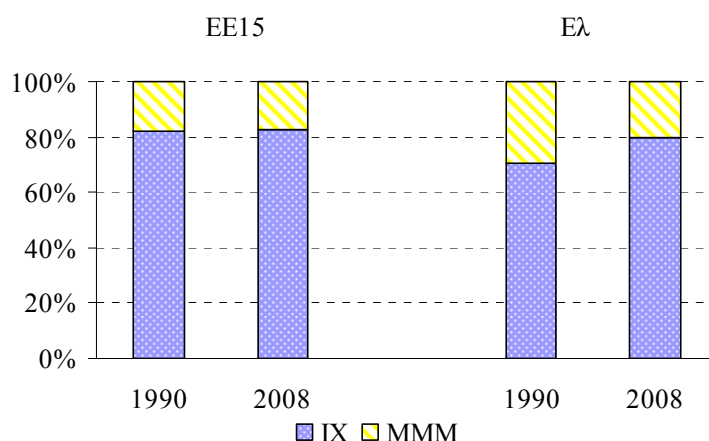
στις επιβατικές μεταφορές. Η μεταβολή αυτή στην Ευρώπη ευνοήθηκε από το μειωμένο κόστος λειτουργίας των πετρελαιοκίνητων οχημάτων, λόγω της μειωμένης ειδικής κατανάλωσης και την, κατά περιόδους, χαμηλότερη τιμή πώλησης του πετρελαίου.

3.2 Επιβατικές μεταφορές μέσω ξηράς

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει (Κεφάλαιο 3.1), τα διαθέσιμα ενεργειακά στατιστικά δεδομένα δεν επιτρέπουν τον απευθείας διαχωρισμό της ενεργειακής κατανάλωσης ανά οδικό επιβατικό μέσο μεταφοράς. Είναι επομένως αναγκαίο να παραχθούν άλλου είδους στατιστικά δεδομένα προκειμένου να εκτιμηθούν οι εκπομπές CO₂ από τις κατηγορίες αυτές (Κεφάλαιο 2.2). Τη μεγαλύτερη αξιοπιστία διαθέτουν τα στοιχεία που αφορούν στο πλήθος των οχημάτων που ταξινομούνται κάθε έτος, κατηγοριοποιημένα ανάλογα με τον τύπο καυσίμου που χρησιμοποιούν, τον κυβισμό τους και τις τεχνολογικές προδιαγραφές των μηχανών καύσης. Έχουμε ήδη παρουσιάσει αναλυτικά μέσα από τη βιβλιογραφική επισκόπηση τον προβληματισμό των ερευνητών γύρω από το θέμα της ποιότητας των λοιπών διαθέσιμων στοιχείων που συνθέτουν το προφίλ των επιβατικών μεταφορών, όπως είναι τα επιβατοχιλιόμετρα (pkm), τα οχηματοχιλιόμετρα (vkm) και το φορτίο ως το πλήθος επιβατών ανά όχημα (p/v). Εν τω μεταξύ, τα στοιχεία αυτά αποτελούν απαραίτητα εργαλεία τόσο για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂, όσο και για τη μελέτη της κατανομής του επιβατικού έργου στα διάφορα μέσα μεταφοράς, άρα και της εξέλιξης της συμπεριφοράς των κοινωνικών συνόλων μέσα από την επιλογή του τρόπου μετακίνησης.

Σύμφωνα με τα τρέχοντα διαθέσιμα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat, 2010), το 83% περίπου των επιβατοχιλιομέτρων που πραγματοποιούνται μέσω ξηράς στην ΕΕ27 και την ΕΕ15 καλύπτονται από τα αυτοκίνητα ιδιωτικής χρήσης (IX), ποσοστό που έχει ελάχιστα διαφοροποιηθεί τις δύο προηγούμενες δεκαετίες. Με βάση τις εκτιμήσεις της Eurostat, τα IX αυτοκίνητα καλύπτουν σήμερα το 80% των επιβατοχιλιομέτρων και στο Ελληνικό δίκτυο, ποσοστό που μεταφράζεται σε 100 bn pkm για το 2008. Το νούμερο αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας και βάσει των υπολογισμών που προκύπτουν από την αξιοποίηση των στοιχείων για το πλήθος των αυτοκινήτων που είναι σε χρήση στην Ελλάδα,

κρίνεται πολύ λογικό. Δεν συμβαίνει το ίδιο όμως για το πλήθος των επιβατοχιλιομέτρων που αντιστοιχεί η Eurostat στα 1,736,000 αυτοκίνητα που κινήθηκαν στην Ελλάδα το 1990, το οποίο εκτιμάται σε μόλις 35 bn rkm. Αυτό θα σήμαινε, όμως, είτε ότι η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση ανά αυτοκίνητο το 1990 δεν ξεπερνούσε τα 10,000 km, είτε ότι επέβαιναν κατά μέσο όρο 1.3 επιβάτες ανά όχημα, υποθέσεις που θεωρούμε ότι είναι αμφότερες μη ρεαλιστικές με δεδομένη τη μετέπειτα εξέλιξη τους. Επίσης, με βάση αυτές τις εκτιμήσεις το μερίδιο των αυτοκινήτων στα συνολικά επιβατοχιλιόμετρα των επιβατικών μεταφορών θα ήταν μόλις 63% το 1990, όταν το αντίστοιχο ποσοστό για το 2008 είναι 80% και το κατώτερο αντίστοιχο ποσοστό μεταξύ των ΕΕ15 για το 1990 είναι 71%. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς μας, τους οποίους θα παρουσιάσουμε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5, το σύνολο των επιβατοχιλιομέτρων από τα ΙΧ αυτοκίνητα το 1990 ήταν περίπου 49 bn rkm. Με βάση αυτή την παραδοχή, η μεταβολή της κατανομής του μεταφορικού έργου ανά μέσο μεταφοράς το 2008 σε σχέση με το 1990 φαίνεται στο Σχήμα 3.7.



Πηγή: Eurostat 2010. Τα μερίδια για το 1990 στην Ελλάδα είναι εκτίμηση της συγγραφέα.

Σχήμα 3.7. Κατανομή μεταφορικού έργου (rkm) επιβατικών μεταφορών ξηράς

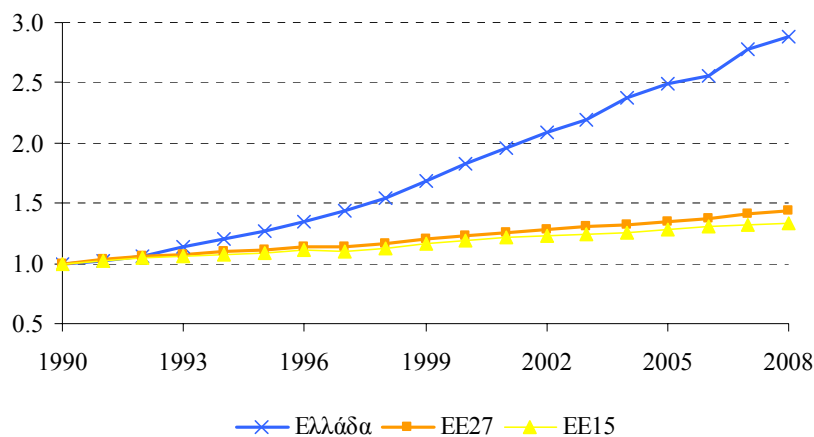
Τα επιβατοχιλιόμετρα από τα ΙΧ αυτοκίνητα στην Ελλάδα έχουν ουσιαστικά διπλασιαστεί σε σχέση με το 1990, ενώ των λεωφορείων έχουν αυξηθεί μόνο κατά 25%. Παρά το γεγονός ότι το μετρό έχει συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση των συνολικών μεταφορών σταθερής τροχιάς, οι τελευταίες δεν αντιπροσωπεύουν παρά το 3% των επιβατικών μετακινήσεων δια ξηράς το 2008. Θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι στις εκτιμήσεις της Eurostat σχετικά με τα επιβατοχιλιόμετρα

στις επιβατικές μεταφορές δεν συμπεριλαμβάνονται τα δίκυκλα στις ανά χώρα αναλύσεις, τα οποία, σύμφωνα με εκτίμησή μας, καλύπτουν περίπου το 10% των επιβατικών μετακινήσεων ξηράς στην Ελλάδα, ενώ το 1990 κάλυπταν περίπου το 6%, γεγονός που δείχνει ότι είναι μία σαφώς ανερχόμενη κατηγορία. Ενδεικτική είναι και η εξέλιξη που παρουσιάζει η μετακίνηση με δίκυκλα στο σύνολο της ΕΕ27, ακολουθώντας μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης ύψους 1.8% μέσα στην περίοδο 1995-2008, όταν για τα αυτοκίνητα ο αντίστοιχος ρυθμός ήταν 1.5%. Εντούτοις, η μέση ειδική κατανάλωση των δικύκλων, η ποσότητα δηλαδή καυσίμου που καταναλώνεται ανά μονάδα διανυθείσας απόστασης, είναι σημαντικά χαμηλότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη των επιβατικών αυτοκινήτων, στοιχείο που προσδίδει πολύ μεγαλύτερη βαρύτητα στη συμβολή των αυτοκινήτων όσον αφορά στις εκπομπές CO₂ και την διερεύνηση των τρόπων περιορισμού τους.

3.3 Επιβατικά Αυτοκίνητα ΙΧ

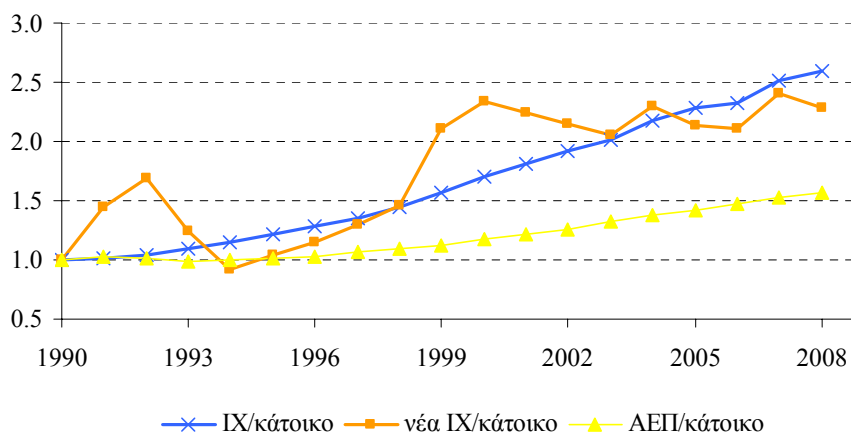
3.3.1 Πλήθος και κατά κεφαλή κατοχή ΙΧ

Αδιαμφισβήτητα το μεγαλύτερο κομμάτι των επιβατικών μετακινήσεων πραγματοποιείται με αυτοκίνητα ΙΧ, τα οποία έχουν αυξηθεί ανησυχητικά τις τελευταίες δεκαετίες σε όλον τον κόσμο, αποδεικνύοντας τη μεγάλη εξάρτηση της κοινωνίας από το συγκεκριμένο μέσο μεταφοράς. Στην Ελλάδα η δραματική αύξηση των ΙΧ είναι ιδιαίτερα εμφανής, ενώ η σύγκριση με τη μέση μεταβολή στη Ευρώπη επιβεβαιώνει την υπερβολή (Σχήμα 3.8). Με βάση τα στατιστικά δεδομένα του Ευρωπαϊκού Συνδέσμου Αυτοκινητοβιομηχανιών (ACEA, 2010) και της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat, 2010), τα ΙΧ στην Ελλάδα ανέρχονται σε περίπου 5 εκ. το 2008, ενώ έχουν σχεδόν τριπλασιαστεί από το 1990. Η τάση στην Ευρώπη είναι σαφώς πιο μετριοπαθής, αλλά η διαφορά αυτή εξηγείται πολύ εύκολα αν παρατηρήσει κανείς την κατά κεφαλή κατοχή αυτοκινήτων σε απόλυτα νούμερα. Το 2008 αντιστοιχούν σε 1000 κατοίκους της Ελλάδας 446 αυτοκίνητα, όσα ακριβώς αντιστοιχούσαν σε 1000 κατοίκους της ΕΕ15 μία δεκαετία νωρίτερα, το 1998. Η κατά κεφαλή κατοχή αυτοκινήτων στην Ελλάδα σήμερα βρίσκεται ακόμα 11% κάτω από το μέσο όρο της ΕΕ15 και 5% κάτω από το μέσο όρο της ΕΕ27.



Πηγή: Eurostat 2010, ΥΠΕΚΑ 2010 (Ετήσια Έκθεση Απογραφής αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου), ACEA 2010.

Σχήμα 3.8. Εξέλιξη (%) του πλήθους των ΙΧ σε Ελλάδα, ΕΕ27 και ΕΕ15



Πηγή: Undata 2010, ACEA 2010, Eurostat 2010.

Σχήμα 3.9. Εξέλιξη (%) κατά κεφαλή πλήθους ΙΧ, νέων ετήσιων εγγραφών και ΑΕΠ στην Ελλάδα

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η παρακολούθηση του οικονομικού δείκτη, σε μονάδες κατά κεφαλή ΑΕΠ (Undata, 2010), και η σύγκριση αυτού (Σχήμα 3.9) με το πλήθος των συνολικών κυκλοφορούντων ΙΧ και των νέων εγγεγραμμένων κάθε χρόνο ανά 1000 κατοίκους (ACEA, 2010, Eurostat, 2010). Οι δείκτες της εξέλιξης του πλήθους και του ρυθμού απόκτησης των αυτοκινήτων ξεπερνούν κατά πολύ την οικονομική ανάπτυξη, με την ψαλίδα μάλιστα να ανοίγει την τελευταία δεκαετία. Αρκεί να συμπληρώσουμε ότι 800 νέα ΙΧ αυτοκίνητα εγγράφονταν κατά μέσο όρο κάθε

ημέρα στην Ελλάδα το 2007, ενώ ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων έφτασε το 6.1% την τελευταία δεκαετία.

Επιπροσθέτως, με βάση τα πληθυσμιακά στατιστικά δεδομένα, αντιστοιχούν περίπου 700 αυτοκίνητα ΙΧ ανά 1000 ενήλικες, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν το 64% περίπου του πληθυσμού της Ελλάδας και είναι είτε ενεργεία είτε δυνάμει οδηγοί. Υπάρχει, επομένως, σημαντικό περιθώριο αύξησης του δείκτη κατά κεφαλή κατοχής, πρόβλεψη την οποία συνυπογράφουν και οι περισσότερες σχετικές μελέτες (Kassapis, 2008; Paravantis and Georgakellos, 2007; JRC, 2003).

3.3.2 Κατηγοριοποίηση ΙΧ αυτοκινήτων με βάση το καύσιμο

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στο παρόν κεφάλαιο, η ιδιαιτερότητα του στόλου ΙΧ αυτοκινήτων στην Ελλάδα έγκειται στην απόλυτη κυριαρχία της βενζίνης έναντι του πετρελαίου σε ότι αφορά την κατανάλωση καυσίμων, λόγω της απαγόρευσης της πετρελαιοκίνησης σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη. Συγκεκριμένα, το μερίδιο των βενζινοκίνητων οχημάτων αγγίζει το 99%, με το υπόλοιπο 1% να αντιπροσωπεύουν κυρίως τα πετρελαιοκίνητα και οι αμελητέες ποσότητες οχημάτων υδροποιημένου αέριου πετρελαίου (liquefied petroleum gas, LPG) και εναλλακτικών τύπων καυσίμων (alternative fuel vehicles, AFVs) με βασικά τα υβριδικά βενζινοκίνητα (ΥΠΕΚΑ, 2008, ACEA, 2010). Εν τω μεταξύ, το μεγαλύτερο μέρος του πετρελαίου και του LPG καταναλώνεται από τα επιβατικά δημόσιας χρήσης αυτοκίνητα (ταξί), για τα οποία δεν ισχύει η απαγόρευση στα μεγάλα αστικά κέντρα.

Όσον αφορά στη διεύθυνση βιοκαυσίμων στο ενεργειακό μίγμα, βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο τόσο για την κατηγορία των επιβατικών αυτοκινήτων όσο και για το σύνολο των οχημάτων. Αναμένεται, βεβαίως, η προώθησή τους λόγω της δέσμευσης της χώρας, στο πλαίσιο των Ευρωπαϊκών Οδηγιών 28/2009 και 30/2009, για κάλυψη του 10% των ενεργειακών αναγκών των μεταφορών από βιοκαύσιμα μέχρι το 2020.

3.3.3 Κατηγοριοποίηση ΙΧ αυτοκινήτων με βάση το μέγεθος και την τεχνολογία του κινητήρα

Ο περαιτέρω διαχωρισμός των βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων ανάλογα με το μέγεθος και τις τεχνολογικές προδιαγραφές των κινητήρων ακολουθεί την κατηγοριοποίηση του προγράμματος για τον υπολογισμό αέριων εκπομπών από τις οδικές μεταφορές COPERT (Computer programme to calculate emissions from

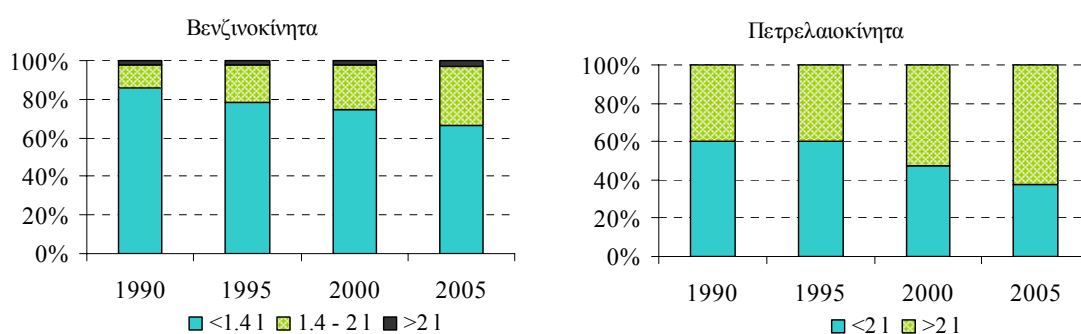
road transport) (Κεφάλαιο 2.3.1). Η διαθεσιμότητα των στατιστικών δεδομένων σχετίζεται με την εφαρμογή του COPERT III στο πλαίσιο της εθνικής απογραφής των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για την περίοδο 1990-2005 (ΥΠΕΚΑ, 2007), για τις ανάγκες τις οποίας συλλέχθηκαν αναλυτικά στοιχεία από το Υπουργείο Μεταφορών. Συμπληρωματικά στοιχεία παρέχει και ο Σύνδεσμος Εισαγωγέων Αντιπροσώπων Αυτοκινήτων (ΣΕΑΑ), καθώς και η βάση δεδομένων του Ευρωπαϊκού Συνδέσμου Αυτοκινητοβιομηχανιών (ACEA). Συγκεκριμένα, η κατηγοριοποίηση των αυτοκινήτων παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.1, συνοδευόμενη από τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες που αφορούν στις τεχνολογικές προδιαγραφές των οχημάτων.

Πίνακας 3.1. Κατηγοριοποίηση αυτοκινήτων ΙΧ ανάλογα με το καύσιμο, το μέγεθος και τις προδιαγραφές του κινητήρα

Κατηγορία οχήματος	Μεγέθη	Προδιαγραφές	Οδηγία ΕΕ
Βενζινοκίνητα ΙΧ	<1.4 lt, 1.4-2.0 lt, >2.0 lt	PRE ECE	
		ECE 15/00-01	70/220 – 74/290
		ECE 15/02	77/102
		ECE 15/03	78/665
		ECE 15/04	83/351
		EURO I	91/441
		EURO II	94/12
		EURO III	98/69
		EURO IV	98/69
Πετρελαιοκίνητα ΙΧ	<2.0 lt, >2.0 lt	Conventional	
		EURO I	91/441
		EURO II	94/12
		EURO III	98/69
		EURO IV	98/69

Στο Σχήμα 3.10 διακρίνονται τα αυτοκίνητα σε βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα έτσι ώστε να γίνει εμφανής η διαφοροποίηση ως προς τα μεγέθη των κινητήρων που προτιμώνται σε κάθε περίπτωση. Στην κατηγορία των πετρελαιοκίνητων αυξάνεται το ήδη πολύ μεγάλο ποσοστό των οχημάτων μεγάλου κυβισμού, εξαιτίας της χρήσης για την οποία προορίζονται. Τα περισσότερα, όπως εξηγήσαμε, είναι ταξί και συνεπώς υπόκεινται σε συνεχή χρήση με υψηλές απαιτήσεις σε ιπποδύναμη, άρα και σε μέγεθος κινητήρα. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το μέγεθος του κινητήρα συνδέεται σε γενικές γραμμές με το μέγεθος της ισχύος, η οποία έχει επίσης άμεση σχέση και με το βάρος του οχήματος. Έτσι, θεωρούμε ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του κινητήρα, τόσο μεγαλύτερη και η ισχύς του, αν και η ισχύς μπορεί να διαφοροποιείται, σε ένα μικρό βαθμό, σε διαφορετικά οχήματα με ίδιο μέγεθος μηχανής.

Εξετάζοντας στη συνέχεια τα πολυπληθέστερα βενζινοκίνητα παρατηρούμε μία θεαματική αύξηση του μεριδίου των μεσαίου και μεγάλου κυβισμού οχημάτων, τα οποία εξακολουθούν βέβαια να αποτελούν μειονότητα. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξηση των μεσαίων και μεγάλων οχημάτων, ως προς το μέγεθος του κινητήρα, υπολογίζεται σε 12% και 9% αντίστοιχα για την περίοδο 1990-2005, ενώ ο αντίστοιχος των μικρών περιορίζεται στο 5%. Η στροφή σε δυνατότερα και πιο ενεργοβόρα οχήματα είναι οφθαλμοφανής.



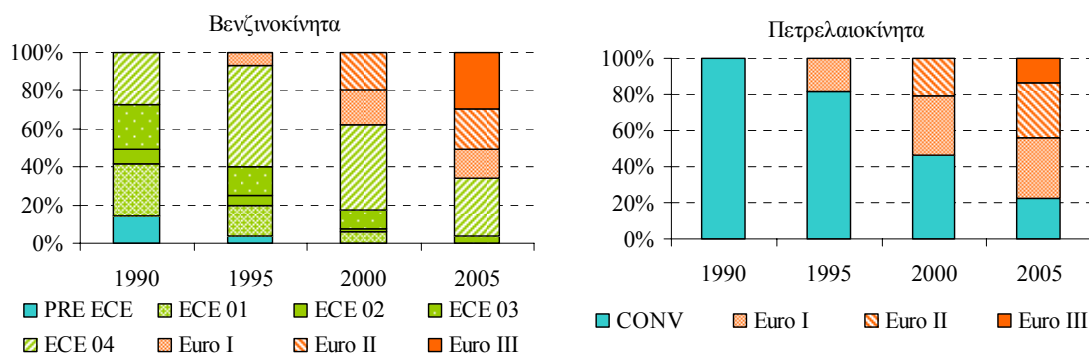
Πηγή: ΥΠΕΚΑ 2007 (Εθνική Απογραφή αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου), ACEA 2010, ΣΕΑΑ

Σχήμα 3.10. Κατανομή αυτοκινήτων στην Ελλάδα με βάση το μέγεθος κινητήρα

Η τάση είναι παρόμοια και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Τα στοιχεία της ACEA για τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης εμφανίζουν τη μέση ισχύ των νέων εγγεγραμμένων

αυτοκινήτων ανά έτος αυξημένη κατά 42% το 2008 σε σχέση με το 1990. Επιπλέον, το ποσοστό των μεγάλου κυβισμού αυτοκινήτων στο σύνολο του στόλου των κυκλοφορούντων αυξάνεται διαρκώς στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες. Σύμφωνα με την ACEA, η συμμετοχή των μεγάλου κυβισμού αυτοκινήτων στον Ελληνικό στόλο είναι η χαμηλότερη, ξεπερνώντας οριακά το 2% το 2008, ποσοστό που κρίνεται, όμως, υποεκτιμημένο με βάση τα στοιχεία της ετήσιας απογραφής (ΥΠΕΚΑ, 2007).

Αξιοποιώντας τα αναλυτικά στατιστικά στοιχεία για το πλήθος των αυτοκινήτων ανάλογα με την τεχνολογία του κινητήρα, τα οποία περιέχονται στην ετήσια απογραφή των αερίων του θερμοκηπίου του 2007 (ΥΠΕΚΑ, 2007), έχουμε τη δυνατότητα να εξετάσουμε και το ρυθμό ανανέωσης του στόλου στην Ελλάδα από το 1990 κι έπειτα (Σχήμα 3.11). Μέχρι το 2005, το 30% τουλάχιστον των αυτοκινήτων είχαν ηλικία άνω των 10 ετών, δηλαδή με τεχνολογικές προδιαγραφές προ Euro. Η ACEA (2010), μάλιστα, εκτιμάει το ποσοστό των αυτοκινήτων με ηλικία μεγαλύτερη των 10 ετών σε 40% για το 2008, αρκετά ψηλότερο από το μέσο όρο της Ευρώπης.



Πηγή: ΥΠΕΚΑ 2007 (Εθνική Απογραφή αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου), ACEA 2010, ΣΕΑΑ

Σχήμα 3.11. Κατανομή αυτοκινήτων στην Ελλάδα με βάση την τεχνολογία του κινητήρα

Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι η ανανέωση με οχήματα βελτιωμένων τεχνολογικών προδιαγραφών πραγματοποιείται ταχύτερα στις μεγαλύτερου κυβισμού κατηγορίες, είτε αναφερόμαστε σε βενζινοκίνητα είτε σε πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα, γεγονός που συνδέεται άμεσα με τον ταχύτερο ρυθμό αύξησης των μεσαίων και μεγάλων οχημάτων. Το 2005, χαρακτηριστικά, τα μεγάλου κυβισμού αυτοκίνητα ήταν σχεδόν

στο σύνολό τους κάτω των 10 ετών.

3.3.4 Αποδοτικότητα ΙΧ αυτοκινήτων

Υπάρχει, επομένως, σημαντικό περιθώριο για ανανέωση του στόλου των αυτοκινήτων ΙΧ στην Ελλάδα και διείσδυση βελτιωμένων και αποδοτικότερων κινητήρων. Το θέμα όμως της αποδοτικότητας δεν είναι τόσο απλό, ούτε αρκεί η εφαρμογή νεότερου κινητήρα.

Η βάση του προγράμματος COPERT IV περιλαμβάνει προκαθορισμένα μεγέθη για την ειδική κατανάλωση, υπολογιζόμενη σε μονάδες gr καυσίμου/km, ανάλογα με το καύσιμο, τον κυβισμό και την τεχνολογία του κινητήρα, καθώς και το είδος του οδικού δικτύου που διακρίνεται σε αστικό, αγροτικό και ταχείας κυκλοφορίας. Η βάση συμπεριλαμβάνει τα χαρακτηριστικά και των, πιο σύγχρονων, Euro IV-VI τεχνολογιών που εισέρχονται ουσιαστικά στην αγορά μετά το 2005. Ωστόσο το COPERT, όσον αφορά στις τελευταίες αυτές τεχνολογίες, δεν λαμβάνει υπόψη τις δεσμεύσεις των αυτοκινητοβιομηχανιών, οι οποίες απορρέουν από την εθελοντική συμφωνία που συνυπέγραψαν με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, για μείωση της ειδικής κατανάλωσης των νέων παραγόμενων οχημάτων μέσα στην επόμενη δεκαετία. Ως εκ τούτου, στη βάση του COPERT IV υπάρχουν περιπτώσεις που οι σύγχρονοι κινητήρες καταγράφουν μειωμένη αποδοτικότητα σε σχέση με τους προγενέστερους του ίδιου τύπου οχήματος, ως προς το καύσιμο και τον κυβισμό, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 3% μέχρι και 20%.

Προκειμένου να εκτιμήσουμε τη μέση ειδική κατανάλωση του στόλου των αυτοκινήτων και να εξετάσουμε την εξέλιξή της με τη βοήθεια των αναλυτικών στοιχείων της βάσης του COPERT IV, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του βαθμού χρήσης κάθε τύπου οδικού δικτύου από ένα 'μέσο' αυτοκίνητο στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα στοιχεία που δημοσιεύονται στην ετήσια απογραφή αερίων του θερμοκηπίου (ΥΠΕΚΑ, 2010), το 44% της συνολικής μετακίνησης ενός τυπικού αυτοκινήτου πραγματοποιείται σε αστικές περιοχές, το 42% σε αγροτικές και το 14% σε δρόμους ταχείας κυκλοφορίας. Η κατανάλωση αυξάνεται καθώς περνάμε από τον αγροτικό δρόμο στον ταχείας κυκλοφορίας και τέλος στον αστικό. Με βάση τους διαχωρισμούς αυτούς διαμορφώνονται οι ειδικές καταναλώσεις για κάθε τύπο οχήματος, υπολογισμένες σε μονάδες lt καυσίμου/ 100km, όπως φαίνεται στον

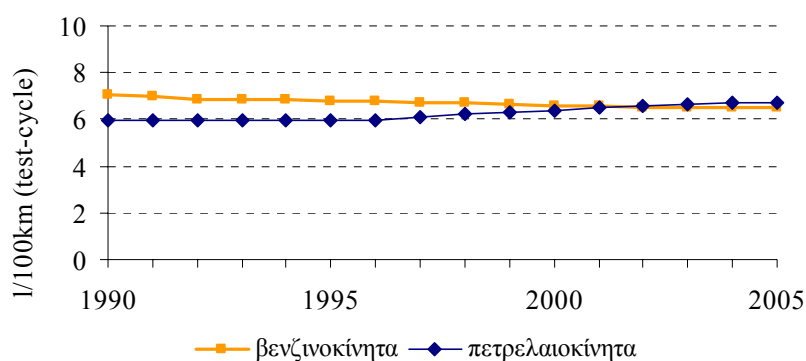
Πίνακα 3.2. Πρέπει να διευκρινίσουμε ότι τα μεγέθη αυτά αντιστοιχούν στην τυπική ειδική κατανάλωση, ή αλλιώς σε έναν κύκλο επίσημων δοκιμών κατανάλωσης (test-cycle) που πραγματοποιούνται πριν την κυκλοφορία του οχήματος. Η πραγματική (on-road) ειδική κατανάλωση είναι αρκετά αυξημένη σε σύγκριση με την τυπική, λόγω επιβαρυντικών συνθηκών που σχετίζονται με τον τρόπο οδήγησης, την κυκλοφοριακή συμφόρηση, την υπερφόρτωση του οχήματος και τη χρήση ηλεκτρικών συσκευών όπως το κλιματιστικό (Κεφάλαιο 2.3.1).

Πίνακας 3.2. Τυπική Ειδική κατανάλωση ανά κατηγορία ΙΧ

Καύσιμο & Μέγεθος	Τεχνολογία	l / 100 km	Καύσιμο & Μέγεθος	Τεχνολογία	l / 100 km
Βενζ/τα <1.4 l	PRE ECE	8.2	Βενζ/τα >2.0 l	PRE ECE	11.7
	ECE 15/00-01	6.9		ECE 15/00-01	8.6
	ECE 15/02-03	6.6		ECE 15/02-03	9.3
	ECE 15/04	6.4		ECE 15/04	8.5
	EURO I	6.0		EURO I	9.1
	EURO II	5.8		EURO II	9.4
	EURO III	6.1		EURO III	8.5
	EURO IV-VI	6.3		EURO IV-VI	10.2
Βενζ/τα 1.4-2.0 l	PRE ECE	9.8	Πετρ/τα < 2.0 l	Conventional	6.0
	ECE 15/00-01	7.8		EURO I	5.4
	ECE 15/02-03	7.5		EURO II	5.6
	ECE 15/04	7.4		EURO III-VI	5.5
	EURO I	7.1	Πετρ/τα < 2.0 l	Conventional	6.0
	EURO II	6.9		EURO I-VI	7.3
	EURO III	7.2		LPG	9.5
	EURO IV-VI	7.5		EURO I-VI	8.7

Πηγή: Βάση δεδομένων COPERT IV

Βάσει των τυπικών μεγεθών που δίνονται από το COPERT IV διαμορφώνεται η μέση τυπική ειδική κατανάλωση για συναθροισμένα σύνολα αυτοκινήτων, με βάση για παράδειγμα το καύσιμο. Στο Σχήμα 3.12 παρατηρούμε ότι η μέση ειδική κατανάλωση των βενζινοκίνητων οχημάτων μειώθηκε κατά 7% σε σχέση με το 1990, ενώ των πετρελαιοκίνητων αυξήθηκε κατά 12% την ίδια περίοδο, γεγονός που σχετίζεται με την επικράτηση του μεριδίου των μεγάλου κυβισμού οχημάτων σε ποσοστό άνω του 50% από τα τέλη της δεκαετίας του 1990. Λόγω, όμως, του ιδιαίτερα χαμηλού ποσοστού που κατέχουν τα πετρελαιοκίνητα στο συνολικό πλήθος των ΙΧ αυτοκινήτων, η μέση ειδική κατανάλωση του στόλου ακολουθεί τα μεγέθη και την τάση της μέσης ειδικής κατανάλωσης των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων.



Πηγή: Ειδικές καταναλώσεις COPERT IV, πλήθος οχημάτων ΥΠΕΚΑ 2007 (Εθνική Απογραφή αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου), ACEA 2010, ΣΕΑΑ

Σχήμα 3.12. Μέση τυπική ειδική κατανάλωση κατηγοριών ΙΧ με βάση το καύσιμο

Η πτωτική τάση της ειδικής κατανάλωσης των τελευταίων, αντίθετα, σχετίζεται με το πολύ μικρό ποσοστό των μεγάλου κυβισμού οχημάτων, τα οποία δεν ξεπερνούν το 3% το 2005, καθώς και με το μέτριο ποσοστό των μεσαίου κυβισμού. Παρόλο, δηλαδή, που το μερίδιο των μικρού κυβισμού αυτοκινήτων μειώνεται συνεχώς μέσα στην περίοδο 1990-2005, εξακολουθούν να αντιπροσωπεύουν το ένα τρίτο του στόλου. Επιπροσθέτως, η μείωση της μέσης ειδικής κατανάλωσης των βενζινοκίνητων, άρα και του στόλου, θα μπορούσε να είναι πολύ μεγαλύτερη εάν είχε επιτευχθεί ταχύτερη αντικατάσταση των οχημάτων με προδιαγραφές PRE ECE/ECE 01-04 από Euro I-III τεχνολογίες που χαρακτηρίζονται, με ελάχιστες εξαιρέσεις, από

χαμηλότερη κατανάλωση.

3.3.5 Στόχοι και πολιτικές

Η ραγδαία αύξηση των αυτοκινήτων ΙΧ, της ενέργειας που καταναλώνουν και των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου έχει προκαλέσει έντονο προβληματισμό στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ), ο οποίος ήδη μεταφράστηκε σε μία σειρά βημάτων με στόχο την αντιμετώπιση των ζητημάτων αυτών και την πρόληψη από τη μελλοντική επέκτασή τους. Προς την κατεύθυνση αυτή, άλλωστε, πίεσε και η Σύμβαση Πλαίσιο του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών για την αντιμετώπιση της Αλλαγής του Κλίματος (UNFCCC), η οποία, μέσω του Πρωτοκόλλου του Κιότο, όρισε δεσμευτικό στόχο τη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται στις ανεπτυγμένες χώρες κατά 5% περίπου κάτω από το έτος βάσης 1990. Η ΕΕ, πρωτοστατώντας σε αυτήν την προσπάθεια, δεσμεύτηκε να μειώσει τις εκπομπές τις κατά 8%, σε σχέση με το 1990, την περίοδο 2008-2012. Η Ελλάδα, συγκεκριμένα, υποχρεώθηκε σε συγκράτηση της αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στο 25% για την ίδια περίοδο.

Το Πρωτόκολλο του Κιότο έδωσε ώθηση σε μια σειρά μηχανισμών για την έμπρακτη αντιμετώπιση πολύπλοκων ζητημάτων που αφορούν στον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από ποικίλους τομείς της οικονομίας, όπως η ενέργεια, η βιομηχανία, η γεωργία και οι μεταφορές. Το 2000, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατάρτισε το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα για την Αλλαγή του Κλίματος (ΕΠΑΚ), προτείνοντας μία σειρά από μέτρα και πολιτικές συμπεριλαμβανομένων της προώθησης βιοκαυσίμων και άλλων ανανεώσιμων καυσίμων στις οδικές μεταφορές και της στρατηγικής για τη μείωση του CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα σε συμφωνία με τις αυτοκινητοβιομηχανίες. Όσον αφορά στα καύσιμα, η αρχικώς επιθετική πολιτική της ΕΕ για διείσδυση των βιοκαυσίμων στις μεταφορές σε ποσοστό 10% μέχρι το 2020 έφερε σοβαρές αντιδράσεις και προβληματισμό για τη βιωσιμότητα των δασικών εκτάσεων, με αποτέλεσμα να συμπεριληφθούν και άλλα ανανεώσιμα καύσιμα στο συγκεκριμένο στόχο. Παράλληλα, αντιδράσεις ακολούθησαν και την εθελοντική συμφωνία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και των αυτοκινητοβιομηχανιών, με τις τελευταίες να πετυχαίνουν περιορισμό του στόχου για μείωση του μέσου CO₂ από τα νέα αυτοκίνητα στα 130 g/km μέχρι το 2015, λόγω της αδυναμίας που παρουσίασαν για ταχύτερα αποτελέσματα. Για να επιτευχθεί, επιπλέον, ο στόχος της ΕΕ για περαιτέρω μείωση στα 120 gr CO₂ /km κατά μέσο όρο από τα νέα αυτοκίνητα,

προωθούνται πρόσθετα μέτρα όπως η ενεργειακή σήμανση των οχημάτων και ελαστικών, η πληροφόρηση του κοινού για φιλική προς το περιβάλλον οδήγηση και χρήση του αυτοκινήτου και η φορολόγηση των οδηγών βάσει της ειδικής κατανάλωσης των οχημάτων.

Εν όψει των αποφάσεων για τη μετά-Κιότο εποχή και την ανανέωση των δεσμεύσεων, η ΕΕ συνεχίζει να λαμβάνει πρωτοβουλίες για ενίσχυση των προσπαθειών μείωσης των εκπομπών θέτοντας νέους στόχους για την επόμενη δεκαετία. Το 2008 έθεσε έναν τριπλό στόχο, σύμφωνα με τον οποίο μέχρι το 2020 θα πρέπει να έχουν πραγματοποιηθεί, σε ποσοστό 20% σε κάθε περίπτωση, μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας και διείσδυση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ως μεριδίου επί της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας. Τέλος, με την Απόφαση 406/2009/ΕΚ επιμερίζονται στα κράτη-μέλη της ΕΕ οι ευθύνες για μείωση των αερίων του θερμοκηπίου από τους τομείς που δεν συμμετέχουν στην Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών, όπως είναι οι μεταφορές εξαιρουμένων των αερομεταφορών, οι κατασκευές, η γεωργία και τα απόβλητα. Στο πλαίσιο της απόφασης αυτής, η Ελλάδα δεσμεύτηκε σε 4% μείωση των εκπομπών μέχρι το 2020, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2005.

4. Μεθοδολογική προσέγγιση

Η μεθοδολογική προσέγγιση διαχωρίζεται σε τρία βασικά συμπληρωματικά στάδια με κύριο στόχο την ανάλυση του τομέα των επιβατικών αυτοκινήτων και των σχετικών εκπομπών CO₂, εστιάζοντας σε συγκεκριμένους προσδιοριστικούς παράγοντες. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα ροής του Σχήματος 4.1, στο πρώτο στάδιο αναλύονται εκτενώς οι επιλεγμένοι προσδιοριστικοί παράγοντες και η συνεισφορά τους στις τελικές εκπομπές CO₂ για την παρελθούσα περίοδο 1990-2005. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται πρόβλεψη του τομέα και των συνεπαγόμενων εκπομπών CO₂ για το 2020 με βάση ένα σενάριο χωρίς δράσεις (ΣΧΔ), ενώ στο τελευταίο στάδιο αντιπροσωπευτικές πολιτικές και μέτρα αξιολογούνται μεμονωμένα και συνδυαστικά ως προς το δυναμικό μείωσης των εκπομπών CO₂ το 2020 σε σύγκριση με το ΣΧΔ.

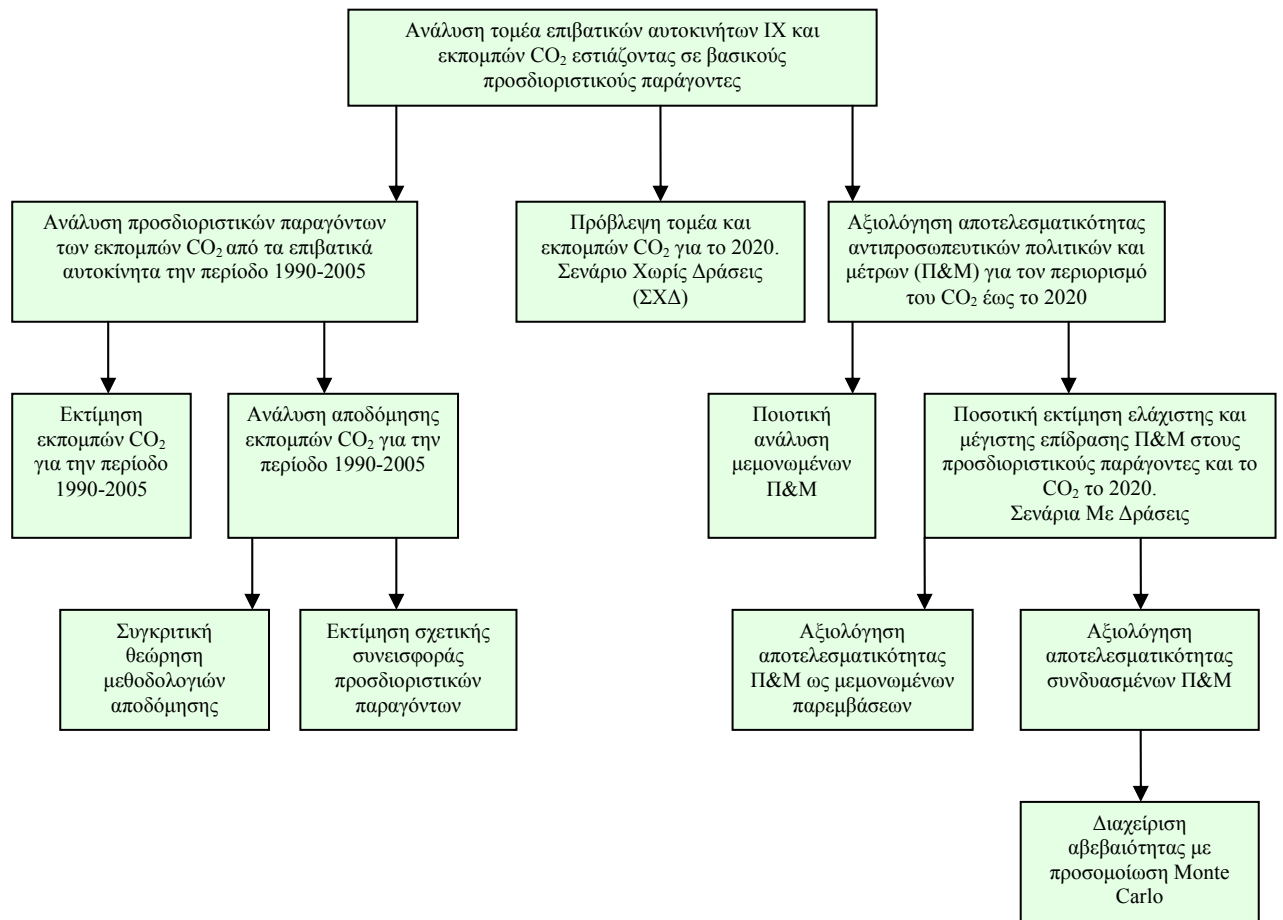
4.1 Ανάλυση Προσδιοριστικών Παραγόντων των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα την περίοδο 1990-2005

Η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων των εκπομπών CO₂ συνίσταται στην κατασκευή και ανάπτυξη του υπολογιστικού μοντέλου και την εφαρμογή των μεθοδολογιών αποδόμησης για την εκτίμηση της σχετικής συνεισφοράς κάθε παράγοντα.

4.1.1 Κατασκευή και ανάπτυξη υπολογιστικού μοντέλου

Το υπολογιστικό μοντέλο βασίστηκε καταρχήν στα διαθέσιμα αναλυτικά στοιχεία για το πλήθος των κυκλοφορούντων αυτοκινήτων ανά καύσιμο, μέγεθος και τεχνολογικές προδιαγραφές κινητήρα (Πίνακας 3.2). Εάν στα τρία παραπάνω χαρακτηριστικά των οχημάτων αντιστοιχίσουμε, με λατινικούς χαρακτήρες, τους δείκτες *i* για το είδος καυσίμου, *j* για το μέγεθος κινητήρα και *k* για την τεχνολογία του κινητήρα, τότε κάθε όχημα θα συμβολίζεται ως V_{ijk} (V = vehicle) ενώ το συνολικό πλήθος των αυτοκινήτων θα δίνεται από τη συνάρτηση 4.1:

$$V = \sum_i \sum_j \sum_k V_{ijk} \quad 4.1$$



Σχήμα 4.1. Διάγραμμα ροής μεθοδολογικής προσέγγισης

Θα συμβολίζονται επίσης με τους λατινικούς χαρακτήρες F, S, T τα μερίδια του στόλου των αυτοκινήτων που αντιστοιχούν σε κάποιο καύσιμο (F= fuel), μέγεθος κινητήρα (S= size) και τεχνολογία κινητήρα (T= technology). Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι θα ισχύουν οι παρακάτω συναρτήσεις:

$$\sum_i F_i = \sum_{ij} S_{ij} = \sum_{ijk} T_{ijk} = 1 \quad 4.2$$

$$\sum_i \left(F_i \cdot \left(\sum_j S_{ij} \cdot \left(\sum_k T_{ijk} \right) \right) \right) = 1 \quad 4.3$$

Οι μεταβολές μέσα στο χρόνο του συνολικού πλήθους των αυτοκινήτων (V) και των επιμέρους συνόλων με κοινό χαρακτηριστικό το είδος καυσίμου (F), τον κυβισμό (S)

ή την τεχνολογία (T) εκφράζουν τη δυναμική του τομέα και τις νέες προτιμήσεις και τάσεις του αγοραστικού κοινού. Πρόκειται, λοιπόν, για τέσσερις βασικές παραμέτρους που αποτελούν την αφετηρία για την κατασκευή του υπολογιστικού μοντέλου. Επιπλέον, τα στατιστικά δεδομένα που περιγράφουν τις συγκεκριμένες παραμέτρους χαρακτηρίζονται, συνήθως, από σημαντική αξιοπιστία, όπως έχουμε αναφέρει στο Κεφάλαιο 2.3.1.

Εντούτοις, μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, σε σχέση με το συνολικό πλήθος των αυτοκινήτων, έχει το μέγεθος της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων, O_s (O_s = ownership), όσον αφορά στην έκφραση του κορεσμού της αγοράς, αλλά και τη συσχέτιση με τα αντίστοιχα μεγέθη άλλων κρατών. Αποτελεί δε μία εξίσου αξιόπιστη παράμετρο εφόσον σχετίζεται με τα στατιστικά δεδομένα του πλήθους των κυκλοφορούντων αυτοκινήτων και του συνολικού πληθυσμού, P (P = population):

$$O_s = \frac{V}{P} \quad 4.4$$

Έχουμε ήδη αναφερθεί εκτενώς, στο πλαίσιο της βιβλιογραφικής επισκόπησης, στις διάφορες εκφράσεις ενεργειακής έντασης, ή, αντιστρόφως, ενεργειακής αποδοτικότητας, που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την εξέταση του τομέα των μεταφορών είτε ως προς την ενεργειακή κατανάλωση, είτε ως προς τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Όσον αφορά στις επιβατικές οδικές μεταφορές χρησιμοποιούνται ευρέως τόσο ο δείκτης της ενεργειακής κατανάλωσης ανά επιβατοχιλιόμετρο, όσο και ανά μονάδα διανυόμενης απόστασης. Ο μεν πρώτος προτιμάται σαφώς σε μελέτες με αντικείμενο το συνολικό τομέα των επιβατικών οδικών μεταφορών εφόσον συμπεριλαμβάνονται και τα μέσα μαζικής μεταφοράς, ενώ ο δεύτερος αποκτάει νόημα στη μεμονωμένη ανάλυση των επιβατικών αυτοκινήτων. Τα στατιστικά δεδομένα, βέβαια, που αφορούν τόσο στα επιβατοχιλιόμετρα όσο και στα οχηματοχιλιόμετρα, είναι συνήθως εξαιρετικά αναξιόπιστα και βασίζονται σε υποθέσεις σχετικές κυρίως με το φορτίο (επιβάτες ανά όχημα) και τη μέση ετήσια απόσταση που διανύουν τα οχήματα (Κεφάλαιο 2.3 και 3.2). Στο παρόν υπολογιστικό μοντέλο η ενεργειακή ένταση των αυτοκινήτων εκφράζεται ως ενεργειακή κατανάλωση ανά μονάδα διανυθείσας απόστασης, ή, αλλιώς, ειδική κατανάλωση (e = specific energy consumption). Λόγω της

διαθεσιμότητας των σχετικών προκαθορισμένων τιμών ειδικής κατανάλωσης που εμπεριέχονται στη βάση δεδομένων του μοντέλου για τον υπολογισμό των αερίων του θερμοκηπίου από τις οδικές μεταφορές COPERT IV (Κεφάλαιο 3.3.2), σε κάθε τύπο αυτοκινήτου V_{ijk} αντιστοιχεί η ενεργειακή ένταση e_{ijk} , ενώ για τον υπολογισμό της μέσης ενεργειακής έντασης, E , θα ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$E = \frac{\sum_{ijk} (e_{ijk} \times V_{ijk})}{\sum_{ijk} V_{ijk}} \quad 4.5$$

Με την ίδια λογική υπολογίζεται και η μέση ενεργειακή ένταση οποιουδήποτε συνόλου συναθροισμένων υποκατηγοριών αυτοκινήτων. Προκειμένου να υπολογιστεί περαιτέρω η ενεργειακή κατανάλωση, Ec ($Ec = \text{energy consumption}$), διαμορφώνεται η μέση διανυθείσα απόσταση ανά όχημα, D ($D = \text{distance}$). Λόγω της έλλειψης αναλυτικών στατιστικών στοιχείων για τις διανυόμενες αποστάσεις των οχημάτων στην Ελλάδα (Κεφάλαιο 2.3), καθώς και της μεγάλης αβεβαιότητας των στοιχείων για τα επιβατοχιλιόμετρα, από τα οποία θα μπορούσαν ενδεχομένως να προκύψουν εκτιμήσεις οχηματοχιλιομέτρων, η μέση διανυθείσα απόσταση εκτιμήθηκε με βάση τις περιορισμένες σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές, σε συνδυασμό με λογικές παραδοχές. Στο παρόν υπολογιστικό μοντέλο, η μέση διανυθείσα απόσταση διαφοροποιείται μόνο ως προς το καύσιμο (D_i), βάσει της διαθεσιμότητας σχετικών πληροφοριών, με αποτέλεσμα η μέση απόσταση ανά όχημα (D) να δίνεται από τη συνάρτηση:

$$D = \frac{\sum_i (D_i \times V_i)}{\sum_i V_i} \quad 4.6$$

Η ενεργειακή κατανάλωση ενός οχήματος, Ec_{ijk} , είναι προφανώς συνισταμένη της διανυόμενης απόστασης και της ειδικής κατανάλωσης:

$$Ec_{ijk} = D_i \cdot e_{ijk} \quad 4.7$$

Η τελική ενεργειακή κατανάλωση του στόλου, Ec , είναι συνισταμένη του πλήθους των οχημάτων, της μέσης απόστασης που διανύει ένα όχημα και της μέσης

ενεργειακής έντασης, όπως υποδηλώνει η συνάρτηση 4.7:

$$Ec = V \cdot D \cdot E \quad 4.8$$

Αναπτύσσοντας τη συνάρτηση 4.8 με τη βοήθεια των συναρτήσεων 4.3 και 4.4 καταλήγουμε στην παρακάτω αναλυτική συνάρτηση 4.9, η οποία εκφράζει την ενεργειακή κατανάλωση όπως διαμορφώνεται από το συνδυασμό του συνόλου των επιλεγμένων παραμέτρων σε μία χρονική στιγμή t:

$$Ec = P \cdot Os \cdot \sum_i (D_i \cdot F_i \cdot (\sum_j (S_{ij} \cdot \sum_k (T_{ijk} \cdot e_{ijk})))) \quad 4.9$$

Οι εκπομπές CO₂, οι οποίες θα συμβολίζονται με το λατινικό C (C= carbon dioxide) στις συναρτήσεις για λόγους συντομογραφίας, σχετίζονται με την ενεργειακή κατανάλωση και το συντελεστή εκπομπής CO₂, f (f= emission factor), ο οποίος εξαρτάται από το είδος καυσίμου (f_i). Οι εκπομπές CO₂ από ένα όχημα V_{ijk} και από το συνολικό στόλο δίνονται από τις συναρτήσεις 4.10 και 4.11:

$$C_{ijk} = Ec_{ijk} \cdot f_i \quad 4.10$$

$$C = \sum_i Ec_i \cdot f_i \quad 4.11$$

Συνδυάζοντας τις συναρτήσεις 4.9 και 4.11 καταλήγουμε στην τελική αναλυτική συνάρτηση υπολογισμού των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα σε μια χρονική στιγμή:

$$C = P \cdot Os \cdot \sum_i (D_i \cdot F_i \cdot f_i \cdot (\sum_j (S_{ij} \cdot \sum_k (T_{ijk} \cdot e_{ijk})))) \quad 4.12$$

Η συνάρτηση 4.12 περιγράφει ουσιαστικά τη δομή του υπολογιστικού μοντέλου, το οποίο λειτουργεί ως βάση για την εξέταση της εξέλιξης των περιγραφομένων προσδιοριστικών παραγόντων σε μια ορισμένη χρονική περίοδο και της συνεισφοράς τους στην εξέλιξη των συνολικών εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα.

4.1.2 Ανάλυση αποδόμησης των εκπομπών CO₂

Οι μεθοδολογίες ανάλυσης αποδόμησης εφαρμόζονται με στόχο την εκτίμηση της

συνεισφοράς των εξεταζόμενων προσδιοριστικών παραγόντων στη μεταβολή των εκπομπών CO₂ μέσα σε μια ορισμένη χρονική περίοδο. Εκτενής παρουσίαση και ανάλυση των μεθοδολογιών αυτών έχει γίνει στο Κεφάλαιο 2.1, ενώ στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκαν οι δύο εξελεγμένες μεθοδολογίες Log-Mean Divisia Index I (LMDI I) και Refined Laspeyres (RL), οι οποίες βασίζονται στους λογαριθμικούς δείκτες Divisia και τους δείκτες Laspeyres αντίστοιχα. Δεδομένου ότι η LMDI I, σύμφωνα με την πρόσφατη βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 2.1), αποτελεί την πιο σύγχρονη και επιστημονικά άρτια μεθοδολογία ανάλυσης αποδόμησης, κερδίζοντας συνεχώς έδαφος έναντι της RL (Κεφάλαιο 2.3), επιλέχθηκε μεταξύ των δύο ως η καταλληλότερη για την παρουσίαση κι ερμηνεία της σχετικής συνεισφοράς των προσδιοριστικών παραγόντων στις ετήσιες μεταβολές των εκπομπών CO₂ την περίοδο 1990-2005. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της LMDI I παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5 – ‘Εφαρμογή μεθοδολογίας και αποτελέσματα’.

Σε ξεχωριστή ενότητα (Κεφάλαιο 6) αναπτύσσεται η εφαρμογή της RL μεθοδολογίας, ενώ παράλληλα πραγματοποιείται συγκριτική θεώρηση των δύο μεθοδολογιών ανάλυσης αποδόμησης, η οποία στοχεύει στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητά τους σε συστήματα πολύπλοκα με πολλούς εξαρτημένους (μη διακριτούς) προσδιοριστικούς παράγοντες, όπως είναι το παρόν μοντέλο, καθώς και σε αναλύσεις μεγάλων χρονικών περιόδων σε περιπτώσεις έλλειψης στοιχείων για τα ενδιάμεσα έτη, όπως στο πλαίσιο των μελλοντικών προβλέψεων. Επιπλέον, ενισχύεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των ετήσιων μεταβολών των εκπομπών CO₂ για την περίοδο 1990-2005.

Για λόγους διευκόλυνσης της κατανόησης των αποτελεσμάτων εφαρμόσαμε την προσθετική εκδοχή της ανάλυσης αποδόμησης, σύμφωνα με την οποία η μεταβολή των εκπομπών CO₂ τη χρονική περίοδο [0-t] υπολογίζεται ως διαφορά των εκπομπών της χρονικής στιγμής t από τις εκπομπές του έτους βάσης t=0:

$$\Delta C = C_t - C_0 = P^t \cdot Os^t \cdot \sum_i (f_i \cdot D_i^t \cdot F_i^t \cdot (\sum_j (S_{ij}^t \cdot \sum_k (T_{ijk}^t \cdot e_{ijk}))) - P^0 \cdot Os^0 \cdot \sum_i (f_i \cdot D_i^0 \cdot F_i^0 \cdot (\sum_j (S_{ij}^0 \cdot \sum_k (T_{ijk}^0 \cdot e_{ijk}))) \quad 4.13$$

Η συνάρτηση 4.13 υποδηλώνει ότι η μεταβολή των εκπομπών CO₂, ΔC, μπορεί να αποδοθεί στους ακόλουθους καθοριστικούς παράγοντες:

- Τη μεταβολή του πληθυσμού, ΔP.
- Τη μεταβολή της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων, ΔOs.
- Τη μεταβολή της μέσης διανυθείσας απόστασης ενός αυτοκινήτου, ΔD.
- Τη μεταβολή του μίγματος καυσίμων, ΔF, εκφρασμένης ως αναλογίας των οχημάτων με διαφορετικό καύσιμο.
- Τη μεταβολή του μεγέθους, ΔS, εκφρασμένης ως αναλογίας των οχημάτων με διαφορετικό κυβισμό.
- Τη μεταβολή της τεχνολογίας, ΔT, εκφρασμένης ως αναλογίας των οχημάτων με διαφορετικές τεχνολογικές προδιαγραφές κινητήρα.

Όσον αφορά στους συντελεστές εκπομπής CO₂ ανά καύσιμο, f_i, και τις ειδικές καταναλώσεις ανά όχημα καυσίμου i, κυβισμού j και τεχνολογίας k, e_{ijk}, παραμένουν αμετάβλητα στην εξεταζόμενη περίοδο 1990-2005, με αποτέλεσμα να μην ευθύνονται για τη μεταβολή των εκπομπών, η οποία τελικά αποδομείται όπως φαίνεται στην προσθετική σχέση 4.14:

$$\Delta C_{0-t} = \Delta P_{0-t} + \Delta O s_{0-t} + \Delta D_{0-t} + \Delta F_{0-t} + \Delta S_{0-t} + \Delta T_{0-t} \quad 4.14$$

Σύμφωνα με την LMDI I μεθοδολογία, της οποίας βασικό πλεονέκτημα είναι η αντιμετώπιση του υπολείμματος που αφήναν προγενέστερες μεθοδολογίες αποδόμησης, οι προσδιοριστικοί παράγοντες της σχέσης 4.14 υπολογίζονται από τις ακόλουθες συναρτήσεις:

$$\Delta P = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln(P^t / P^0)) \quad 4.15$$

$$\Delta O s = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln(O s^t / O s^0)) \quad 4.16$$

$$\Delta D = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln(D_i^t / D_i^0)) \quad 4.17$$

$$\Delta F = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln(F_i^t / F_i^0)) \quad 4.18$$

$$\Delta S = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln(S_{ij}^t / S_{ij}^0)) \quad 4.19$$

$$\Delta T = \sum_i \sum_j \sum_k (L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) \cdot \ln(T_{ijk}^t / T_{ijk}^0)) \quad 4.20$$

Όπου $L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0)$ ο μέσος συντελεστή βαρύτητας που ορίζεται ως ο λογαριθμικός μέσος 2 θετικών αριθμών:

$$L(C_{ijk}^t, C_{ijk}^0) = (C_{ijk}^t - C_{ijk}^0) / (\ln C_{ijk}^t - \ln C_{ijk}^0)$$

Δεδομένου του μεγάλου αριθμού προσδιοριστικών παραγόντων που περιλαμβάνει το υπολογιστικό μοντέλο, γίνεται αντιληπτή, από τις συναρτήσεις 4.15-4.20, η μεγάλη ευκολία στην πρακτική εφαρμογή της LMDI I μεθοδολογίας.

Αντιθέτως, η Refined Laspeyres (RL) μεθοδολογία, προκειμένου να διαχειριστεί το ανεξήγητο υπόλειμμα που προέκυπτε με την εφαρμογή της πρώιμης κλασσικής Laspeyres μεθοδολογίας, οδηγεί σε εξαιρετικά πολύπλοκες συναρτήσεις, το πλήθος των οποίων αυξάνεται γεωμετρικά με κάθε προσθήκη νέου προσδιοριστικού παράγοντα (Κεφάλαιο 2.1). Με βάση την RL μεθοδολογία, οι αναλυτικές συναρτήσεις προσδιορισμού των όρων της προσθετικής συνάρτησης αποδόμησης 4.14 είναι οι ακόλουθες:

$$\begin{aligned} \Delta P = & (P_t - P_0) \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot F_0^i \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \\ & + \frac{1}{2} \cdot \sum R_{P,x} + \frac{1}{3} \cdot \sum R_{P,x,y} + \frac{1}{4} \cdot \sum R_{P,x,y,z} + \frac{1}{5} \cdot \sum R_{P,x,y,z,w} + \frac{1}{6} \cdot R_{P,Os,D,F,S,T} \end{aligned} \quad (4.21)$$

$$\begin{aligned} \Delta Os &= P_0 \cdot (Os_t - Os_0) \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot F_0^i \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \sum R_{Os,x} + \frac{1}{3} \cdot \sum R_{Os,x,y} + \frac{1}{4} \cdot \sum R_{Os,x,y,z} + \frac{1}{5} \cdot \sum R_{Os,x,y,z,w} + \frac{1}{6} \cdot R_{P,Os,D,F,S,T} \end{aligned} \quad (4.22)$$

$$\begin{aligned} \Delta D &= P_0 \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot (D_t^i - D_0^i) \cdot F_0^i \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \sum R_{D,x} + \frac{1}{3} \cdot \sum R_{D,x,y} + \frac{1}{4} \cdot \sum R_{D,x,y,z} + \frac{1}{5} \cdot \sum R_{D,x,y,z,w} + \frac{1}{6} \cdot R_{P,Os,D,F,S,T} \end{aligned} \quad (4.23)$$

$$\begin{aligned} \Delta F &= P_0 \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot (F_t^i - F_0^i) \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \sum R_{F,x} + \frac{1}{3} \cdot \sum R_{F,x,y} + \frac{1}{4} \cdot \sum R_{F,x,y,z} + \frac{1}{5} \cdot \sum R_{F,x,y,z,w} + \frac{1}{6} \cdot R_{P,Os,D,F,S,T} \end{aligned} \quad (4.24)$$

$$\begin{aligned} \Delta S &= P_0 \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot F_0^i \cdot \sum_j ((S_t^{i,j} - S_0^{i,j}) \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \sum R_{S,x} + \frac{1}{3} \cdot \sum R_{S,x,y} + \frac{1}{4} \cdot \sum R_{S,x,y,z} + \frac{1}{5} \cdot \sum R_{S,x,y,z,w} + \frac{1}{6} \cdot R_{P,Os,D,F,S,T} \end{aligned} \quad (4.25)$$

$$\begin{aligned} \Delta T &= P_0 \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot F_0^i \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k ((T_t^{i,j,k} - T_0^{i,j,k}) \cdot e^{i,j,k}))) \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \sum R_{T,x} + \frac{1}{3} \cdot \sum R_{T,x,y} + \frac{1}{4} \cdot \sum R_{T,x,y,z} + \frac{1}{5} \cdot \sum R_{T,x,y,z,w} + \frac{1}{6} \cdot R_{P,Os,D,F,S,T} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Κάθε ένας από τους παραπάνω προσδιοριστικούς παράγοντες εξαρτάται όχι μόνο από την επίδραση της μεταβολής της αντίστοιχης παραμέτρου (κατά τη συνθήκη *ceteris paribus*), αλλά και από τις συνδυασμένες επιδράσεις που προκύπτουν από όλες τις πιθανές ταυτόχρονες μεταβολές των εξεταζόμενων παραμέτρων, ισοκαταναμημένες στους εμπλεκόμενους παράγοντες. Με τον τρόπο αυτό, η RL διαχειρίζεται το ανεξήγητο υπόλειμμα που αφήνει η κλασσική Laspeyres μεθοδολογία. Για το σύνολο U των εξεταζόμενων προσδιοριστικών παραγόντων (U= P, Os, D, S, T, F), οι υπολειμματικοί όροι $R_{Q,x}$, $R_{Q,x,y}$, $R_{Q,x,y,z}$, $R_{Q,x,y,z,w}$, $R_{P,Os,D,F,S,T}$ συμβολίζουν τις συνέργειες από τους συνδυασμούς 2, 3, 4, 5 και 6 παραγόντων. Ο παράγοντας Q αντιστοιχεί στην εκάστοτε εξεταζόμενη επίδραση ($Q \in U$), ενώ ισχύει $(x, y, z, w) \in (U - \{Q\})$, $x \neq y \neq z \neq w$. Για παράδειγμα, οι συναρτήσεις που προσδιορίζουν τους

υπολειμματικούς όρους της συνάρτησης (4.21) είναι οι ακόλουθες:

$$R_{P,Os} = (P_t - P_0) \cdot (Os_t - Os_0) \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot F_0^i \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \quad (4.27)$$

$$R_{P,D} = (P_t - P_0) \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot (D_t^i - D_0^i) \cdot F_0^i \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \quad (4.28)$$

$$R_{P,F} = (P_t - P_0) \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot (F_t^i - F_0^i) \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \quad (4.29)$$

$$R_{P,S} = (P_t - P_0) \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot F_0^i \cdot \sum_j ((S_t^{i,j} - S_0^{i,j}) \cdot \sum_k (T_0^{i,j,k} \cdot e^{i,j,k}))) \quad (4.30)$$

$$R_{P,T} = (P_t - P_0) \cdot Os_0 \cdot \sum_i (f^i \cdot D_0^i \cdot F_0^i \cdot \sum_j (S_0^{i,j} \cdot \sum_k ((T_t^{i,j,k} - T_0^{i,j,k}) \cdot e^{i,j,k}))) \quad (4.31)$$

Είναι εμφανές ότι η Refined Laspeyres οδηγεί σε εξαιρετικά πολύπλοκους υπολογισμούς όταν εφαρμόζεται σε μοντέλα που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό προσδιοριστικών παραγόντων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποδόμησης από αμφοτέρως τις μεθοδολογίες μπορούν να δοθούν, επίσης, και σε μορφή ποσοστιαίας αναλογία επί τοις εκατό, διαιρώντας και τα δύο μέρη της συνάρτησης 4.14 με το ΔC και πολλαπλασιάζοντας με 100%, με στόχο την εκτίμηση της σχετικής συνεισφοράς των προσδιοριστικών παραγόντων:

$$\left(\frac{\Delta C}{\Delta C} \right) \cdot 100\% = \sum_v \frac{\Delta X}{\Delta C} \cdot 100\%$$

όπου κεφαλή το πλήθος των συνιστωσών ΔX .

Οι μεθοδολογίες αποδόμησης εφαρμόζονται για την ανάλυση των ετήσιων μεταβολών των εκπομπών CO₂ από το 1990 έως το 2005 λόγω της διαθεσιμότητας των στοιχείων που αφορούν στο πλήθος των αυτοκινήτων ανά μέγεθος και τεχνολογία κινητήρα για τη συγκεκριμένη περίοδο. Για την αποδόμηση μεταβολών για περιόδους μεγαλύτερες του ενός έτους, για λόγους ευκολότερης κατανόησης

των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, απλώς προστίθενται οι επιμέρους ετήσιες μεταβολές. Ως γενικός κανόνας, άλλωστε, ισχύει ότι η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε όλη τη χρονοσειρά μιας περιόδου εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη όλη η ‘διαδρομή’ των προσδιοριστικών παραγόντων μεταξύ των χρονικών άκρων.

4.2 Πρόβλεψη εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα για το 2020-Σενάριο Χωρίς Δράσεις

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποδόμησης των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα αποτελούν ουσιαστικά εργαλείο για την ανάδειξη των σοβαρότερων αδυναμιών που σχετίζονται με την ανοδική τάση των εκπομπών και την πρόβλεψη αυτών χωρίς και με την εφαρμογή συγκεκριμένων δράσεων από την πολιτεία και άλλους σχετικούς φορείς.

Η παρατήρηση των παρελθοντικών τάσεων των προσδιοριστικών παραγόντων των εκπομπών CO₂, μέσω της χρονοσειράς που καλύπτουν τα στοιχεία για τις παραμέτρους του υπολογιστικού μοντέλου, δίνει τη δυνατότητα της διαμόρφωσης ενός μελλοντικού Σεναρίου Χωρίς Δράσεις (ΣΧΔ), συνυπολογίζοντας συγκεκριμένους περιορισμούς και προϋποθέσεις. Το ΣΧΔ, τελικά, αξιοποιείται ως ένα σενάριο αναφοράς για την αξιολόγηση των πολιτικών και μέτρων που στοχεύουν στη μεταβολή των τάσεων, όπως αυτές διαμορφώθηκαν τις τελευταίες δύο δεκαετίες.

Η σύνθεση του ΣΧΔ προϋποθέτει την προεκβολή όλων των μεταβλητών παραμέτρων του υπολογιστικού μοντέλου, αξιοποιώντας όλες τις πληροφορίες που πλαισιώνουν και οριοθετούν την εξέλιξη της κάθε παραμέτρου. Σε κάθε περίπτωση, συγκεκριμένα, ακολουθήθηκαν όσα περισσότερα από τα παρακάτω βήματα:

- Παρατήρηση του ρυθμού μεταβολής της παραμέτρου για την παρελθούσα περίοδο.
- Σύγκριση απόλυτων τιμών και ρυθμού μεταβολής με τα αντίστοιχα μέσα μεγέθη της ΕΕ ή επιλεγμένων κρατών.
- Αξιοποίηση βιβλιογραφικών πηγών με συναφείς προβλέψεις.

- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων βάσει ρεαλιστικών κριτηρίων.
- Σύγκριση αποτελεσμάτων με αντίστοιχα συναφών μελετών.

Η κατασκευή του υπολογιστικού μοντέλου βασίστηκε στα παρακάτω κομβικά σημεία:

- Προεκβολή της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτου με βάση τρεις διαδοχικούς τετραετείς ρυθμούς μεταβολής για την περίοδο 2008-2020.
- Προεκβολή του πλήθους των αυτοκινήτων βάσει της προβλεπόμενης κατά κεφαλή κατοχής και του προβλεπόμενου πληθυσμού.
- Επιμερισμός των συνολικών αυτοκινήτων στις υποκατηγορίες με βάση το καύσιμο, τον κυβισμό και την τεχνολογία, συνυπολογίζοντας τα νεοεισερχόμενα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων.
- Γραμμική προεκβολή της μέσης διανυθείσας απόστασης για τις κατηγορίες αυτοκινήτων με βάση το καύσιμο.

Ο υπολογισμός των τελικών εκπομπών CO₂ πραγματοποιείται με τη βασική συνάρτηση 4.12 του υπολογιστικού μοντέλου, ενώ τα αποτελέσματα αξιολογούνται ως προς την αβεβαιότητα που τα χαρακτηρίζει.

4.3 Αξιολόγηση πολιτικών και μέτρων

Το ΣΧΔ αποτελεί τη βάση για την αποτίμηση της αποτελεσματικότητας συγκεκριμένων πολιτικών και μέτρων ως προς το δυναμικό μείωσης των εξεταζόμενων προσδιοριστικών παραγόντων και των συνεπαγόμενων εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα. Οι επιλεγμένες πολιτικές και τα μέτρα αξιολογούνται ως μεμονωμένες περιπτώσεις, καθώς και συνδυαστικά, έτσι ώστε να συνυπολογίζονται τυχόν αλληλεπιδράσεις τους με θετική ή αρνητική επίπτωση στον περιορισμό των εκπομπών CO₂.

4.3.1 Πολιτικές και μέτρα

Η ανασκόπηση της τρέχουσας βιβλιογραφίας πάνω στα θέματα του περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και του σχεδιασμού σεναρίων για τον τομέα των

μεταφορών (Κεφάλαιο 2.3) ανέδειξε μία σειρά από πολιτικές και μέτρα που έχουν τη δυνατότητα να ανακόψουν την ταχύτητα με την οποία εξελίσσεται ο τομέας και συγκεκριμένα η κατηγορία των επιβατικών αυτοκινήτων. Οι πολιτικές και τα μέτρα που επιλέξαμε να εξετάσουμε ανήκουν στα πλέον συζητημένα και, ως επί το πλείστον, ήδη εφαρμοζόμενα στον Ευρωπαϊκό χάρτη. Ορισμένα βρίσκονται μόλις στο αρχικό στάδιο εφαρμογής και στην Ελλάδα. Με βάση τον κύριο προσανατολισμό τους κατηγοριοποιούνται σε τρία ‘πακέτα’ (Π) που στοχεύουν σε

- βελτίωση των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών των αυτοκινήτων που επιδρούν στην ενεργειακή κατανάλωση, (Π1),
- μεταβολή της συμπεριφοράς των οδηγών, (Π2),
- βελτίωση του μίγματος καυσίμων ως προς την ένταση σε εκπομπές CO₂, (Π3).

Κάθε ένα από τα παραπάνω πακέτα περιλαμβάνει διάφορα μέτρα με χαρακτήρα τεχνολογικό, οικονομικό, σχετικό με υποδομές, με εκπαίδευση και με έλεγχο της κυκλοφορίας. Επίσης, κάθε μέτρο μπορεί να επιδρά σε περισσότερες από μία παραμέτρους που ενσωματώνει το υπολογιστικό μοντέλο.

4.3.2 Ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση

Η αξιολόγηση των μέτρων ως μεμονωμένων παρεμβάσεων γίνεται καταρχήν ποιοτικά, με τη συστηματική εξέταση και καταγραφή της τάσης κάθε μέτρου να επιδρά θετικά, αρνητικά ή ουδέτερα σε κάθε μία από τις παραμέτρους του υπολογιστικού μοντέλου και τις εκπομπές CO₂. Προκειμένου, στη συνέχεια, να εκτιμηθεί ποσοτικά η επίδραση που ασκείται από κάθε μέτρο στις παραμέτρους και τις τελικές εκπομπές του μοντέλου, απαιτείται ο καθορισμός του βαθμού διεύθυνσης του μέτρου, ο οποίος περιγράφεται από δύο βασικές συνιστώσες:

- το βαθμό στον οποίο επιδρά το μέτρο σε μία ή περισσότερες χαρακτηριστικές παραμέτρους και
- το πεδίο εφαρμογής του μέτρου.

Οι συντελεστές που επηρεάζονται από ένα μέτρο δεν ανήκουν κατ’ ανάγκη στο σύνολο παραμέτρων που περιλαμβάνει το μοντέλο, αλλά σε κάθε ανάλογη περίπτωση

συσχετίζονται με μία ή περισσότερες από αυτές. Εάν, για παράδειγμα, ένα μέτρο έχει οικονομικό χαρακτήρα και προϋποθέτει την επιβολή φόρου με αποδέκτη τον καταναλωτή, εκτιμάται η ανταπόκριση του τελευταίου, με βάση μία καθορισμένη τιμή ελαστικότητας, ως προς κάποια παράμετρο του μοντέλου που καθορίζεται από τον προσανατολισμό του μέτρο.

Το υπολογιστικό μοντέλο προσαρμόζεται ούτως ώστε να αφομοιώνει σε κάθε περίπτωση τον εκάστοτε βαθμό διείδυσης. Με τον τρόπο αυτό, το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει τις μεταβολές που επιφέρει η εφαρμογή ενός μέτρου, καθώς και συνδυασμού μέτρων, συνυπολογίζοντας τυχόν αλληλεπιδράσεις. Για να δώσουμε ένα πολύ απλό παράδειγμα, έστω ότι δύο μέτρα, μ_1 και μ_2 , επιδρούν πάνω στην παράμετρο της κατά κεφαλή κατοχής, επιφέροντας μείωση $x_1\%$ και $x_2\%$ αντίστοιχα επί του αρχικού μεγέθους που υπολογίστηκε στο πλαίσιο του ΣΧΔ, όπως δείχνει η σχέση 4.21:

$$Os'_{\mu_1, \mu_2} = Os'_{\Sigma\chi\Delta} \cdot (1 - x_1\%) \cdot (1 - x_2\%) \quad 4.21$$

Τα x_1 και x_2 είναι συντελεστές που εξαρτώνται από τον επιλεγόμενο βαθμό διείδυσης του κάθε μέτρου. Στην περίπτωση, δηλαδή, που θέλουμε να υπολογίσουμε την επίδραση του μέτρου μ_1 μεμονωμένα, το x_2 μηδενίζεται. Συνεπώς, με τη διείδυση των μέτρων μ_1 και μ_2 , η βασική συνάρτηση του μοντέλου 4.12, για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂, μετατρέπεται στη συνάρτηση 4.22:

$$C'_{\mu_1, \mu_2} = P^t \cdot Os'_{\mu_1, \mu_2} \cdot \sum_i (D_i^t \cdot F_i^t \cdot f_i \cdot (\sum_j (S_{ij}^t \cdot \sum_k (T_{ijk}^t \cdot e_{ijk}))) \quad 4.22$$

Με την ίδια λογική, ενσωματώνοντας τους καθοριστικούς συντελεστές όλων των μέτρων, χτίζεται το μοντέλο των προβλέψεων. Οι συντελεστές αυτοί 'ενεργοποιούνται', παίρνουν δηλαδή μία συγκεκριμένη τιμή, ανάλογα με τη διείδυση του αντίστοιχου μέτρου.

Με βάση το τελικό μοντέλο των προβλέψεων, η ποσοτική αξιολόγηση ακολουθεί συνοπτικά τα παρακάτω βήματα:

- Εκτίμηση της επίδρασης κάθε μέτρου μεμονωμένα.

- Εκτίμηση της επίδρασης των ‘ανά 2’ συνδυασμών των μέτρων, με στόχο την λεπτομερή παρατήρηση των αλληλεπιδράσεων.
- Εκτίμηση της επίδρασης από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων.

4.3.3 Σχεδιασμός σεναρίων

Θεωρούμε ότι κάθε μέτρο έχει ένα εύρος δυναμικού, δηλαδή ελάχιστη και μέγιστη δυνατότητα επίδρασης στις παραμέτρους. Επομένως, τα εξεταζόμενα σεναρία διαφοροποιούνται ως προς την επιλογή ελάχιστου ή μέγιστου δυναμικού των μέτρων.

Προκειμένου να εκτιμηθεί το εύρος δυναμικού του κάθε μέτρου, ως προς τη μείωση των εκπομπών CO₂, είναι απαραίτητο να οριστούν συγκεκριμένοι ελάχιστοι και μέγιστοι βαθμοί διείδυσης. Ο καθορισμός του βαθμού διείδυσης ενός μέτρου γίνεται, ανάλογα με την περίπτωση, με βάση:

- πληροφορίες από τη βιβλιογραφία για την αποτελεσματικότητα ενός μέτρου,
- αναγωγή των αποτελεσμάτων από την προώθηση και εφαρμογή ενός μέτρου σε άλλη χώρα, σύμφωνα με τα δεδομένα τις Ελλάδας,
- Οδηγίες της ΕΕ που επιβάλλουν συγκεκριμένους στόχους.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η σημασία των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των εξεταζόμενων μέτρων και να αξιολογηθεί η αποδοτικότητα μιας ολοκληρωμένης πολιτικής που καλείται να αντιμετωπίσει τα σοβαρά ζητήματα που προέκυψαν από την ανάλυση του τομέα των επιβατικών αυτοκινήτων, εξετάζεται η ελάχιστη και μέγιστη επίδραση του κάθε μέτρου μεμονωμένα, καθώς και του συνόλου των μέτρων.

4.3.4 Διαχείριση αποτελεσμάτων

Η εφαρμογή των μέτρων, είτε ως μεμονωμένων παρεμβάσεων είτε σε συνδυασμούς, έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή, σε σχέση με το ΣΧΔ, των παραμέτρων του υπολογιστικού μοντέλου και των τελικών εκπομπών CO₂. Στο πλαίσιο της ποσοτικής αξιολόγησης, από το σύνολο των παραμέτρων που αναλύει το υπολογιστικό μοντέλο απομονώνονται και παρουσιάζονται τελικά τα ακόλουθα μεγέθη, σε απόλυτες τιμές καθώς και σε ποσοστιαίες επί τοις εκατό:

- Μεταβολή της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων, Os.
- Μεταβολή της μέσης ετήσιας διανυόμενης απόστασης ανά όχημα, D.
- Μεταβολή της μέσης σταθμισμένης ενεργειακής έντασης (ή μέσης σταθμισμένης ειδικής κατανάλωσης) του στόλου, E.
- Μεταβολή του συνολικού μεριδίου των αυτοκινήτων με συμβατικά καύσιμα, F_c (c= conventional).
- Μεταβολή του συνολικού μεριδίου των αυτοκινήτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού, $S_{m,b}$ (m= medium, b= big).
- Μεταβολή του μεριδίου των αυτοκινήτων με τεχνολογικές προδιαγραφές παλαιότερες του 2005 (προ Euro IV), T_{old} .
- Μεταβολή του μέσου συντελεστή εκπομπής CO₂, f.
- Μεταβολή των συνολικών εκπομπών CO₂, C.

Κάθε μείωση των παραπάνω μεγεθών, σε σχέση με τα αντίστοιχα επίπεδα του σεναρίου αναφοράς, ΣΧΔ, ισοδυναμεί με θετική επίδραση του σχετικού μέτρου ή συνδυασμού μέτρων, ενώ κάθε αύξηση ισοδυναμεί με αρνητική επίδραση. Η δε συσχέτιση των αποτελεσμάτων του αθροίσματος των επιδράσεων μεμονωμένων μέτρων με την επίδραση της ταυτόχρονης εφαρμογής των αντίστοιχων μέτρων, αναδεικνύει τυχόν θετικές ή αρνητικές συνέργειες, με την έννοια της αυξημένης ή μειωμένης αποτελεσματικότητας του συνδυασμού των μέτρων ως προς τη μείωση των εκπομπών CO₂.

Τα σενάρια εξετάζονται περαιτέρω και ως προς την αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων τους, με εφαρμογή της μεθόδου προσομοίωσης Monte Carlo (Mavrotas et al., 2010; Vose, 2006; Fishman, 1996), η οποία ακολουθεί την τεχνική προσομοίωσης που βασίζεται στην τυχαία δειγματοληψία. Συγκεκριμένα, πραγματοποιώντας τυχαίες δειγματοληψίες στις μεταβλητές εισόδου λαμβάνονται κατανομές για τις μεταβλητές εξόδου. Στην προκειμένη περίπτωση οι μεταβλητές εισόδου αντιστοιχούν στις παραμέτρους που καθορίζουν το βαθμό διεύθυνσης ενός μέτρου, ενώ οι μεταβλητές εξόδου στη μεταβολή των εκπομπών CO₂. Η τυχαία δειγματοληψία

πραγματοποιείται από τα διαστήματα μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης τιμής των καθοριστικών παραμέτρων.

Οι κατανομές για τις μεταβλητές εξόδου του μοντέλου αποτελούν στην ουσία κατανομές πυκνότητας πιθανότητας και δείχνουν, μέσω μορφοποιημένης συνάρτησης, την πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή να πάρει μία συγκεκριμένη τιμή ή να βρίσκεται σε ένα συγκεκριμένο διάστημα. Κάθε είδος κατανομής χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες παραμέτρους οι οποίες καθορίζουν τα όρια κατανομής και το σχήμα της. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ως καταλληλότερες κατανομές θεωρούνται η ομοιόμορφη (uniform distribution) και η κανονική (normal distribution). Η ομοιόμορφη κατανομή χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι υπάρχει ίδια πιθανότητα για όλες τις τιμές εντός ενός διαστήματος. Οι παράμετροι της κατανομής είναι δύο: η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του διαστήματος. Η κανονική κατανομή είναι γνωστή και ως κατανομή Gauss και έχει το χαρακτηριστικό σχήμα της καμπάνας. Υπάρχει συσσώρευση τιμών γύρω από μια κεντρική τιμή (τη μέση τιμή), το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να προκύψει μια τιμή κοντά στη μέση τιμή. Είναι συμμετρική και έχει ως παραμέτρους τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση που είναι ένα μέτρο της διασποράς γύρω από τη μέση τιμή. Συγκεκριμένα, ως μέση τιμή ορίζεται το μεσοδιάστημα και ως τυπική απόκλιση το $1/6$ του διαστήματος. Για κάθε κατανομή πυκνότητας πιθανότητας υπάρχει και η αντίστοιχη αθροιστική κατανομή πιθανότητας, η οποία είναι πολύ χρήσιμη στην ανάλυση των αποτελεσμάτων, καθώς δείχνει ποια είναι η πιθανότητα η τιμή της μεταβλητής να είναι μεγαλύτερη (ή μικρότερη) από μια συγκεκριμένη τιμή. Από τις κατανομές που λαμβάνονται για τα αποτελέσματα μπορούμε να εξάγουμε τις ακόλουθες πληροφορίες:

- Ποιο είναι το εύρος των τελικών μεταβολών των εκπομπών CO₂ με βάση τις κατανομές των αβέβαιων μεταβλητών.
- Αν υπάρχει μια περιοχή συσσώρευσης τιμών έτσι ώστε να υποδεικνύεται η πιο πιθανή περιοχή στην οποία θα βρίσκεται η μεταβολή των εκπομπών.
- Προσδιορίζεται, από την αθροιστική συνάρτηση κατανομής, η πιθανότητα η μεταβολή των εκπομπών να βρίσκεται κάτω ή πάνω από μια συγκεκριμένη τιμή.

4.3.5 Συγκριτική θεώρηση των μεθοδολογιών αποδόμησης

Στο πλαίσιο της συγκριτικής θεώρησης των μεθοδολογιών αποδόμησης, παρουσιάζονται καταρχήν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της Refined Laspeyres (RL) μεθοδολογίας στις ετήσιες μεταβολές των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα για την περίοδο 1990-2005 και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα από την εφαρμογή της LMDI I. Επιπροσθέτως, αξιολογούνται οι περιοδικές αναλύσεις των δύο μεθοδολογιών για την ίδια περίοδο 1990-2005, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με τα αντίστοιχα των ετήσιων αναλύσεων, με στόχο να διαπιστωθεί η δυνατότητα αξιοποίησής τους στην ανάλυση των προβλέψεων. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των LMDI I και Refined Laspeyres μεθοδολογιών αποδόμησης των εκπομπών CO₂ για την περίοδο των προβλέψεων 2005-2020, ενώ παράλληλα αναδεικνύονται οι περιορισμοί που τίθενται κατά την ανάλυση αποδόμησης μεταβολών σε μεγάλες χρονικές περιόδους, με παρουσία πολλών εξαρτημένων προσδιοριστικών παραγόντων.

5. Εφαρμογή μεθοδολογίας και αποτελέσματα

5.1 *Ανάλυση Προσδιοριστικών Παραγόντων των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα την περίοδο 1990-2005*

5.1.1 Παράμετροι του υπολογιστικού μοντέλου

Με βάση τη μεθοδολογική προσέγγιση που παρουσιάστηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, σχεδιάστηκε το μοντέλο για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα συνδυάζοντας παραμέτρους που αφορούν στην εξέλιξη των τεχνολογικών χαρακτηριστικών του αυτοκινήτου σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της αγοράς και τη συμπεριφορά των οδηγών-αγοραστών. Το υπολογιστικό μοντέλο καθορίζεται από την ακόλουθη γενική συνάρτηση:

$$C = P \cdot Os \cdot \sum_i (D_i \cdot F_i \cdot f_i \cdot (\sum_j (S_{ij} \cdot \sum_k (T_{ijk} \cdot e_{ijk}))))$$

Όπου C οι εκπομπές CO₂, P ο πληθυσμός, Os η κατά κεφαλή κατοχή, D η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση, F το μερίδιο των οχημάτων με βάση το καύσιμο, f ο συντελεστής εκπομπών CO₂, S το μερίδιο των οχημάτων με βάση το μέγεθος του κινητήρα, T το μερίδιο των οχημάτων με βάση την τεχνολογία του κινητήρα, e η ενεργειακή ένταση εκφρασμένη ως ειδική κατανάλωση του αυτοκινήτου. Οι δείκτες i, j, k αντιστοιχούν στο είδος καυσίμου, το μέγεθος του κινητήρα και την τεχνολογία του κινητήρα. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά δεδομένα, όπως προκύπτουν από την επεξεργασία των αναλυτικών στατιστικών στοιχείων που αντιστοιχούν στο σύνολο των παραμέτρων του υπολογιστικού μοντέλου, για τα έτη 1990, 1995, 2000 και 2005. Τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν στο πλήθος των συνολικών και ανά κατηγορία οχημάτων και τις ειδικές καταναλώσεις ανά κατηγορία, καθώς και οι σχετικές πηγές των δεδομένων παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

Πίνακας 5.1. Συνοπτική εξέλιξη συγκεντρωτικών παραμέτρων υπολογιστικού μοντέλου για την περίοδο 1990-2005

Παράμετρος	Μονάδα	Σύμβολο	1990	1995	2000	2005
Πληθυσμός	10 ⁶ κάτ.	P	10.12	10.60	10.90	11.08
κ.κ. κατοχή	ανά 1000κάτ	Os	172	209	292	391
Μερίδιο βενζ/των	%	F(g)	98.05	98.17	98.70	98.88
Μερίδιο πετρ/των	%	F(d)	1.77	1.74	1.24	1.06
Μερίδιο LPG	%	F(lpg)	0.17	0.10	0.06	0.05
Μερίδιο AFV	%	F(afv)	0.00	0.00	0.00	0.01
Μερίδιο μικρών	%	S(s)	85	78	74	66
Μερίδιο μεσαίων/μεγάλων	%	S(m,b)	15	22	26	34
Μερίδιο προ Euro	%	T(<1995)	100	93	62	34
Μερίδιο Euro I-III	%	T(95-05)	0	7	38	66
Μέση ετήσια απόσταση	km	D(fleet)	14802	14042	13044	12306
- βενζ/των	km	D(g,afv)	13490	12829	12200	11602
-πετρ/των	km	D(d,lpg)	80940	78937	76983	75078
Μέση ειδική κατανάλωση	l/100km	E(fleet)	8.1	7.8	7.6	7.5

P: Eurostat (2010).

Os, F, S, T: με βάση το πλήθος οχημάτων ανά κατηγορία (ταξινόμηση COPERT IV): ACEA (2010), ΥΠΕΚΑ (National Inventory Report, 2007), ΣΕΑΑ.

D: Paravantis and Georgakellos (2007), Zachariadis and Samaras (2001), ΥΠΕΚΑ (National Inventory Report, 2007).

E: σταθμισμένη μέση ειδική κατανάλωση με βάση τις ειδικές καταναλώσεις του COPERT IV ανά όχημα καυσίμου i, κυβισμού j και τεχνολογίας k, προσαυξημένες κατά 15% για το συνυπολογισμό των πραγματικών (on-road) συνθηκών οδήγησης.

Όσον αφορά στα στοιχεία για τη μέση ετήσια απόσταση, D, που διανύει ένα αυτοκίνητο στην Ελλάδα, είναι εξαιρετικά ελλιπή, ενώ οι ελάχιστες σχετικές πηγές (ΥΠΕΚΑ, 2007; Paravantis and Georgakellos, 2007; Yannis et al., 2007; Zachariadis and Samaras, 2001) δεν αρκούν για τη διαμόρφωση αξιόπιστης χρονοσειράς ή ακριβούς ρυθμού μεταβολής. Σύμφωνα με τις επίσημες πηγές στις οποίες αναφέρονται οι Zachariadis and Samaras (2001), η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση

μειώθηκε κατά 2% μέσα στην πενταετία 1990-1995. Πρωτική τάση της συγκεκριμένης παραμέτρου, της τάξης του 0.5% έως και 1.5% για την περίοδο 1990-2005, προκύπτει και από τα στοιχεία της Εθνικής απογραφής αερίων του θερμοκηπίου (ΥΠΕΚΑ, 2007), τόσο για τα βενζινοκίνητα όσο και για τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα. Τα τελευταία, μάλιστα, φέρονται να καλύπτουν 6 φορές περισσότερα χιλιόμετρα σε σύγκριση με τα βενζινοκίνητα, λόγω της επαγγελματικής ιδιότητας που έχει η συντριπτική πλειοψηφία των πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Επιπλέον, τα συνοπτικά στοιχεία που περιλαμβάνονται σε σχετική έκθεση του Odyssee Indicators (2007) δείχνουν μέσο ρυθμό μείωσης στη μέση απόσταση του αυτοκινήτου στην Ελλάδα κατά 0.4% την περίοδο 1990-1995 και κατά 0.8% την περίοδο 1999-2005.

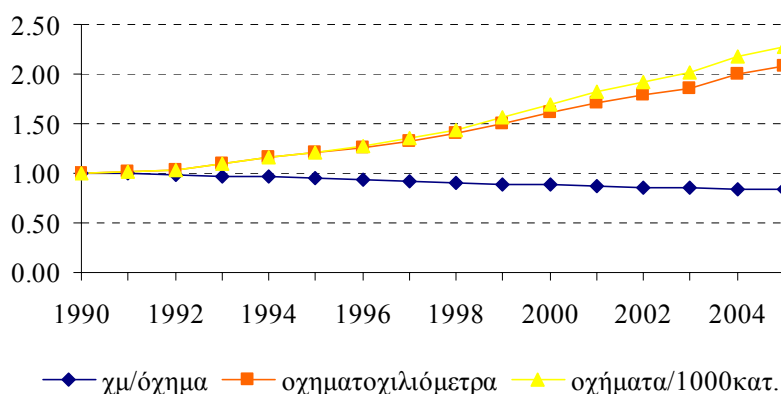
Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία των σχετικών βιβλιογραφικών πηγών για τις διανυόμενες αποστάσεις, διαμορφώθηκαν τα μεγέθη και οι τάσεις της μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης όπως αυτά εμφανίζονται στον Πίνακα 5.1. Τα μεγέθη για το έτος 1990 βασίζονται σε σχετικές αναφορές που περιλαμβάνονται στα άρθρα των Paravantis and Georgakellos (2007) και Zachariadis and Samaras (2001), ενώ ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής παραμένει σταθερός σε όλη την εξεταζόμενη περίοδο.

Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται αναλυτικά η εκτιμώμενη εξέλιξη της μέσης διανυθείσας απόστασης, D , και των συνολικών ετήσιων οχηματοχιλιομέτρων, vkm , του στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων, τα οποία υπολογίζονται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$vkm = D \cdot V$$

Παρόλο που η τάση της μέσης διανυθείσας απόστασης εκτιμάται ελαφρώς πτωτική, με ετήσια μείωση ύψους 1%, τα συνολικά ετήσια οχηματοχιλιόμετρα παρουσιάζουν μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 5% φτάνοντας τα 53 bio km το 2005, ενώ μεγαλύτερος, ύψους 5.6%, είναι ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων για την ίδια περίοδο. Πρέπει να τονίσουμε σε αυτό το σημείο ότι η εκτιμώμενη πτώση της μέσης διανυθείσας απόστασης σχετίζεται άμεσα με την εντυπωσιακή αύξηση της κατά κεφαλή κατοχής, η οποία δεν αντιστοιχεί απαραίτητα και σε ανάλογη αύξηση των μετακινήσεων, ή, αλλιώς, της ανάγκης για μετακίνηση.

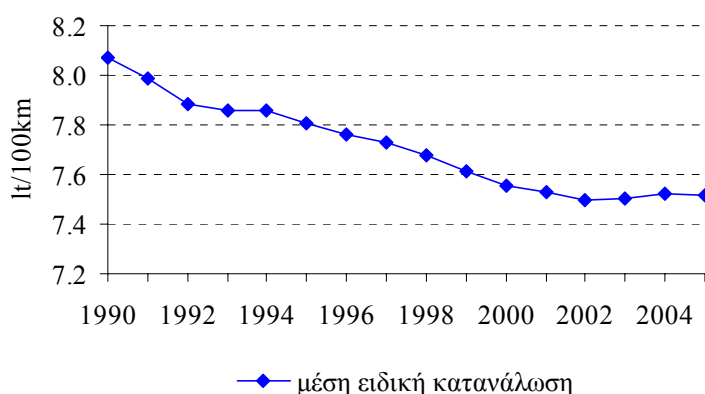
Επιπλέον, όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 3.3 (Σχήμα 3.9), ο ρυθμός αύξησης της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων ξεπερνάει κατά πολύ τον αντίστοιχο του κατά κεφαλή εισοδήματος την περίοδο 1990-2005, γεγονός που συνδέεται εκτός των άλλων και με την κοινωνική ανάδειξη του αυτοκινήτου σε σύμβολο ευμάρειας και πολυτέλειας. Η ιδιοκτησία, άλλωστε, περισσότερων του ενός αυτοκινήτου αυξήθηκε πολύ, ενώ ταυτόχρονα μειώθηκε ο αριθμός επιβατών ανά αυτοκίνητο.



Σχήμα 5.1. Εξέλιξη (%) μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης, συνολικών οχηματοχιλιομέτρων και κατά κεφαλή κατοχής

Η μέση σταθμισμένη ειδική κατανάλωση, $E(\text{fleet})$, που αφορά στο σύνολο του στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων, προκύπτει από την εφαρμογή της συνάρτησης 4.5, αντιστοιχίζοντας στις ειδικές καταναλώσεις, e_{ijk} , κάθε υποκατηγορίας οχημάτων τα προκαθορισμένα μεγέθη που προτείνονται στη βάση δεδομένων του μοντέλου εκτίμησης εκπομπών ρύπων από τις μεταφορές COPERT (Ntziachristos and Samaras, 2000) (Πίνακας 3.2), προσαυξημένα κατά 15% έτσι ώστε να συνεκτιμώνται οι επιβαρυντικές ('on-road') συνθήκες οδήγησης και η κατανάλωση των πρόσθετων ηλεκτρικών εξαρτημάτων (Κεφάλαιο 2.3.1). Στο Σχήμα 5.2 παρουσιάζεται αναλυτικά για όλη τη χρονοσειρά η μέση σταθμισμένη ειδική κατανάλωση του στόλου των επιβατικών αυτοκινήτων. Όπως έχουμε διευκρινίσει και στο Κεφάλαιο 3.3.4, η πτωτική πορεία οφείλεται καταρχήν στην ανανέωση των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων με νέα, βελτιωμένης τεχνολογίας και μειωμένης κατανάλωσης οχήματα, καθώς και στην περιορισμένη, αν και εμφανή, αύξηση του μεριδίου των μεσαίου και μεγάλου κυβισμού οχημάτων. Παρατηρούμε ότι η πτώση είναι ιδιαίτερα οξεία στην αρχή της περιόδου, γεγονός που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα κίνητρα που

δόθηκαν από την πολιτεία, με πολύ θετική ανταπόκριση, για απόσυρση των παλαιάς τεχνολογίας οχημάτων. Η πτωτική πορεία συνεχίζεται με πιο αργό ρυθμό, οδηγώντας σε σχετική σταθεροποίηση του μεγέθους την τελευταία πενταετία, η οποία συνδέεται με την καθυστέρηση ανανέωσης των μικρού κυβισμού οχημάτων, την αισθητή πλέον αύξηση του μεριδίου των μεσαίου κυβισμού οχημάτων και την εξαίρεση ορισμένων νέο-εισερχόμενων τεχνολογικών προδιαγραφών από τον κανόνα της βελτιωμένης απόδοσης, σύμφωνα με τα στοιχεία της βάσης δεδομένων COPERT IV.



Σχήμα 5.2. Μέση σταθμισμένη ειδική κατανάλωση (on-road) στόλου επιβατικών αυτοκινήτων

Ο Πίνακας 5.2 παρουσιάζει ανά πενταετία τη μέση ειδική κατανάλωση όπως προκύπτει για διάφορες κατηγορίες οχημάτων, με βάση το καύσιμο και τον κυβισμό. Σε όλα τα σύνολα βενζινοκίνητων παρατηρείται πτώση της παραμέτρου, ενώ στα πετρελαιοκίνητα η ενεργειακή ένταση αυξάνεται λόγω της σύνθεσης των οχημάτων μεγάλου κυβισμού, εκ των οποίων τα οχήματα με Euro τεχνολογικές προδιαγραφές χαρακτηρίζονται από αυξημένη ειδική κατανάλωση σε σχέση με τα συμβατικά.

Όσον αφορά στα ειδικά χαρακτηριστικά και τους συντελεστές εκπομπών CO₂ κάθε καυσίμου, παραμένουν σταθερά σε όλη την εξεταζόμενη περίοδο. Ο Πίνακας 5.3 παρουσιάζει τα ειδικά χαρακτηριστικά των καυσίμων (Ryan et al, 2009; Timmermans et. al, 2006), από τα οποία προκύπτει ότι το πετρέλαιο, σε σχέση με τη βενζίνη, εκλύει αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα CO₂ ανά καταναλισκόμενη ποσότητα καυσίμου, αντισταθμίζοντας έτσι μέρος από το πλεονέκτημα της μειωμένης ενεργειακής έντασης.

Πίνακας 5.2. Πραγματική (on-road) μέση σταθμισμένη ειδική κατανάλωση κατηγοριών αυτοκινήτων με βάση το καύσιμο και τον κυβισμό

l / 100 km	1990	1995	2000	2005
Στόλος	8.1	7.8	7.6	7.5
Βενζινοκίνητα	8.1	7.8	7.6	7.5
<i>Βενζ/τα <1.4 l</i>	7.9	7.6	7.2	7.0
<i>Βενζ/τα 1.4-2.0 l</i>	9.0	8.6	8.3	8.3
<i>Βενζ/τα >2.0 l</i>	10.6	10.3	10.5	10.3
Πετρελαιοκίνητα	6.9	6.8	7.3	7.7
<i>Πετρ/τα < 2.0</i>	6.9	6.7	6.6	6.6
<i>Πετρ/τα > 2.0</i>	6.9	7.0	8.0	8.4

Σταθμισμένες μέσες ειδικές καταναλώσεις με βάση τις ειδικές καταναλώσεις του COPERT IV ανά όχημα καυσίμου i, κυβισμού j και τεχνολογίας k, προσαυξημένες κατά 15% για το συνυπολογισμό των πραγματικών (on-road) συνθηκών οδήγησης.

Πίνακας 5.3. Χαρακτηριστικά καυσίμων

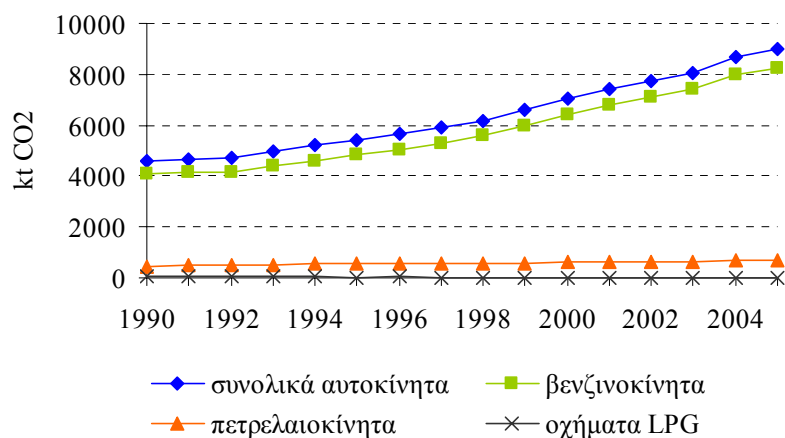
Καύσιμο	NCV	Πυκνότητα	Συντελεστής εκπομπής
	kJ / kg	g/l	kg CO ₂ /l
Βενζίνη	42715	755	2.21
Πετρέλαιο	43274	850	2.70
LPG	45114	550	1.55

Ryan et al., 2009; Timmermans et. al, 2006.

5.1.2 Εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα την περίοδο 1990-2005

Οι ετήσιες εκπομπές CO₂ υπολογίζονται από το υπολογιστικό μοντέλο για το σύνολο των επιβατικών αυτοκινήτων και τις επιμέρους κατηγορίες. Τα αποτελέσματα για τις εκπομπές από τις κατηγορίες ανά καύσιμο, καθώς και τις συνολικές ετήσιες εκπομπές CO₂ παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.3. Οι συνολικές εκπομπές CO₂ εκτιμάται ότι αυξήθηκαν κατά 95% την περίοδο 1990-2005, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 4.6%.

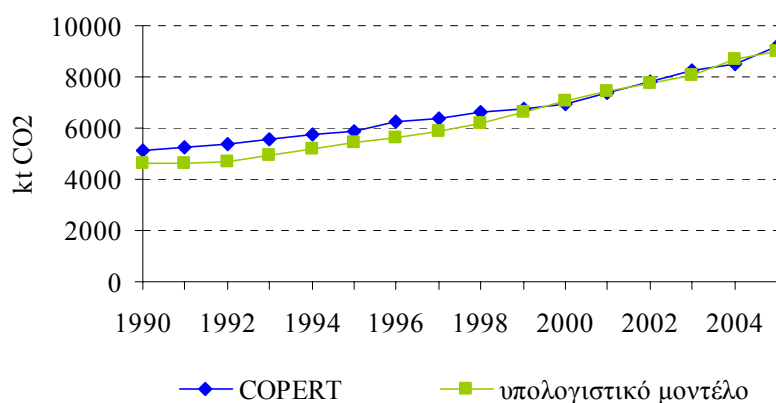
Τη συντριπτική ευθύνη φέρουν τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, των οποίων οι εκπομπές αυξήθηκαν κατά 101%, ενώ όσον αφορά στα πετρελαιοκίνητα οι εκπομπές αυξήθηκαν κατά 56%. Οι δε εκπομπές από τα οχήματα με υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG) είναι ουσιαστικά αμελητέες.



Σχήμα 5.3. Εκπομπές CO₂ από το σύνολο των επιβατικών αυτοκινήτων και τις επιμέρους κατηγορίες ανά καύσιμο

Η αξιολόγηση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων του υπολογιστικού μοντέλου όσον αφορά στις εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα δυσχεραίνεται από την έλλειψη σχετικών εκτιμήσεων στις μελέτες που αφορούν στην ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τις μεταφορές. Το βασικότερο πρόβλημα είναι η αδυναμία να επιμεριστεί η συνολική ενεργειακή κατανάλωση από τις οδικές μεταφορές, όπως αυτή εμφανίζεται στις εθνικές και διεθνείς βάσεις δεδομένων, στις κατηγορίες των εμπορευματικών και επιβατικών μεταφορών (Κεφάλαιο 2.3.1). Μία σοβαρή προσπάθεια αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού αποτυπώνεται στο μοντέλο εκτίμησης εκπομπών ρύπων από τις μεταφορές COPERT (Ntziachristos and Samaras, 2000), στο οποίο οι εκπομπές ανά μέσο μεταφοράς υπολογίζονται επιμερίζοντας την τελική ενεργειακή κατανάλωση που καταγράφεται στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο βάσει εκτιμήσεων όσον αφορά στα διανυθέντα χιλιόμετρα. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο προσαρμόζει κατάλληλα τις εκτιμώμενες διανυθείσες αποστάσεις ανά κατηγορία οχημάτων, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι διαφορές μεταξύ της υπολογιζόμενης ενεργειακής κατανάλωσης και των επίσημων αντίστοιχων εκτιμήσεων του εθνικού ενεργειακού ισοζυγίου. Το μοντέλο χρησιμοποιείται ευρέως

από τα κράτη-μέλη της ΕΕ για τις εθνικές απογραφές αερίων εκπομπών από τις οδικές μεταφορές, καθώς και για μελλοντικές προβλέψεις. Αντίστοιχα, στο πλαίσιο της απογραφής αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου για την Ελλάδα (ΥΠΕΚΑ, 2007) εκτιμήθηκαν οι εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα με τη χρήση του μοντέλου COPERT (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΕΑ), 2007), ενώ τα αποτελέσματα του αποκλίνουν ελάχιστα από αυτά του παρόντος υπολογιστικού μοντέλου (Σχήμα 5.4).



Πηγή: ΕΕΑ, 2007 (στο πλαίσιο της Ετήσιας Έκθεσης Απογραφής αερίων εκπομπών του θερμοκηπίου)

Σχήμα 5.4. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων υπολογιστικού μοντέλου - σύγκριση με COPERT

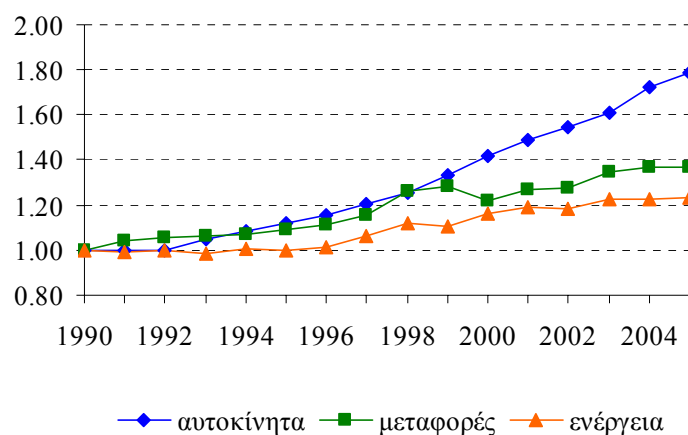
Λεπτομερής διερεύνηση των προσδιοριστικών παραγόντων των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα στην Ελλάδα πραγματοποιείται, επίσης, από τους Paravantis and Georgakellos (2007), εξετάζοντας οικονομικές παραμέτρους, όπως ο πληθωρισμός, η ανεργία και το κατά κεφαλή ΑΕΠ, σε συνδυασμό με εκτιμήσεις για το πλήθος επιβατών ανά όχημα, το ποσοστό ενηλίκων στο συνολικό πληθυσμό και το κόστος απόκτησης αυτοκινήτου. Οι εκτιμήσεις των τελικών εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα βασίζονται σε ένα πολυπαραγοντικό οικονομετρικό μοντέλο, ενώ τα αποτελέσματα είναι αρκετά υψηλότερα από τα αντίστοιχα του παρόντος υπολογιστικού μοντέλου, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 30% έως 35% περίπου για την περίοδο 1990-2005. Πολύ χαμηλότερα βρίσκονται οι εκτιμήσεις του εργαλείου αποτίμησης πολιτικών που αφορούν στις μεταφορές στην ΕΕ, TREMOVE (Κεφάλαιο 2.3.2), το οποίο υπολογίζει τις εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα στην Ελλάδα

περίπου 10% περισσότερες σε σχέση με τα αποτελέσματα του παρόντος μοντέλου. Τέλος, οι προβλέψεις δύο Ευρωπαϊκών εκθέσεων με αντικείμενο μελέτης τις οδικές μεταφορές (EEA, 2002) και τα αυτοκίνητα (JRC, 2003), καταλήγουν σε πολύ διαφορετικά μεταξύ τους αποτελέσματα όσον αφορά στις εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα στην Ελλάδα, ενώ σε σύγκριση με τις εκτιμήσεις του παρόντος υπολογιστικού μοντέλου για το 2005, βρίσκονται της μεν πρώτης στο ίδιο ακριβώς επίπεδο, της δε δεύτερης εμφανίζονται αυξημένες κατά 40%. Είναι, επομένως, μεγάλο το εύρος των σχετικών εκτιμήσεων, καθώς οι προσδιοριστικοί παράγοντες χαρακτηρίζονται από μεγάλη αβεβαιότητα, ενώ ελάχιστοι είναι αυτοί που βασίζονται σε ακριβείς μετρήσεις, όπως για παράδειγμα το πλήθος των νέων εγγεγραμμένων αυτοκινήτων σε ετήσια βάση. Σε κάθε περίπτωση, η παρούσα εργασία εστιάζει στη μεθοδολογική προσέγγιση και την διερεύνηση της τάσης των εξεταζόμενων παραμέτρων και των εκπομπών CO₂, και όχι στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων που αφορούν στις συνολικές εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα.

Οι εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα, σύμφωνα με τις τελικές εκτιμήσεις του υπολογιστικού μοντέλου, αντιπροσώπευαν περίπου το 40% των συνολικών εκπομπών από τις οδικές μεταφορές το 1990 (Eurostat 2010, ΥΠΕΚΑ 2010), ποσοστό που αυξήθηκε στο 50% το 2005. Η εκτίμηση αυτή προσδίδει ιδιαίτερη βαρύτητα στην ολοένα και αναπτυσσόμενη κατηγορία των ιδιωτικής χρήσης αυτοκινήτων. Σε αντίθεση με την Ελλάδα, άλλες Ευρωπαϊκές χώρες έχουν μειώσει το μερίδιο των αυτοκινήτων στις εκπομπές CO₂ από τις οδικές μεταφορές, όπως η περίπτωση της Μ. Βρετανίας, όπου σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία (The Society of Motor Manufacturers and Traders, 2009) η σχετική συνεισφορά των αυτοκινήτων μειώθηκε από 62% το 1997 σε 58% το 2005. Σύμφωνα με την ίδια πηγή, το μερίδιο των αυτοκινήτων στις συνολικές εκπομπές CO₂ από ανθρωπογενείς δραστηριότητες στη Μ.Βρετανία κυμαίνεται από 11% έως 13%, ενώ η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Περιβάλλοντος (EEA, 2008) εκτιμάει στο ίδιο ύψος τη μέση συνεισφορά των αυτοκινήτων στις συνολικές εκπομπές CO₂ στις Ευρωπαϊκές χώρες της ΕΕ. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με το παρόν υπολογιστικό μοντέλο, το μερίδιο των συνολικών εκπομπών CO₂ που αντιστοιχεί στα επιβατικά αυτοκίνητα ανέβηκε από 6% το 1990 σε 8% το 2005, ποσοστό που έχει περιθώριο να αυξηθεί δεδομένου ότι η κατά κεφαλή κατοχή των αυτοκινήτων βρίσκεται ακόμα σε χαμηλά επίπεδα, και

συγκεκριμένα 11% κάτω από το μέσο όρο της ΕΕ15 και 5% κάτω από το μέσο όρο της ΕΕ27.

Οι κατά κεφαλή εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα στην Ελλάδα φέρονται να έχουν αυξηθεί κατά 78% από το 1990, φτάνοντας τα 813 kg/κάτοικο το 2005, ενώ, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.5, εξελίσσονται πολύ ταχύτερα σε σύγκριση με τους αντίστοιχους δείκτες για τις συνολικές μεταφορές και το συνολικό ενεργειακό τομέα. Με δεδομένο τον περιορισμό που τίθεται στο Πρωτόκολλο του Κιότο, για συγκρατημένη αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα κατά 25% την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με το έτος βάσης 1990, αντιλαμβάνεται κανείς εύκολα ότι οι μεταφορές, και ειδικότερα τα επιβατικά αυτοκίνητα, όχι μόνο δυσχεραίνουν την επίτευξη του στόχου της χώρας, αλλά αυξάνουν επιπλέον το βάρος που καλούνται να επωμιστούν οι υπόλοιποι τομείς.



Σχήμα 5.5. Εξέλιξη (%) κατά κεφαλή εκπομπών CO₂ από το συνολικό τομέα της ενέργειας, τις μεταφορές και τα αυτοκίνητα

5.1.3 Ανάλυση αποδόμησης εκπομπών CO₂ την περίοδο 1990-2005

Η ανάλυση αποδόμησης των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα στο παρόν Κεφάλαιο πραγματοποιείται με τη μεθοδολογία Log-Mean Divisia Index I (LMDI I), σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο πλαίσιο της μεθοδολογικής προσέγγισης (Κεφάλαιο 4.1.2), ενώ η εφαρμογή της εναλλακτικής μεθοδολογίας αποδόμησης Refined Laspeyres (RL) αναπτύσσεται στο πλαίσιο της συγκριτικής θεώρησης των δύο μεθοδολογιών (Κεφάλαιο 6). Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της προσθετικής LMDI I

μεθοδολογίας αποδόμησης εμφανίζονται αναλυτικά στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4. Ανάλυση αποδόμησης εκπομπών CO₂ με εφαρμογή της LMDI I

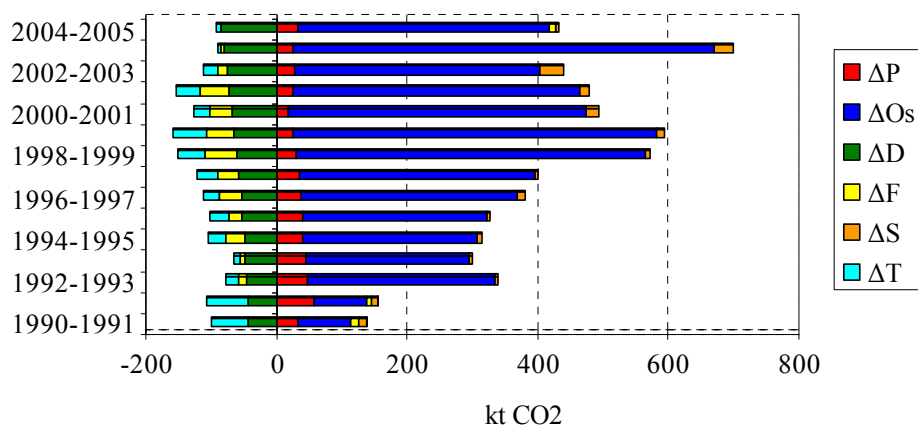
	Μεταβολή εκπομπών CO ₂ (kt)	Ανάλυση Αποδόμησης μεταβολών CO ₂ (kt CO ₂)					
		ΔP	ΔOs	ΔD	ΔF	ΔS	ΔT
1990 - 91	40	33	82	-44	12	12	-55
1991 - 92	49	58	80	-44	8	10	-62
1992 - 93	263	47	287	-46	-12	5	-19
1993 - 94	236	44	250	-48	-7	7	-10
1994 - 95	209	41	268	-49	-28	6	-29
1995 - 96	225	41	282	-52	-21	5	-30
1996 - 97	270	38	332	-54	-34	12	-24
1997 - 98	280	35	361	-57	-31	4	-32
1998 - 99	419	31	534	-61	-49	6	-42
1999 - 00	435	26	555	-65	-41	12	-52
2000 - 01	367	18	456	-67	-34	20	-24
2001 - 02	327	26	438	-72	-45	16	-35
2002 - 03	327	27	375	-75	-13	37	-23
2003 - 04	611	26	644	-80	-4	31	-5
2004 - 05	340	34	385	-85	10	3	-6

ΔP: μεταβολή πληθυσμού, ΔOs: μεταβολή κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων, ΔD: μεταβολή μέσης διανυθείσας απόστασης, ΔF: μεταβολή μίγματος καυσίμων (αναλογίας οχημάτων με διαφορετικό καύσιμο), ΔS: μεταβολή μεγέθους (αναλογίας οχημάτων με διαφορετικό κυβισμό), ΔT: μεταβολή τεχνολογίας (αναλογίας οχημάτων με διαφορετικές τεχνολογικές προδιαγραφές κινητήρα).

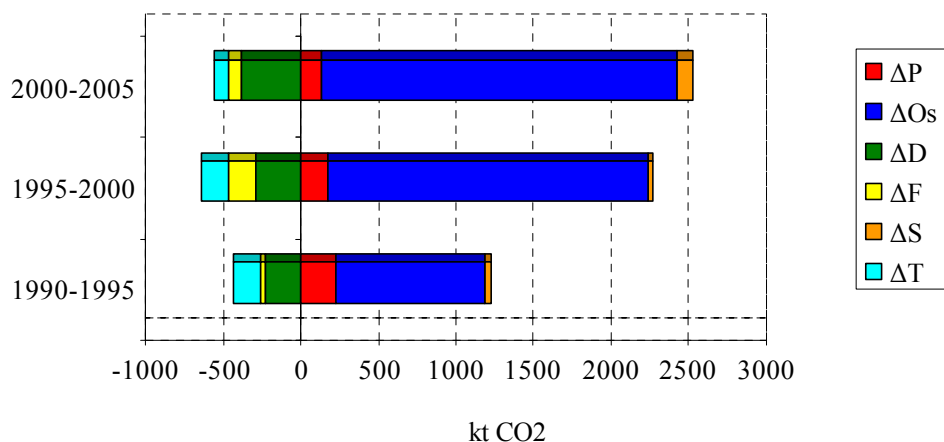
Οι ετήσιες μεταβολές των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα αποδομούνται σε επιμέρους μεταβολές, κάθε μία από τις οποίες σχετίζεται με έναν από τους προσδιοριστικούς παράγοντες. Η μεθοδολογία LMDI I δεν αφήνει υπόλειμμα ανεξήγητο, συνεπώς το άθροισμα των μεταβολών που επιφέρουν οι προσδιοριστικοί

παράγοντες ισούται με τη συνολική μεταβολή των τελικών εκπομπών CO₂.

Προκειμένου να διευκολυνθεί η κατανόηση των αποτελεσμάτων, τα Σχήματα 5.6 και 5.7 παρουσιάζουν διαγραμματικά τις αναλύσεις αποδόμησης ανά έτος και για τρεις πενταετείς περιόδους μεταξύ των ετών 1990 και 2005 αντίστοιχα, με τις περιοδικές μεταβολές να υπολογίζονται αθροίζοντας απλώς τις ετήσιες μεταβολές.



Σχήμα 5.6. Ανάλυση αποδόμησης ετήσιων μεταβολών CO₂



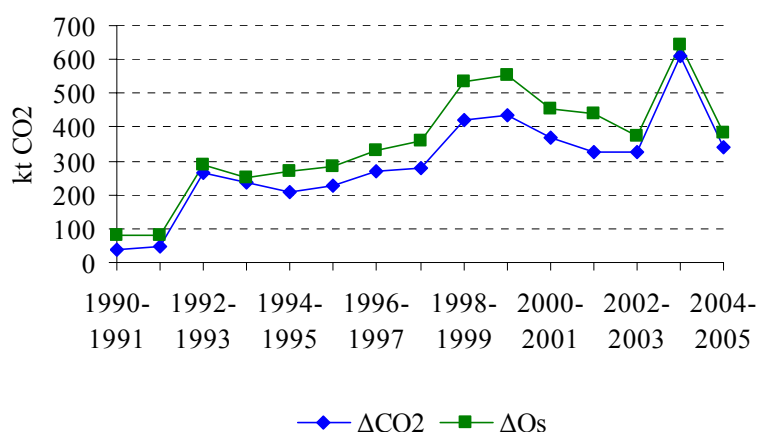
Σχήμα 5.7. Ανάλυση αποδόμησης μεταβολών CO₂ ανά πενταετία

Τα διαγράμματα έχουν τέτοια μορφή ώστε να γίνεται εμφανής και η σχετική συνεισφορά των προσδιοριστικών παραγόντων στη συνολική μεταβολή των εκπομπών CO₂. Με θετικό πρόσημο αποτυπώνονται οι μεταβολές εκείνες που λειτουργούν επιβαρυντικά, ευθύνονται δηλαδή για την ανοδική τάση των εκπομπών CO₂, ενώ με αρνητικό πρόσημο οι μεταβολές που λειτουργούν ανασταλτικά,

περιορίζουν δηλαδή τις εκπομπές.

Ένα πρώτο στοιχείο που παρατηρούμε είναι η αυξητική τάση της μεταβολής των συνολικών εκπομπών, η οποία την πρώτη πενταετία ανήλθε σε 796 kt CO₂, τη δεύτερη σε 1628 kt CO₂ και την τρίτη σε 1973 kt CO₂. Ταυτόχρονα όμως, τα παραπάνω μεγέθη δείχνουν έναν περιορισμό της ανοδικής τάσης, όσον αφορά στις πενταετείς μεταβολές, εφόσον η αύξηση της μεταβολής πέφτει από 105% μεταξύ των 2 πρώτων περιόδων, σε 21% μεταξύ της δεύτερης και τρίτης περιόδου.

Καθοριστικός παράγοντας της ανοδικής τάσης των μεταβολών είναι σαφώς η αξιοσημείωτη αύξηση της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων (Os). Συγκεκριμένα, η επίδραση του παράγοντα ΔOs αυξάνεται με το χρόνο, ενώ η σχετική συνεισφορά του βρίσκεται σταθερά γύρω στο 120%. Αυτό σημαίνει ότι μόνος του ο παράγοντας ΔOs ευθύνεται κατά 120% για τη μεταβολή των συνολικών εκπομπών μιας περιόδου, ή, αλλιώς, ότι αν δεν υπήρχαν άλλες επιδράσεις, η αύξηση των εκπομπών CO₂ θα ήταν κατά 20% μεγαλύτερη. Η σημαντικότητα του εν λόγω παράγοντα, ΔOs, είναι εμφανής και από το Σχήμα 5.8, το οποίο δείχνει τη στενή σχέση της εξέλιξης του με αυτήν των συνολικών ετήσιων μεταβολών CO₂, ΔCO₂.



Σχήμα 5.8. Ετήσιες μεταβολές συνολικών εκπομπών CO₂ και εκπομπών που οφείλονται στην επίδραση της κατά κεφαλή κατοχής

Θετική επίδραση, ως προς την αύξηση των εκπομπών CO₂, έχουν επίσης ο πληθυσμός και το μέγεθος του κινητήρα. Η συνεισφορά της επίδρασης του πληθυσμού, ΔP, είναι σχετικά χαμηλή και βαίνει πτωτική με ελάχιστες ανακάμψεις, ακολουθώντας το ρυθμό μεταβολής του πληθυσμού της χώρας. Την πρώτη

πενταετία, συγκεκριμένα, η σχετική συνεισφορά του ΔΡ ήταν 28%, ενώ μειώθηκε σε 11% και 8% τη δεύτερη και τρίτη περίοδο αντίστοιχα.

Σε ό,τι αφορά το μέγεθος του κινητήρα, το ποσοστό των αυτοκινήτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού αυξάνεται σταδιακά, επηρεάζοντας ανάλογα την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές CO₂. Η επίδραση του μεγέθους, ΔS, βέβαια, βρίσκεται σταθερά σε χαμηλά επίπεδα, ενώ η σχετική συνεισφορά αυτού δεν ξεπερνάει το 5% στις πενταετείς περιόδους. Από την άλλη, οι ετήσιες διακυμάνσεις είναι εντονότερες, ενώ στο σύνολο της 15ετίας η επίδραση του ΔS εμφανίζει ανοδική τάση τόσο σε απόλυτα νούμερα όσο και σε σχετική συμμετοχή στις ετήσιες μεταβολές εκπομπών. Επιπροσθέτως, δεδομένου ότι συνολικά το ποσοστό των μικρού κυβισμού αυτοκινήτων υπερτερεί των μεγαλύτερου μεγέθους, υπάρχει ακόμα μεγάλο περιθώριο μελλοντικής αύξησης της επίδρασης του συγκεκριμένου παράγοντα.

Μεταξύ των παραγόντων που έχουν αρνητική επίδραση στη μεταβολή των εκπομπών CO₂ -δρουν δηλαδή ανασταλτικά- τη μεγαλύτερη βαρύτητα έχει η επίδραση της μέσης διανυθείσας απόστασης, ΔD, της οποίας η σχετική συνεισφορά κυμαίνεται από -20% έως -30%. Αποδεικνύεται, συνεπώς, ότι η μείωση της μέσης ετήσιας απόστασης, με μέσο ετήσιο ρυθμό ύψους μόλις 1.2%, παίζει καθοριστικό ρόλο στον περιορισμό της ανοδικής τάσης των εκπομπών και αντισταθμίζει σε ένα βαθμό την επιβάρυνση που προκαλεί η αύξηση της κατά κεφαλή κατοχής. Επιπλέον, υποδηλώνει, έστω και σε περιορισμένο βαθμό, μία επιθυμητή μεταβολή στο πρότυπο διαβίωσης, όπου η κατοχή αυτοκινήτου δεν σημαίνει την εντατική χρήση του για το σύνολο των μετακινήσεων. Η συνεισφορά του ΔD είναι αναμενόμενη λόγω της παραδοχής για σταθερή ετήσια μείωση της μέσης διανυθείσας απόστασης, σύμφωνα με τις προαναφερθείσες εκτιμήσεις και τις σχετικές βιβλιογραφικές πηγές (Κεφάλαιο 5.1.1).

Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, μέσω της διείσδυσης οχημάτων νέων τεχνολογικών προδιαγραφών, αποτυπώνεται εμφανώς στα αποτελέσματα της ανάλυσης αποδόμησης. Η επίδραση της τεχνολογίας, ΔT, είναι αρνητική σε όλη την εξεταζόμενη περίοδο, συμβάλλοντας στη συγκράτηση των εκπομπών. Η σπουδαιότερη συνεισφορά του παράγοντα ΔT συναντάται στην πρώτη πενταετία, κατά τη διάρκεια της οποίας πραγματοποιήθηκε σημαντική ανανέωση του στόλου, με

αντικατάσταση των παλαιάς τεχνολογίας βενζινοκινητήρων με τύπου ECE, πολύ χαμηλότερης κατανάλωσης. Προς την κατεύθυνση αυτή οδήγησαν τα οικονομικά κίνητρα στο πλαίσιο του μέτρου της απόσυρσης που εφάρμοσε η πολιτεία στις αρχές της δεκαετίας του '90. Η σχετική συνεισφορά του ΔT την περίοδο αυτή υπολογίζεται σε -22%, το οποίο σημαίνει ότι η αύξηση των εκπομπών CO_2 από το 1990 στο 1995 θα ήταν κατά 22% μεγαλύτερη χωρίς τη συμβολή της τεχνολογίας. Το ΔT εξακολουθεί να έχει την ίδια ένταση την περίοδο 1995-2000, εφόσον εισέρχονται στην αγορά οι Euro κινητήρες σε βενζινοκίνητα και πετρελαιοκίνητα οχήματα, ενώ αισθητή είναι η εξασθένιση της συνεισφοράς του από το 2000 κι έπειτα, με αποτέλεσμα σχεδόν να εξουδετερώνεται τα τελευταία έτη. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην καθυστέρηση της ανανέωσης του στόλου, καθώς και στις εξελίξεις στις Euro I-III τεχνολογικές προδιαγραφές, οι οποίες δεν συνεπάγονται σε όλες τις κατηγορίες οχημάτων μείωση της ειδικής κατανάλωσης σε σχέση με την αντίστοιχη του εκάστοτε προγενέστερου τύπου κινητήρα, σύμφωνα με τα δεδομένα που εμφανίζει το COPERT IV.

Η επίδραση του μίγματος καυσίμων λειτουργεί επίσης ανασταλτικά στην αύξηση των συνολικών εκπομπών CO_2 , σχεδόν στο σύνολο της εξεταζόμενης περιόδου. Αιτία είναι η μείωση του μεριδίου των πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων στην Ελλάδα λειτουργούν ως ταξί, με αποτέλεσμα να καλύπτουν πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις σε σύγκριση με τα βενζινοκίνητα. Οι διανυόμενες αποστάσεις των πετρελαιοκίνητων σε συνδυασμό με τη μέση ένταση εκπομπών, η οποία υπολογισμένη σε CO_2 ανά μονάδα απόστασης είναι κατά 5%-25% υψηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των βενζινοκίνητων μέσα στην περίοδο 1990-2005, αντισταθμίζουν τελικά τα οφέλη της μέσης ειδικής κατανάλωσης, η οποία είναι χαμηλότερη στα πετρελαιοκίνητα στο μεγαλύτερο μέρος της περιόδου. Ενδεικτικά, εάν τα ταξί ήταν βενζινοκίνητα, οι συνολικές εκπομπές CO_2 από τα αυτοκίνητα θα ήταν ελαφρώς αυξημένες, σε ποσοστό από 1% έως 5% ετησίως, μέσα στην εξεταζόμενη περίοδο. Η σχετική συνεισφορά του ΔF μεγιστοποιείται τη δεύτερη πενταετία, φτάνοντας το -11%, ενώ καταλήγει να αλλάζει πρόσημο με την αύξηση του μεριδίου των πετρελαιοκίνητων την περίοδο 2004-2005.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποδόμησης με την LMDI I μεθοδολογία, θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο παράγοντας με τη μεγαλύτερη επιρροή

στην εξέλιξη των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα είναι σαφώς η ραγδαία αύξηση της ιδιοκτησίας οχημάτων. Η σχετική συνεισφορά των υπόλοιπων προσδιοριστικών παραγόντων είναι αρκετά μικρότερη, με τη μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση να παίζει το σημαντικότερο αντισταθμιστικό ρόλο, περιορίζοντας σε ένα βαθμό το ρυθμό αύξησης των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων του στόλου και τις συνεπαγόμενες εκπομπές. Η στροφή σε ισχυρότερα αυτοκίνητα έχει μία χαμηλού επιπέδου, αλλά σταθερή, επιβαρυντική συνεισφορά, ενώ στην αντίθετη κατεύθυνση κινούνται το μίγμα καυσίμων και η τεχνολογία. Το μίγμα καυσίμων εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της έντασης εκπομπών των βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων οχημάτων, καθώς μέχρι το 2005 δεν έχουν διεισδύσει ακόμα στην αγορά οχήματα εναλλακτικών και καθαρότερων καυσίμων. Όσον αφορά, τέλος, στην τεχνολογία, το μέγιστο της προσφοράς της περιορίστηκε στις δύο πρώτες πενταετίες, με αποτέλεσμα να απαιτείται πλέον σημαντική βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των νέων κινητήρων σε συνδυασμό με ταχύτερη ανανέωση του στόλου, προκειμένου να μεγιστοποιηθούν και πάλι τα οφέλη.

Τα ευρήματα της ανάλυσης αποδόμησης αναδεικνύουν την ανάγκη συστηματικής προσπάθειας για ένα βιώσιμο σύστημα οδικών μεταφορών, συνδυάζοντας τις κατάλληλες πολιτικές με την τεχνολογική υποστήριξη. Προς την ίδια κατεύθυνση, άλλωστε, οδηγούν και οι φιλόδοξοι στόχοι που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο του πακέτου δράσεων για την ενέργεια και το κλίμα. Στην Ελλάδα, ένα από τα σημαντικότερα θέματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν από την πολιτεία είναι η αυξανόμενη εξάρτηση από το αυτοκίνητο. Η βελτίωση και προώθηση των μέσων μαζικής μεταφοράς, καθώς και των εναλλακτικών τρόπων μετακίνησης όπως το ποδήλατο, είναι σίγουρα από τα πιο ουσιαστικά μέτρα που μπορούν να συνεισφέρουν στην επίτευξη του στόχου αυτού. Το αυτοκίνητο θα πρέπει να καλύπτει ανάγκες οι οποίες δεν είναι δυνατό να καλυφθούν από δημόσια μέσα μεταφοράς ή άλλους οικολογικούς τρόπους μετακίνησης. Παράλληλα, πολιτικές φορολόγησης της μετακίνησης, της ιδιοκτησίας και της ενεργειακής κατανάλωσης έχουν τη δυνατότητα να πιέσουν προς ορθολογικότερη χρήση και επιλογή χαμηλότερης κατανάλωσης αυτοκινήτων. Σε κάθε περίπτωση, είναι αναγκαία η εφαρμογή ολοκληρωμένης πολιτικής με ισορροπημένο επιμερισμό της ευθύνης για τον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων από τα αυτοκίνητα.

5.2 Πρόβλεψη εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα για το 2020-Σενάριο Χωρίς Δράσεις

5.2.1 Πρόβλεψη των παραμέτρων του υπολογιστικού μοντέλου

Κατά κεφαλή κατοχή αυτοκινήτων

Λαμβάνοντας υπόψη τη ραγδαία αύξηση της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων στην Ελλάδα και τις προβλέψεις όλων των σχετικών βιβλιογραφικών πηγών, η προεκβολή της παραμέτρου το 2020 βασίστηκε στα παρακάτω:

- Εφαρμόστηκαν οι ρυθμοί αύξησης της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων που προβλέπει η έκθεση του Joint Research Centre report (JRC, 2003) και οι οποίοι βαίνουν πτωτικοί, ανακόπτοντας έτσι την ανεξέλεγκτη ταχύτητα του αντίστοιχου ρυθμού για την περίοδο 1990-2007, ο οποίος ήταν 3.5 φορές υψηλότερος από το μέσο όρο της ΕΕ15. Ενδεικτικά, η κατά κεφαλή κατοχή στην Ελλάδα το 1990 ήταν περίπου 55% κάτω από τον αντίστοιχο μέσο όρο της ΕΕ15, ενώ το 2007, έτος για το οποίο υπάρχουν τα πιο πρόσφατα επίσημα στοιχεία, μόνο 14% (ACEA, 2010).
- Αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των ανωτέρω ρυθμών μεταβολής σε σύγκριση με τις προβλέψεις σχετικών μελετών. Συγκεκριμένα, η πρόβλεψη της κατά κεφαλή κατοχής για το 2010 συμπίπτει με τις αντίστοιχες των Paravantis and Georgakellos (2007) και JRC (2003), ενώ είναι ελαφρά χαμηλότερη σε σύγκριση με τις προβλέψεις των ACEA (2010) και Kassapis (2008), κατά 8% και 5% αντιστοίχως. Οι εκτιμήσεις για τα έτη 2015 και 2020 συμπίπτουν με αυτές του JRC (2003), ενώ είναι ελαφρά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του Kassapis (2008).
- Αξιολογήθηκε περαιτέρω η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων βάσει της παρατήρησης της εξέλιξης του κατά κεφαλή δείκτη για την πληθυσμιακή ομάδα των ενηλίκων ως ενεργεία ή δυνάμει οδηγών. Στόχος είναι να εξετάσουμε την τάση κορεσμού του συγκεκριμένου δείκτη. Η πρόβλεψη του πλήθους των ενηλίκων βασίστηκε σε βιβλιογραφικές πηγές (Eurostat, 2008, Paravantis and Georgakellos, 2007). Συγκεκριμένα, με βάση την κατά κεφαλή κατοχή, η οποία προβλέπεται να φτάσει τα 576 αυτοκίνητα ανά 1000

κατοίκους το 2020, και την υπόθεση ότι το ποσοστό του συνολικού πληθυσμού που αντιστοιχεί σε ενήλικες θα παραμείνει στο 64%, η κατά κεφαλή κατοχή ανά 1000 ενήλικες προβλέπεται να αυξηθεί στα 900 αυτοκίνητα το 2020, από 680 που υπολογίζεται ότι ήταν το 2007.

Πλήθος αυτοκινήτων ανά κατηγορία

Η εκτίμηση του συνολικού πλήθους των αυτοκινήτων πραγματοποιήθηκε βάσει των προβλέψεων της κατά κεφαλή κατοχής των αυτοκινήτων και του πληθυσμού (Eurostat, 2008). Το σύνολο των αυτοκινήτων διαχωρίστηκε περαιτέρω στις επιμέρους κατηγορίες, με βάση το καύσιμο, το μέγεθος και τις τεχνολογικές προδιαγραφές του κινητήρα, υπολογίζοντας την εξέλιξη των μεριδίων των αντίστοιχων κατηγοριών. Η πρόβλεψη των μεριδίων αυτών βασίστηκε στα παρακάτω:

- Λήφθηκαν υπόψη οι τάσεις της περιόδου 1990-2005 για τα μερίδια των αυτοκινήτων ανά καύσιμο και μέγεθος.
- Όσον αφορά στα μερίδια αυτοκινήτων ανά καύσιμο, μέγεθος και τεχνολογία, λήφθηκαν υπόψη οι τάσεις της περιόδου 1990-2005, ο μέσος κύκλος ζωής των οχημάτων στην Ελλάδα, καθώς και οι εκτιμώμενες ημερομηνίες εισόδου, στην αγορά, των νέων κινητήρων Euro IV-VI προδιαγραφών.
- Δεδομένου ότι τα υβριδικά βενζινοκίνητα αυτοκίνητα διείσδυσαν πρόσφατα στην αγορά, με αποτέλεσμα να μην υφίσταται ιστορικό της σχετικής τάσης, η πρόβλεψη βασίστηκε στην υπόθεση ότι το ποσοστό τους στις νέες ετήσιες εγγραφές θα φτάσει το 10% μέχρι το 2020, πλησιάζοντας έτσι τα αντίστοιχα τρέχοντα επίπεδα της πρωτοπόρας Ιαπωνικής αγοράς υβριδικών. Τα μερίδια των υβριδικών ανά κυβισμό, ελλείπει σχετικών πληροφοριών, ακολουθούν τα αντίστοιχα των συμβατικών βενζινοκινήτων.

Μέση διανυθείσα απόσταση

Η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση εκτιμάται ότι θα συνεχίσει να μειώνεται, ακολουθώντας, όμως, μικρότερο μέσο ετήσιο ρυθμό μείωσης. Η πτωτική τάση της παραμέτρου συνδέεται με την έντονη ανοδική τάση της κατά κεφαλή κατοχής και

έχει εκτενώς σχολιαστεί στο πλαίσιο της ανάλυσης αποδόμησης των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα για την περίοδο 1990-2005 (Κεφάλαιο 5.1.1). Τα αποτελέσματα στη συνέχεια αξιολογούνται βάσει της εξέλιξης των συνεπαγόμενων συνολικών οχηματοχιλιομέτρων, τα οποία συνεχίζουν να αυξάνονται, επίσης πιο συγκρατημένα. Συγκεκριμένα, ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης των οχηματοχιλιομέτρων εκτιμάται σε 2.3% για την περίοδο 2005-2020, ποσοστό το οποίο είναι συγκρίσιμο με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις σχετικών εκθέσεων της ΕΕ (EEA, 2002, JRC, 2003).

Ενεργειακή ένταση

Οι ειδικές καταναλώσεις με βάση το καύσιμο, το μέγεθος και την τεχνολογία του κινητήρα παραμένουν σταθερές στο ΣΧΔ, σε όλη την περίοδο μέχρι το 2020. Πρέπει να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με τη βάση του COPERT IV, οι ειδικές καταναλώσεις που αφορούν στους νέους Euro IV-VI βενζινοκινητήρες είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες των προγενέστερων Euro I-III. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την αύξηση των μεριδίων των μεγάλου κυβισμού οχημάτων, έχει ως αποτέλεσμα αύξηση της μέσης σταθμισμένης ενεργειακής έντασης του στόλου των αυτοκινήτων κατά 7% το 2020 σε σχέση με το 2005, φτάνοντας τα 8.0 lt/100km. Πραγματοποιείται συνεπώς, στο πλαίσιο του ΣΧΔ, μία μεταστροφή της τάσης της μέσης σταθμισμένης ενεργειακής έντασης, η οποία παρέμενε πτωτική μέχρι το 2005. Εκτιμάται ότι μέχρι το 2020 μόνο ένα 15% των βενζινοκινήτων θα έχει κινητήρα τεχνολογικών προδιαγραφών Euro I-III, ενώ το συνολικό μερίδιο των οχημάτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού θα έχει ανέβει στο 53% από 34% που υπολογίζεται για το 2005. Στην περίπτωση που το μερίδιο αυτό παρέμενε σταθερό στα επίπεδα του 2005, η μέση σταθμισμένη ενεργειακή ένταση του στόλου εκτιμάται ότι θα αυξανόταν πιο συγκρατημένα, κατά 2.5% μέχρι το 2020, φτάνοντας τα 7.7 lt/100km.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στην ανάλυση της μεθοδολογικής προσέγγισης, στο ΣΧΔ δεν έχουν συνυπολογιστεί οι τεχνολογικές βελτιώσεις που έχουν ήδη δρομολογηθεί από τις αυτοκινητοβιομηχανίες με σκοπό να μειωθούν οι ειδικές καταναλώσεις των νέων παραγόμενων οχημάτων. Εξίσου προγραμματισμένη θεωρείται και η εισαγωγή των βιοκαυσίμων στην ενεργειακή κατανάλωση των επιβατικών αυτοκινήτων. Τα οφέλη από τις παρεμβάσεις αυτές, αντιθέτως, πρόκειται να εκτιμηθούν στο πλαίσιο

των πολιτικών και μέτρων που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Ο Πίνακας 5.5 παρουσιάζει τις παρελθούσες και μελλοντικές τάσεις των εξεταζόμενων παραμέτρων με βάση το ΣΧΔ. Στο σύνολο των αυτοκινήτων με συμβατικά καύσιμα περιλαμβάνονται τα βενζινοκίνητα, τα πετρελαιοκίνητα και τα οχήματα με υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG). Στο σύνολο των αυτοκινήτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού περιλαμβάνονται τα βενζινοκίνητα, συμβατικά και υβριδικά, άνω των 1.4 λίτρων, τα πετρελαιοκίνητα και τα LPG οχήματα άνω των 2.0 λίτρων. Τέλος, στο σύνολο των αυτοκινήτων με τεχνολογία προ 2005 περιλαμβάνονται όλα τα οχήματα με κινητήρες προδιαγραφών το ανώτερο Euro III.

Πίνακας 5.5. Εξέλιξη συγκεντρωτικών παραμέτρων στο Σενάριο Χωρίς Δράσεις

Παράμετροι	Μονάδες	Σενάριο Χωρίς Δράσεις				Ρυθμός μεταβολής	
		2005	2010	2015	2020	1990-2005	2005-2020
κ.κ. κατοχή	Os / 1000κάτ	391	477	529	576	5.6%	2.6%
Πληθυσμός	P 10 ⁶ κάτ.	11.1	11.3	11.4	11.6	0.6%	0.3%
Πλήθος αυτ/των	V 1000ς	4,336	5,392	6,049	6,661	6.3%	2.9%
Μέση ετήσια απόσταση	D km/year	12,306	11,959	11,623	11,308	-1.2%	-0.6%
Συνολικά οχημ/μετρα	vkm 10 ⁹	53	64	70	75	5.0%	2.3%
Μέση ειδική κατανάλωση	E l/100km	7.5	7.7	7.9	8.0	-0.5%	0.4%
Μερίδιο αυτ/των με συμβατικά καύσιμα	F _c %	100.0	99.9	99.6	98.5	0.0%	-0.1%
Μερίδιο αυτ/των μεσαίων/μεγάλων	S _{m,b} %	33.7	40.1	46.4	53.2	5.5%	3.1%
Μερίδιο αυτ/των προ 2005 τεχνολογίας	T _{old} %	100.0	75.0	40.0	14.9	0.0%	-11.9%

Οι μέσοι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής για τις παραμέτρους που αφορούν στην κατά κεφαλή κατοχή, τον πληθυσμό, το συνολικό πλήθος των επιβατικών αυτοκινήτων και τη μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση ανά αυτοκίνητο, είναι εμφανώς ηπιότεροι στο

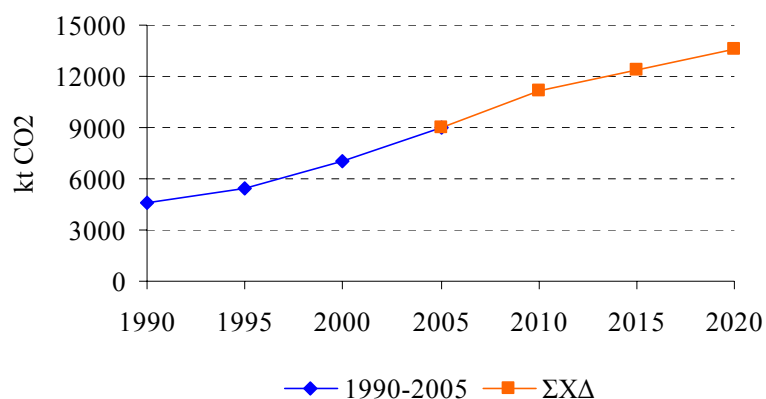
πλαίσιο του ΣΧΔ για την περίοδο 2005-2020 σε σύγκριση με την παρελθούσα περίοδο 1990-2005. Η μέση σταθμισμένη ειδική κατανάλωση του στόλου, σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν, ακολουθεί ανοδική πορεία με ετήσιο ρυθμό αύξησης ύψους 0.4%.

Τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων δεν αναμένεται να διεισδύσουν δυναμικά στην αγορά, ενώ, το 2020, εκτιμάται ότι θα αντιπροσωπεύουν μόλις το 1.5% εάν δεν υποστηριχθούν με συγκεκριμένες πολιτικές και μέτρα προώθησης. Υπολογίζεται, επίσης, αύξηση του ποσοστού των αυτοκινήτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού στο 53%, με αποτέλεσμα να υπερτερούν για πρώτη φορά των μικρού κυβισμού αυτοκινήτων. Τέλος, τα προβλεπόμενα ποσοστά των οχημάτων με κινητήρα προδιαγραφών παλαιότερων του 2005 δείχνουν μία σχετική υστέρηση στην ανανέωση του στόλου. Σύμφωνα, δηλαδή, με το ΣΧΔ, το 2015 το 40% των αυτοκινήτων εκτιμάται ότι θα έχει ηλικία μεγαλύτερη των 10 ετών, ενώ το 2020 το 15% των αυτοκινήτων θα είναι ηλικίας τουλάχιστον 15 ετών.

Θα πρέπει να επισημάνουμε σε αυτό το σημείο ότι ο σχεδιασμός των προβλέψεων προηγήθηκε της σοβαρής οικονομικής κρίσης που ξέσπασε στην Ελλάδα και της δημιουργίας των ειδικών συνθηκών που οδήγησαν σε απότομη πτώση της αγοράς και της χρήσης των αυτοκινήτων. Η ερμηνεία, άλλωστε, τόσο πρόσφατων και υπό εξέλιξη συνθηκών δεν αποτελεί ζητούμενο της παρούσας εργασίας, η οποία πραγματεύεται κυρίως τη μεθοδολογική προσέγγιση του θέματος.

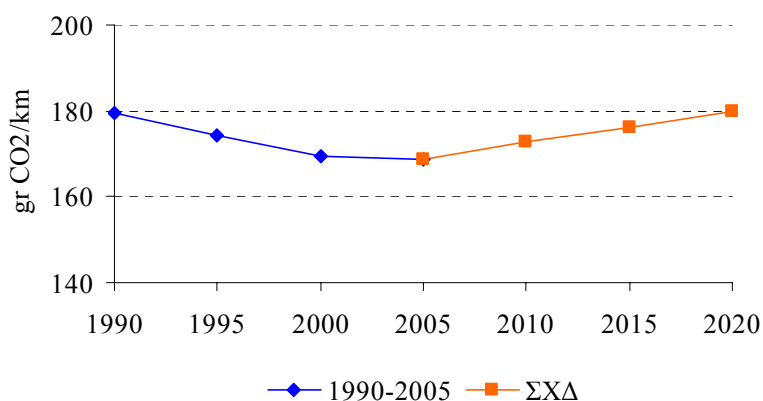
5.2.2 Εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα την περίοδο 2005-2020

Οι εκπομπές CO₂ προκύπτουν με την εισαγωγή όλων των προαναφερθέντων εκτιμήσεων για την εξέλιξη των παραμέτρων, στο υπολογιστικό μοντέλο. Σύμφωνα, επομένως, με το ΣΧΔ, οι εκπομπές CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα αυξάνονται κατά 50% σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, φτάνοντας τους 13,555 kt το 2020. Στο Σχήμα 5.9 είναι εμφανής η πτώση του ρυθμού με τον οποίο μεταβάλλονται οι εκπομπές την περίοδο 2005-2020. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης πέφτει από 4.6% για την περίοδο 1990-2005 σε 2.8% μεταξύ των ετών 2005 και 2020. Ο δε ρυθμός μεταβολής ανά πενταετία μειώνεται σταδιακά, ενώ την περίοδο 2015-2020 υπολογίζεται σε 1.8%.



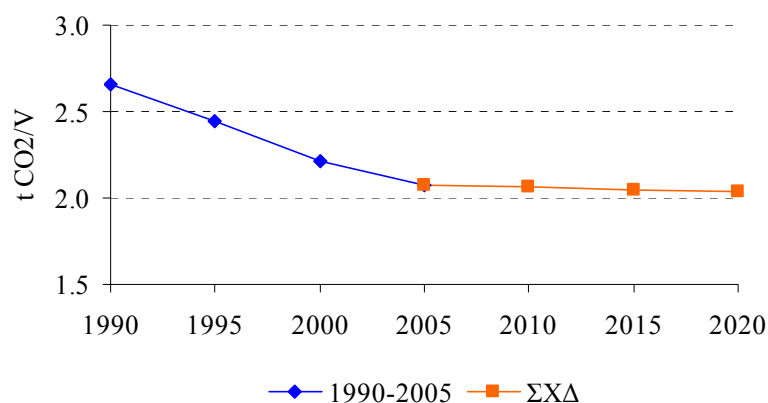
Σχήμα 5.9. Εκπομπές CO₂ στο πλαίσιο του ΣΧΔ

Παρατηρώντας, εντούτοις, στα Σχήματα 5.10-5.11 την εξέλιξη της μέσης έντασης εκπομπών CO₂ ανά μονάδα διανυθείσας απόστασης και ανά όχημα, αντιλαμβάνεται κανείς ότι υπάρχει μεγάλο περιθώριο περαιτέρω περιορισμού της ανοδικής τάσης των συνολικών εκπομπών από τα επιβατικά αυτοκίνητα.



Σχήμα 5.10. Εξέλιξη μέσης έντασης εκπομπών CO₂ ανά μονάδα διανυθείσας απόστασης

Η βελτίωση των τεχνολογικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με την ειδική κατανάλωση των αυτοκινήτων, η δυναμική διεύθυνση οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων χαμηλών και μηδενικών άμεσων εκπομπών, καθώς και η αφύπνιση των καταναλωτών προκειμένου να στραφούν συνειδητά σε χαμηλής κατανάλωσης αυτοκίνητα, μπορούν να συνδράμουν αποτελεσματικά στη μελλοντική μείωση των συγκεκριμένων δεικτών και, συνεπώς, των τελικών εκπομπών.



Σχήμα 5.11. Εξέλιξη μέσης έντασης εκπομπών CO₂ ανά αυτοκίνητο

Ο σχεδιασμός του ΣΧΔ, το οποίο αποτελεί και το σενάριο αναφοράς στο πλαίσιο της εξέτασης πολιτικών και μέτρων, είναι μία διαδικασία που εμπεριέχει πολλές υποθέσεις και, επομένως, χαρακτηρίζεται από μεγάλη αβεβαιότητα. Στην προκειμένη περίπτωση, το σενάριο αναφοράς οριοθετείται από τις ιστορικές τάσεις της αγοράς την 15ετία 1990-2005, καθώς επίσης και από την τάση κορεσμού καθοριστικών παραμέτρων, όπως η κατά κεφαλή κατοχή αυτοκινήτων. Αξιοποιούνται παράλληλα οι εκτιμήσεις σχετικών βιβλιογραφικών πηγών, προκειμένου να αυξηθεί η αξιοπιστία των προβλέψεων όσον αφορά σε παραμέτρους για τις οποίες δεν υφίστανται επαρκή στατιστικά δεδομένα, όπως η μέση διανυθείσα απόσταση. Η αξιολόγηση του ΣΧΔ με βάση τα αντίστοιχα αποτελέσματα σχετικών μελετών, οδηγεί, όπως και στην περίπτωση της ανάλυσης των εκπομπών CO₂ για την περίοδο 1990-2005, στη συλλογή αρκετά διαφορετικών εκτιμήσεων. Συγκεκριμένα, οι εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα στην Ελλάδα που υπολογίζει το μοντέλο στο πλαίσιο του ΣΧΔ για το 2020, είναι 11% ψηλότερα και κατά 8% χαμηλότερα σε σύγκριση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των Ευρωπαϊκών εκθέσεων της EEA (2002) και JRC (2003). Οι προβλέψεις των Paravantis and Georgakellos (2007) σταματάνε στο 2010, ενώ ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής των εκπομπών για την 5ετία 2005-2010 υπολογίζεται σε 3%, όσο δηλαδή και ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής που υπολογίζει το μοντέλο για τη 15ετία 2005-2020. Το μοντέλο TREMOVE, τέλος, συνυπολογίζει περιβαλλοντικές πολιτικές και εκτιμάει τον μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής για την 15ετία 2005-2020 σε -0.1%, καταλήγοντας σε υπερβολικά χαμηλές εκπομπές CO₂. Σε κάθε περίπτωση, θεωρούμε ότι η αβεβαιότητα που

χαρακτηρίζει τις τελικές εκτιμήσεις επηρεάζει σε ανάλογο βαθμό όλα τα εξεταζόμενα σενάρια, οπότε δεν επιδρά σημαντικά στην εκτίμηση του εύρους των εκπομπών CO₂ που αποφεύγονται, και που αποτελούν το αντικείμενο διερεύνησης στο πλαίσιο της ανάλυσης των σεναρίων με πολιτικές και μέτρα.

5.3 Αξιολόγηση πολιτικών και μέτρων

5.3.1 Πολιτικές και μέτρα

Στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής επισκόπησης έχουμε ήδη αναφερθεί σε σημαντικές μελέτες που αναγνωρίζουν την ανάγκη αξιολόγησης κατάλληλων πολιτικών και μέτρων για τον περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης, της ενεργειακής έντασης και της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα αυτοκίνητα. Οι συγγραφείς προσανατολίζονται ως επί το πλείστον σε φορολογικά σχήματα, επιδοτήσεις χαμηλής κατανάλωσης οχημάτων, πολιτικές προώθησης περιβαλλοντικά φιλικών μέσων μεταφοράς, εναλλακτικών καυσίμων, χαμηλού κυβισμού οχημάτων και οικολογικής οδήγησης, καθώς και στην αντιμετώπιση της αστικής συμφόρησης (Hickman and Banister, 2007; Chatterjee and Gordon, 2006; Kwon, 2005; Michaelis and Davidson, 1996).

Το βάρος των αυτοκινήτων αξιολογείται ως σημαντική προσδιοριστική παράμετρος της ενεργειακής κατανάλωσης, (Zervas and Lazarou, 2008), ενώ προτείνονται η συνδρομή των αυτοκινητοβιομηχανιών για την απαλλαγή των οχημάτων από πολυτελή και δευτερεύοντα εξαρτήματα, καθώς και φορολογικά σχήματα με στόχο την αύξηση του μεριδίου των μικρών αυτοκινήτων στο συνολικό στόλο. Εξετάζεται, επιπλέον, λεπτομερώς η επίδραση της διεύθυνσης νέων τεχνολογιών στη μέση ενεργειακή ένταση και τη μέση ένταση CO₂ στις χώρες της ΕΕ, στο παρόν και το μέλλον (JRC, 2003).

Το ζήτημα του περιορισμού των μετακινήσεων με συμβατικά αυτοκίνητα τίθεται στο επίκεντρο των σεναρίων για την πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης και των εκπομπών αερίων, ενώ οι πολιτικές που εξετάζονται σχετίζονται με οικονομικά μέτρα όπως η φορολόγηση των καυσίμων, τα διόδια και η χρηματοδότηση των δημόσιων μεταφορών, που θεωρούνται τα πιο αποτελεσματικά για την επίτευξη των στόχων της περιβαλλοντικής πολιτικής (Difiglio and Fulton, 2000; Bose, 1998). Η ανταπόκριση

των οδηγών στο κόστος της μετακίνησης αποτελεί επίσης διαδεδομένο θέμα μελέτης (Mandell, 2009; Grazi and van den Bergh, 2008; Fosgerau, 2004; Difiglio and Fulton, 2000; Kirby, 2000; Hayashi, 2001), προκειμένου να αξιολογηθεί η δυνατότητα των σχετικών φορολογικών μέτρων να επηρεάσουν τη χρήση του αυτοκινήτου.

Η αύξηση του μεριδίου των πετρελαιοκίνητων οχημάτων θεωρείται από πολλούς μελετητές, αλλά και από την αυτοκινητοβιομηχανία, ένα πολύ αποτελεσματικό μέτρο μείωσης της μέσης ενεργειακής έντασης του στόλου των αυτοκινήτων. Εντούτοις, η αυξημένη χρήση που έχει παρατηρηθεί για τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα, καθώς και ο ψηλός συντελεστής εκπομπών CO₂ του πετρελαίου, περιπλέκουν το θέμα. Οι Meyer and Wessely (2009) επισείουν την προσοχή στη αύξηση της μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης του αυστριακού στόλου επιβατικών αυτοκινήτων λόγω της αντίστοιχης αύξησης του μεριδίου των αποδοτικότερων, σε σύγκριση με τα βενζινοκίνητα, πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Παρατηρούν ότι τα οφέλη της αυξημένης αποδοτικότητας υπερκαλύφθηκαν από τον παράγοντα απόσταση, διαφωνούν με την ενίσχυση των καύσιμων πετρελαίου και προτείνουν την προώθηση των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην αποτελεσματικότητα του συνδυασμού μέτρων και πολιτικών στο χώρο των μετακινήσεων με επιβατικά αυτοκίνητα (Michaelis and Davidson, 1996), παραπέμποντας στην πιθανότητα αύξησης της χρήσης από μεμονωμένα μέτρα που απλώς δημιουργούν περισσότερο χώρο για μετακίνηση, όπως ο έλεγχος στάθμευσης. Ο Metz (2008), στο βιβλίο του 'The limits to travel', αναφέρει χαρακτηριστικά ότι ο ταξιδιώτης αντιλαμβάνεται τα οφέλη των νέων υποδομών για οδικές μεταφορές ως αύξησης της δυνατότητας πρόσβασης και όχι οικονομίας χρόνου. Προτείνει την εφαρμογή πολιτικών μείωσης της χρήσης και της ταχύτητας του αυτοκινήτου με κάθε τρόπο, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη τεχνολογιών μηδενικών εκπομπών CO₂.

Στην παρούσα εργασία εξετάζουμε τις κυριότερες παρεμβάσεις που προτείνει η τρέχουσα βιβλιογραφία για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου από τα αυτοκίνητα στην Ευρώπη. Οι εξεταζόμενες πολιτικές και μέτρα κατηγοριοποιούνται σε τρία 'πακέτα' (Π) ανάλογα με τον κύριο προσανατολισμό τους. Συγκεκριμένα, ο κεντρικός στόχος των τριών 'πακέτων' είναι η επίδραση στα ειδικά χαρακτηριστικά

του αυτοκινήτου και του στόλου, τη συμπεριφορά των οδηγών και το μίγμα καυσίμων. Ειδικά όσον αφορά στα μέτρα οικονομικής φύσης, αντιμετωπίζονται ως μέσο επίδρασης στο βαθμό προώθησης αυτών των μέτρων και δεν εξετάζονται ως πρωτογενής κατηγορία πολιτικών.

Π1 – Επίδραση στα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου

Τεχνολογικές παρεμβάσεις

Η εθελοντική συμφωνία μεταξύ της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και των αυτοκινητοβιομηχανιών της Ευρώπης, της Ιαπωνίας και της Κορέας, σχετικά με τη διείσδυση στην αγορά αυτοκινήτων με χαμηλές εκπομπές CO₂, αναμένεται να έχει πολύ θετικά αποτελέσματα στην ενεργειακή αποδοτικότητα μέσω της βελτίωσης, καταρχήν, των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών των οχημάτων. Η σχετική δέσμευση υπογράφηκε αρχικά το 1999, με στόχο τη μείωση των μέσων εκπομπών των νέων οχημάτων στα 140 gr CO₂/km έως το 2008. Η αδυναμία επίτευξης του συγκεκριμένου στόχου ενεργοποίησε το σχεδιασμό μίας πιο ολοκληρωμένης προσέγγισης του προβλήματος, περιορίζοντας την ευθύνη της αυτοκινητοβιομηχανίας στη μείωση των μέσων εκπομπών των νέων οχημάτων στα 130 gr CO₂/km έως το 2015. Επιπλέον, η ΕΕ ερευνά εναλλακτικά πρόσθετα μέτρα έτσι ώστε να μειωθούν περαιτέρω οι εκπομπές των νέων οχημάτων στα 120 gr CO₂/km έως το 2015 και στα 95 gr CO₂/km από το 2020 κι έπειτα.

Τρεις από τις προτεραιότητες που έθεσε η αυτοκινητοβιομηχανία για τη μείωση της ειδικής κατανάλωσης των νέων αυτοκινήτων είναι η *βελτίωση της αποδοτικότητας του κινητήρα*, η *μείωση του βάρους* και ο *αεροδυναμικός σχεδιασμός των οχημάτων*. Επιπλέον, μεταξύ των πρόσθετων μέτρων που σχεδιάζει η ΕΕ για την ενδυνάμωση της ενεργειακής αποδοτικότητας είναι και η *σήμανση της απόδοσης των ελαστικών* ως προς την ενεργειακή κατανάλωση. Έχει, άλλωστε, ήδη υιοθετηθεί από την Επιτροπή ο σχετικός κανονισμός για την προώθηση της σήμανσης (EC, 2009), με στόχο την πληροφόρηση και ευαισθητοποίηση του αγοραστικού κοινού. Οι αντιστάσεις της κύλισης και του αέρα θεωρούνται οι πλέον σημαντικές αντιστάσεις που πρέπει να ξεπεράσει το όχημα ενόσω κινείται, καθώς είναι συνεχώς παρούσες, ακόμα και στις πολύ χαμηλές ταχύτητες.

Ως κατάλληλο μέτρο για τη μείωση της αντίστασης του κινητήρα και, συνεπώς, της κατανάλωσης, θεωρείται επίσης η *προώθηση λιπαντικών χαμηλού ιξώδους* (TNO, 2006). Στην Ευρώπη, μέχρι σήμερα, έχει δοθεί έμφαση κυρίως στην αντοχή παρά στην αποδοτικότητα των λιπαντικών, λόγω των μεγάλων ταχυτήτων που αναπτύσσουν ως επί το πλείστον οι Ευρωπαίοι οδηγοί.

Απόσυρση παλαιών αυτοκινήτων

Αποτελεσματικό μέτρο, όσον αφορά στη μείωση της μέσης ειδικής κατανάλωσης του στόλου των αυτοκινήτων, έχει αποδειχθεί η *απόσυρση παλαιών Ι.Χ.* αυτοκινήτων, με την εφαρμογή οικονομικής φύσης κινήτρων για την παράλληλη αγορά νέου, χαμηλότερης κατανάλωσης, οχήματος. Στην Ελλάδα, το μέτρο εφαρμόστηκε στις αρχές του 90' με πολύ θετικά αποτελέσματα όσον αφορά στην τεχνολογική ανανέωση και τη μείωση της μέσης ενεργειακής έντασης του στόλου. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της αυτοκινητοβιομηχανίας (ACEA, 2010) και τη μελέτη αξιολόγησης των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων του μέτρου της απόσυρσης για λογαριασμό της ΕΕ, (Global Insight, 2010), 13 Ευρωπαϊκά κράτη-μέλη παρείχαν το 2009 οικονομικά κίνητρα για την ανανέωση του στόλου. Αν και ο κεντρικός στόχος υπήρξε η διέγερση της αγοράς αυτοκινήτων, τα περιβαλλοντικά οφέλη υπήρξαν αισθητά, τουλάχιστον σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα.

Π2 – Επίδραση στη συμπεριφορά των οδηγών

Οικολογική οδήγηση

Η ομαλή και ενεργειακά αποδοτική οδήγηση επιτυγχάνεται με τη λειτουργία της μηχανής σε ένα αποδοτικό εύρος ταχυτήτων, τη μείωση της πλεονάζουσας κινητικής ενέργειας, καθώς και τον περιορισμό της ενεργειακής ζήτησης που επιβαρύνεται, για παράδειγμα, από τη χρήση βοηθητικών ηλεκτρικών εξαρτημάτων και τις μεγάλες ταχύτητες. Η εκπαίδευση με σκοπό την *οικολογική οδήγηση* έχει εκτιμηθεί ότι μπορεί να συνεισφέρει εντυπωσιακά στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης. Σχετική έκθεση στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος για την Κλιματική Αλλαγή, ECCP (TNO, 2006), κατατάσσει την προώθηση της οικολογικής οδήγησης όχι μόνο στα πλέον χαμηλού κόστους μέτρα, αλλά και στα πιο αποτελεσματικά ως προς τη μείωση των εκπομπών από τα αυτοκίνητα. Στην ίδια κατεύθυνση κινείται επίσης το μέτρο της *μείωσης του ορίου ταχύτητας* στους αυτοκινητόδρομους ταχείας

κυκλοφορίας, το οποίο περιλαμβάνεται στα εξεταζόμενα μέτρα σχετικής μελέτης της ΕΕ για τη βελτίωση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των αυτοκινήτων (JRC, 2008).

Προγράμματα οικολογικής οδήγησης για τη βελτίωση του τρόπου οδήγησης έχουν ήδη εφαρμοστεί επιτυχώς στην Ολλανδία, ενώ στο Ρότερνταμ πραγματοποιήθηκε πιλοτική εφαρμογή μείωσης του ορίου ταχύτητας σε τμήμα του αυτοκινητόδρομου που διασχίζει την περιοχή Overischie, από τα 120 km/h στα 80 km/h, με αποτέλεσμα να μειωθούν οι εκπομπές CO₂ κατά 15%.

Φορολόγηση αγοράς και χρήσης των αυτοκινήτων

Τα φορολογικά συστήματα ανήκουν στις παρεμβάσεις που δύνανται να πετύχουν αξιόλογη μείωση της κατά κεφαλή κατοχής και της χρήσης των αυτοκινήτων. Σύμφωνα με τους Ryan and Ferreira (2009), το τέλος ταξινόμησης (registration tax) επηρεάζει περισσότερο το πλήθος των νέων εγγραφών, σε αντίθεση με το τέλος κυκλοφορίας (circulation tax), το οποίο επηρεάζει κυρίως την επιλογή του τύπου οχήματος ως προς την ενεργειακή αποδοτικότητα ή την ένταση εκπομπών CO₂. Στην Ελλάδα το τέλος ταξινόμησης μειώθηκε σημαντικά, σε μία προσπάθεια να τονωθεί η αγορά αυτοκινήτου που πλήττεται από την τρέχουσα οικονομική κρίση και να αυξηθούν τα έσοδα του κράτους από το φόρο προστιθέμενης αξίας. Όσον αφορά στη φορολόγηση των καυσίμων, εκτιμάται πως έχει ψηλότερη επίδραση τόσο στην κατοχή όσο και στη χρήση του αυτοκινήτου (Fosgerau, 2004). Το κόστος των καυσίμων στην Ελλάδα παρουσίασε ήδη μέσα στο 2010 μία ιδιαίτερα ανοδική πορεία, η οποία προκάλεσε άμεση πτώση της κατανάλωσης.

Περιβαλλοντικά τέλη κυκλοφορίας

Το τέλος κυκλοφορίας, όπως ήδη αναφέραμε, έχει αποδειχθεί πιο αποτελεσματικό στην προώθηση των ενεργειακά αποδοτικότερων αυτοκινήτων (Ryan and Ferreira, 2009). Οι Έλληνες οδηγοί πληρώνουν, από το 2009, ετήσιο τέλος κυκλοφορίας βάσει του κυβισμού και των τεχνολογικών προδιαγραφών του κινητήρα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή αυτοκινητοβιομηχανία (ACEA, 2010), ένας αυξανόμενος αριθμός κρατών-μελών της ΕΕ ακολουθούν σύστημα φορολόγησης των αυτοκινήτων βάσει των εκπομπών CO₂, ενώ σε πολλές περιπτώσεις παρέχουν παράλληλα κίνητρα για την επιλογή οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων. Δεδομένου ότι η Ευρωπαϊκή πολιτική για τις μεταφορές προωθεί την ομοιομορφία στη νομοθεσία για τις

οδικές μεταφορές, αναμένεται να υποστηριχθούν σημαντικά τα εναλλακτικά οχήματα και στην Ελλάδα στο κοντινό μέλλον.

Έργα υποδομής για τη στήριξη και ενίσχυση των δημόσιων μεταφορών

Έργα υποδομής όπως η δημιουργία χώρων στάθμευσης κοντά στους σταθμούς μέσω μαζικής μεταφοράς (MMM), οι λεωφοριόδρομοι, η αύξηση του δυναμικού των MMM, η αποτελεσματικότερη λειτουργία των σταθμών μετεπιβίβασης, καθώς και η μελετημένη οργάνωση των δημόσιων μεταφορών, είναι απαραίτητα προκειμένου να γίνουν οι δημόσιες μεταφορές ελκυστικές και να αποθαρρυνθεί η χρήση του αυτοκινήτου, τουλάχιστον μέσα στις πόλεις. Η κυκλοφοριακή κατάσταση, άλλωστε, στις μεγάλες πόλεις είναι πλέον ασφυκτική, ενώ στο κοντινό μέλλον αναμένεται σημαντικός κορεσμός των αστικών οδικών δικτύων και περαιτέρω μείωση της μέσης ταχύτητας κίνησης των οχημάτων. Το κυκλοφοριακό δυσκολεύει και την κίνηση των οδικών μέσων μαζικής μεταφοράς, ενώ ο ΟΑΣΑ έχει ήδη ξεκινήσει, από το καλοκαίρι του 2010, αναδιάρθρωση των λεωφορειακών γραμμών με στόχο τη διευκόλυνση μετεπιβίβασης σε μετρό και τρένο. Η βελτίωση της προσβασιμότητας των μέσων είναι αναγκαία για τη μείωση του χρόνου μετακίνησης με MMM και τη μετατροπή αυτών σε ελκυστικό εναλλακτικό μέσο αντί του αυτοκινήτου.

Αστικά διόδια

Ένα μέτρο που έχει ήδη δοκιμαστεί με μεγάλη επιτυχία αποτελούν τα *αστικά διόδια*. Η εφαρμογή του μέτρου στο Λονδίνο, που ξεκίνησε το 2003, κρίθηκε ιδιαίτερα αποδοτική (TfL, 2008), ενώ αναμένεται να ακολουθήσουν την ίδια τακτική πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις με σοβαρά κυκλοφοριακά προβλήματα. Η εφαρμογή, εντούτοις, ηλεκτρονικών διοδίων προϋποθέτει σοβαρή προετοιμασία, με βασικό σκέλος την ενδυνάμωση των δημόσιων μέσων μεταφοράς, ώστε να αποτελούν πραγματική εναλλακτική λύση μετακίνησης. Στο Λονδίνο, την έναρξη εφαρμογής του μέτρου συνόδευσε η κυκλοφορία 300 νέων λεωφορείων, προκειμένου να βελτιωθούν οι αστικές συγκοινωνίες, αλλά και ενημερωτική εκστρατεία για την προβολή των οφελών για το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων. Στην Ελληνική πρωτεύουσα εδώ και 30 περίπου χρόνια η κυκλοφορία ρυθμίζεται με το Δακτύλιο, ενώ ενισχύεται συνεχώς η άποψη ότι ο συγκεκριμένος θεσμός είναι πλέον ξεπερασμένος και δεν συνεισφέρει σε καμία περίπτωση στη μείωση της κυκλοφοριακής συμφόρησης. Εκτιμάται, αντιθέτως,

ότι προκάλεσε αύξηση της κατά κεφαλή ιδιοκτησίας αυτοκινήτων για την αντιμετώπιση του περιορισμού της κυκλοφορίας, η οποία καθορίζεται από την κατοχή 'μονής' ή 'ζυγής' πινακίδας κυκλοφορίας.

Π3 – Επίδραση στο μίγμα καυσίμων

Προώθηση βιοκαυσίμων

Στο πλαίσιο που έχουν καθορίσει οι δύο σημαντικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες 28/2009 και 30/2009 (EC, 2009) σχετικά με την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, τίθενται συγκεκριμένοι στόχοι συμπεριλαμβανομένης της *διείσδυσης των βιοκαυσίμων* στο ενεργειακό σύστημα. Οι Ευρωπαϊκές χώρες έχουν δεσμευθεί να καλύψουν, μέχρι το 2020, το 20% των συνολικών ενεργειακών αναγκών και το 10% της ενέργειας για μεταφορές από ανανεώσιμες πηγές. Στην Ελλάδα το πρώτο εμπορικά εκμεταλλεύσιμο βιοκαύσιμο είναι το βιοντίζελ, το οποίο αντιπροσωπεύει ακόμα αμελητέο μερίδιο των συνολικών καταναλισκόμενων καυσίμων.

Προώθηση πετρελαιοκίνησης

Τέλος, τίθεται υπό εξέταση η προοπτική της *άρσης περιορισμού της κυκλοφορίας πετρελαιοκίνητων* αυτοκινήτων στα αστικά κέντρα. Τα χαμηλότερα όρια αέριων ρύπων που υιοθετήθηκαν στις τελευταίες τεχνολογικές προδιαγραφές κινητήρων πετρελαίου, σε συνδυασμό με τις δυνατότητες αυξημένης χρήσης βιοντίζελ που προσφέρουν τα πετρελαιοκίνητα, εγείρουν σοβαρά επιχειρήματα κατά της απαγόρευσης που ισχύει μέχρι σήμερα. Στην περίπτωση αυτή είναι πιθανόν να αυξηθεί θεαματικά το ποσοστό των πετρελαιοκίνητων, δεδομένου ότι καταναλώνουν περίπου 20%-30% λιγότερο καύσιμο, σε μία ορισμένη απόσταση, σε σύγκριση με τα βενζινοκίνητα αντίστοιχου κυβισμού και τεχνολογικών προδιαγραφών.

5.3.2 Ποιοτική ανάλυση και βαθμός διείσδυσης πολιτικών και μέτρων

Όπως αναφέρθηκε στη μεθοδολογική προσέγγιση, η ποσοτικοποίηση του δυναμικού κάθε παρέμβασης απαιτεί τον καθορισμό του βαθμού διείσδυσης αυτού. Ο Πίνακας 5.6 παρουσιάζει συνοπτικά τα ειδικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν τον ελάχιστο και μέγιστο βαθμό στον οποίο εκτιμάται ότι επιδρά κάθε εξεταζόμενο μέτρο σε συγκεκριμένες παραμέτρους και το πεδίο εφαρμογής σε κάθε περίπτωση, καθώς και οι αντίστοιχες βιβλιογραφικές αναφορές στις οποίες στηρίχθηκαν οι σχετικές

εκτιμήσεις. Ακολουθεί η ανάλυση των εκτιμήσεων και η αιτιολόγηση των αναγκαίων παραδοχών.

Τεχνολογικές παρεμβάσεις

Τα μέτρα που αφορούν στη βελτίωση των ειδικών χαρακτηριστικών των αυτοκινήτων αναμένεται να μειώσουν την ειδική κατανάλωση στα νέα αυτοκίνητα που θα εισέλθουν στην αγορά. Ο καθορισμός του δυναμικού μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης από τις τεχνολογικές παρεμβάσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας βασίστηκε στην μελέτη των Fontaras and Samaras (2010), ενώ εκτιμάται ότι θα επηρεαστούν εξίσου όλα τα μετά-2005 οχήματα. Το δυναμικό μείωσης της κατανάλωσης καυσίμου που αντιστοιχεί στα μέτρα της σήμανσης των ελαστικών και της προώθησης των λιπαντικών χαμηλού ιξώδους αναλύονται λεπτομερώς στις μελέτες των Fontaras and Samaras (2010) και του TNO Science and Industry (2006), το οποίο συνέταξε, για λογαριασμό της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μία εκτενή ανάλυση και αξιολόγηση των παρεμβάσεων μετριασμού των αρνητικών επιπτώσεων από τα αυτοκίνητα. Όσον αφορά στο πεδίο εφαρμογής των δύο μέτρων, καθορίστηκε με βάση την εκτίμηση του ποσοστού των οδηγών που δύνανται να στραφούν προς ελαστικά και λιπαντικά βελτιωμένων επιδόσεων. Συγκεκριμένα, με βάση το πλήθος των αδειών οδήγησης που καταγράφονται ετησίως στην Ελλάδα, εκτιμάται ότι σε μία δεκαετία το 50% περίπου των οδηγών θα ανήκουν σε μία γενιά με οικολογικότερη συνείδηση.

Απόσυρση παλαιών οχημάτων

Το μέτρο της απόσυρσης συνδέεται ουσιαστικά με την ηλικία του στόλου. Με βάση τα στατιστικά στοιχεία για το πλήθος των αυτοκινήτων ανά τεχνολογική κατηγορία, υπολογίζεται ότι στην Ελλάδα ο μέσος κύκλος ζωής ενός αυτοκινήτου φτάνει τα 13 έτη, ενώ προβλέπεται να πέσει σε 11.5 έτη το 2020 σύμφωνα με το ΣΧΔ. Αυτό σημαίνει, σύμφωνα με τους υπολογισμούς μας, ότι το ποσοστό των αυτοκινήτων με ηλικία άνω των 10 ετών θα είναι περίπου 40% στο σύνολο του στόλου το 2020. Ο στόχος του μέτρου είναι προφανώς να μειωθεί το ποσοστό αυτό υπέρ της αύξησης του μεριδίου των αυτοκινήτων με νέες τεχνολογικές προδιαγραφές.

Πίνακας 5.6. Βαθμός διείσδυσης πολιτικών και μέτρων

Πολιτικές & Μέτρα	Επιπτώσεις/Δράσεις	Ελάχιστη επίδραση	Μέγιστη επίδραση	Πεδίο εφαρμογής	Βιβλιογραφικές αναφορές
<i>Π1-επίδραση στα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου</i>					
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Μείωση ειδικής κατανάλωσης	3%	5%	μετά-2005 οχήματα	Fontaras and Samaras (2010), JRC (2008)
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση ειδικής κατανάλωσης	0.6%	2.4%	μετά-2005 οχήματα	Fontaras and Samaras (2010), JRC (2008)
Μείωση βάρους	Μείωση ειδικής κατανάλωσης	1.3%	3.6%	μετά-2005 οχήματα	Fontaras and Samaras (2010), JRC (2008), Metz (2008)
Σήμανση ελαστικών	Μείωση ειδικής κατανάλωσης	1%	2.5%	50% στόλου	Fontaras and Samaras (2010), TNO (2006)
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	Μείωση ειδικής κατανάλωσης	1%	2.5%	50% στόλου	Fontaras and Samaras (2010), TNO (2006)
Απόσυρση	Μείωση μέσης ηλικίας στόλου	2.3%	5.5%	Βενζ/τα, πετρ/τα, LPG	Παραδοχές
<i>Π2-επίδραση στη συμπεριφορά των οδηγών</i>					
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ειδικής κατανάλωσης	2%	5%	50% στόλου	JRC (2008), TNO (2006)
Μείωση ορίου ταχύτητας	Μείωση ειδικής κατανάλωσης	5%	10%	Δρόμοι ταχείας κυκλοφορίας	JRC (2008)
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση φόρου	5%	10%	Νέες εγγραφές	παραδοχές
	Μείωση κατά κεφαλή κατοχής από 1% αύξηση φόρου		0.14%		Ryan (2009), TNO (2006)
Αύξηση κόστους καυσίμου	Αύξηση κόστους	5%	10%	Συνολικός στόλος	παραδοχές
	Μείωση κατά κεφαλή κατοχής & Μείωση χρήσης αυτοκινήτου από 1% αύξηση κόστους		0.33%		Ryan (2009), Fosgerau (2004)
	Μερίδιο Εναλλακτικών Οχημάτων στις συνολικές νέες εγγραφές το 2020	10%	40%		Ryan (2009), TNO (2006), JRC (2003) παραδοχές
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂					
Αστικά δίδια	Μείωση μέσης ετήσιας απόστασης στην πρωτεύουσα	10%	20%	30% στόλου	TfL (2008), παραδοχές

Πολιτικές & Μέτρα	Επιπτώσεις/Δράσεις	Ελάχιστη επίδραση	Μέγιστη επίδραση	Πεδίο εφαρμογής	Βιβλιογραφικές αναφορές
	Μερίδιο Εναλλακτικών Οχημάτων στις νέες εγγραφές στην πρωτεύουσα	10%	50%	30% στόλου	TfL (2008), παραδοχές
Έργα υποδομής	Μέσος ετήσιος ρυθμός μείωσης της μέσης διανυθείσας απόσταση (2010-2020)	1%	1.5%	Συνολικός στόλος	Παραδοχές
<i>Π3-επίδραση στο μίγμα καυσίμων</i>					
Προώθηση βιοκαυσίμων	Ποσοστό βιοκαυσίμων στη συνολική κατανάλωση	10%	20%	Βενζ/τα, πετρ/τα	Ευρωπαϊκές Οδηγίες 28/2009 και 30/2009
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	Μερίδιο πετρελαιοκίνητων στο σύνολο του στόλου	10%	30%		ACEA (2010) Παραδοχές
	Μερίδιο μικρού κυβισμού στα πρόσθετα πετρ/τα	50%	50%		Παραδοχές

Στο σενάριο ‘ελάχιστης επίδρασης’ (ΣΕΕ), το ποσοστό των αυτοκινήτων με ηλικία άνω των 10 ετών μειώνεται σε 37%, ακολουθώντας τον αντίστοιχο μέσο όρο του συνόλου των Μεσογειακών χωρών (ACEA, 2010), ενώ στο σενάριο ‘μέγιστης επίδρασης’ (ΣΜΕ) πέφτει ακόμα χαμηλότερα, στο 33%, στα επίπεδα δηλαδή του μέσου όρου της ΕΕ15.

Οικολογική οδήγηση

Η οικολογική οδήγηση, είτε μέσω της εκπαίδευσης είτε με τη μείωση των ορίων ταχύτητας, έχει άμεση θετική επίδραση στην ειδική κατανάλωση του οχήματος. Το δυναμικό του μέτρου της προώθησης της οικολογικής οδήγησης, ως προς τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, ποικίλει στη σχετική βιβλιογραφία (TNO, 2006, JRC, 2008), κυρίως διότι οι μελέτες δείχνουν ότι τείνει να μειώνεται σταδιακά από την περίοδο εκμάθησης κι έπειτα, χωρίς να είναι ξεκάθαρη η πτωτική του πορεία. Παρατηρείται, επίσης, διαφοροποίηση των σχετικών εκτιμήσεων στο πλαίσιο της σύγκρισης Ευρωπαϊκών κρατών, η οποία δικαιολογείται δεδομένου ότι ο τρόπος οδήγησης διαφέρει γεωγραφικά, με τους οδηγούς των νότιων χωρών να συμπεριφέρονται πιο επιθετικά, εις βάρος της εξοικονόμησης ενέργειας. Όσον αφορά στη μείωση του ορίου ταχύτητας, οι βιβλιογραφικές πηγές προτείνουν πολύ

αισιόδοξα μεγέθη για το δυναμικό μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης στους δρόμους ταχείας κυκλοφορίας (JRC, 2008), οι οποίοι στην Ελλάδα αντιστοιχούν στο 14% της συνολικής ετήσιας μετακίνησης των αυτοκινήτων (ΥΠΕΚΑ, 2009).

Φορολόγηση αγοράς και χρήσης των αυτοκινήτων

Η αύξηση του τέλους ταξινόμησης στα συμβατικά οχήματα αναμένεται να προκαλέσει μείωση της κατά κεφαλή κατοχής και των συνολικών οχηματοχιλιομέτρων. Οι επιπτώσεις από την αύξηση του τέλους ταξινόμησης και του κόστους των καυσίμων εκτιμήθηκαν με βάση τις τιμές ελαστικότητας σε σχέση με συγκεκριμένες παραμέτρους. Η έκθεση του TNO Science and Industry (2006) εκτιμάει την αξία της ελαστικότητας του τέλους ταξινόμησης σε σχέση με την κατά κεφαλή κατοχή σε -0.144, το οποίο συνεπάγεται σχετικά μικρή εξάρτηση της κατά κεφαλή κατοχής από το φόρο. Υψηλότερη ελαστικότητα του κόστους καυσίμου, ύψους -0.33 και -0.22 σε σχέση με την κατά κεφαλή κατοχή και τη χρήση αντίστοιχα, εκτιμά η μελέτη του Fosgerau, (2004). Τα σενάρια βασίζονται στην υπόθεση αύξησης του κόστους των τελών και των καυσίμων κατά 5% το ελάχιστο και 10% το μέγιστο σε σχέση με τα επίπεδα του ΣΧΔ.

Περιβαλλοντικά τέλη κυκλοφορίας

Η επιβολή τέλους κυκλοφορίας με βάση τις εκπομπές CO₂ εκτιμάται ότι θα φέρει δυναμικά στο προσκήνιο τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων, το μερίδιο των οποίων αυξάνεται σημαντικά στις νέες εγγραφές μέχρι το 2020, από 10% στο ΣΕΕ έως και 40% στο ΣΜΕ, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το συνολικό μερίδιο των εναλλακτικών οχημάτων (AFV) στο σύνολο του στόλου σε 2% στο ΣΕΕ και 3.3% στο ΣΜΕ. Το περιβαλλοντικό τέλος κυκλοφορίας έχει τη δυνατότητα να συνεισφέρει και στη μείωση των μεγάλου κυβισμού οχημάτων, επηρεάζοντας ταυτόχρονα τη μέση σταθμισμένη ενεργειακή ένταση του στόλου.

Αστικά διόδια

Τα αστικά διόδια, τα οποία λόγω καθημερινής επιβολής αποκτούν ιδιαίτερη βαρύτητα ως προς την μετακίνηση μεγάλου μέρους του πληθυσμού των πόλεων, εκτιμάται ότι θα έχουν αντίκτυπο σε πολλές από τις εξεταζόμενες παραμέτρους του μοντέλου. Με βάση την εμπειρία της επιβολής αστικών διοδίων στο Λονδίνο (TfL, 2008), γίνεται η

παραδοχή για ποσοστό περιορισμού της κυκλοφορίας στην Αθήνα από 10% έως 20% μέχρι το 2020, ως αποτέλεσμα της εφαρμογής του μέτρου μέσα στα επόμενα έτη. Υπολογίζεται ότι η πρωτεύουσα φιλοξενεί περίπου το 30% των συνολικών αυτοκινήτων της χώρας. Παράλληλα, εκτιμάται ότι θα αυξηθεί το ποσοστό των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων στην πόλη, όπως ακριβώς συνέβη στο Λονδίνο, ως συνέπεια της απαλλαγής αυτών από τη χρέωση των διοδίων.

Ενίσχυση δημόσιων μεταφορών

Τα έργα ενίσχυσης των μέσω μαζικής μεταφοράς εκτιμάται ότι θα έχουν ιδιαίτερη επίπτωση ειδικά στη χρήση του αυτοκινήτου. Τα σενάρια που αφορούν στις επιπτώσεις των έργων ενίσχυσης των δημόσιων μεταφορών στη μέση ετήσια διανύμενη απόσταση σχεδιάστηκαν με βάση την αξιολόγηση της συνεπαγόμενης μεταβολής των επιβατοχιλιομέτρων, που αντιστοιχούν στο στόλο των επιβατικών αυτοκινήτων, από την εφαρμογή του μέτρου. Η αναγωγή των οχηματοχιλιομέτρων σε επιβατοχιλιόμετρα πραγματοποιείται πολλαπλασιάζοντας τα πρώτα με το μέσο αριθμό επιβατών ανά αυτοκίνητο. Συγκεκριμένα, για τα αυτοκίνητα ΙΧ έγινε η παραδοχή ότι μέσος αριθμός επιβατών μειώνεται από 1.90 το 1990, σε 1.63 το 2020, ακολουθώντας σταθερό ετήσιο ρυθμό μείωσης κατά 0.5%, ενώ για τα ταξί θεωρήθηκε σταθερός ο αντίστοιχος αριθμός, στους 2 επιβάτες ανά όχημα. Ελάχιστες είναι οι σχετικές πηγές για την Ελλάδα (Paravantis and Georgakellos, 2007, REMOVE database), καθώς και για τις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες (EEA, 2010b; DfT, 2006; EEA, 2001; Scholl et al., 1996; Schipper, et al., 1992), για τις περισσότερες από τις οποίες ο μέσος αριθμός επιβατών ανά όχημα μειώνεται τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Το σενάριο 'ελάχιστης επίδρασης' (ΣΕΕ) καταλήγει σε μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης των επιβατοχιλιομέτρων ύψους 1.5% για την περίοδο 2005-2020, ακολουθώντας τον αντίστοιχο μετριοπαθέστερο ρυθμό μεταβολής των συνολικών επιβατοχιλιομέτρων της ΕΕ15 για την περίοδο 1990-2005 (Eurostat, 2010). Στο δε σενάριο 'μέγιστης επίδρασης' (ΣΜΕ), τα επιβατοχιλιόμετρα στην Ελλάδα αυξάνονται ετησίως κατά 1.1% και ουσιαστικά σταθεροποιούνται από το 2015 κι έπειτα.

Βιοκαύσιμα

Στην αγορά των βιοκαυσίμων, έως το 2020, αναμένεται να επικρατήσουν το

βιοντήζελ 7% και 10% (B7, B10) και η βιοαιθανόλη 10% (E10). Στο ΣΕΕ επιτυγχάνεται ο στόχος του 10%, ο οποίος αφορά στο ποσοστό των βιοκαυσίμων στη συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια από τις μεταφορές, βάσει της παραδοχής ότι το σύνολο του πετρελαίου θα αποτελείται από βιοντήζελ B10 (μίγμα συμβατικού πετρελαίου με 10% βιοντήζελ), ενώ 4% θα είναι το ποσοστό της E10 στη συνολική καταναλισκόμενη βενζίνη. Στο ΣΜΕ διπλασιάζεται ο στόχος, σε μία λιγότερο ρεαλιστική εκδοχή, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ποσοστό της E10 στη βενζίνη σε 15%.

Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων

Τέλος, όσον αφορά στο μερίδιο των πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων, το ΣΕΕ βασίζεται στην αύξησή του στα επίπεδα του ελάχιστου αντίστοιχου ποσοστού μεταξύ των κρατών-μελών της EE15 (ACEA, 2010), ενώ φτάνει το μέσο όρο της EE15 στο ΣΜΕ. Και στις δύο περιπτώσεις, τα πρόσθετα πετρελαιοκίνητα θεωρούνται ως μετά-2005 οχήματα, καλύπτοντας ετησίως μέση διανυόμενη απόσταση αντίστοιχη με των βενζινοκίνητων, τα οποία και αντικαθιστούν. Λόγω του ότι τα βενζινοκίνητα διαχωρίζονται με βάση τον κυβισμό σε τρία μεγέθη (μικρά, μεσαία, μεγάλα), ενώ τα πετρελαιοκίνητα σε δύο (μικρά, μεγάλα), δεν υπάρχει πλήρης αντιστοιχία, σε ότι αφορά το μέγεθος των πρόσθετων πετρελαιοκίνητων και το αντίστοιχο των αποσυρόμενων βενζινοκίνητων. Ως εκ τούτου, αμφότερα τα σενάρια ελάχιστης και μέγιστης επίδρασης θεωρούν ότι το ποσοστό των πρόσθετων πετρελαιοκίνητων με μικρό κυβισμό το 2020 θα είναι 50%. Όσον αφορά στην τεχνολογία του κινητήρα, έγινε η παραδοχή ότι όλα τα πρόσθετα πετρελαιοκίνητα οχήματα θα είναι σύγχρονων προδιαγραφών Euro V-VI, ενώ από το σύνολο των βενζινοκίνητων θα αποσυρθούν οχήματα όλων των τεχνολογικών προδιαγραφών που προβλέπεται να κυκλοφορούν το 2020 με βάση το ΣΧΔ.

5.3.3 Ποσοτική ανάλυση πολιτικών και μέτρων ως μεμονωμένων παρεμβάσεων

Η ελάχιστη και μέγιστη μεταβολή, στο πλαίσιο των σεναρίων ελάχιστης επίδρασης (ΣΕΕ) και μέγιστης επίδρασης (ΣΜΕ), που επιφέρουν κάθε μία από τις πολιτικές και τα μέτρα (Π&Μ) στις εξεταζόμενες παραμέτρους του υπολογιστικού μοντέλου, σε σύγκριση με τις προβλέψεις του ΣΧΔ για το 2020, παρουσιάζονται αναλυτικά στους Πίνακες Π1-Π2 του Παραρτήματος.

Πίνακας 5.7. Βαθμολόγηση ελάχιστης επίδρασης κάθε μέτρου στις συγκεντρωτικές παραμέτρους

Μεμονωμένες παρεμβάσεις - ΣΕΕ	Os	E	D	vkm	F _c	S _{m,b}	T _{old}	f
<i>Π1-επίδραση στα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου</i>								
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα		++						
Αεροδυναμικός σχεδιασμός		+						
Μείωση βάρους		+						
Σήμανση ελαστικών		+						
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών		+						
Απόσυρση		-					+++	
<i>Π2-επίδραση στη συμπεριφορά των οδηγών</i>								
Προώθηση οικολογικής οδήγησης		+						
Μείωση ορίου ταχύτητας		+						
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	+			+	+		+	
Αύξηση κόστους καυσίμου	+		+	++	+		+	
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂		+			+	+++	+	
Αστικά διόδια			+	+	+		+	
Έργα υποδομής			+++	+++				
<i>Π3-επίδραση στο μίγμα καυσίμων</i>								
Προώθηση βιοκαυσίμων								+
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων		+				+	+++	-

‘+’/ ‘++’/ ‘+++’ : (0% έως -2%) / (-2% έως -4%) / (πάνω από -4%)

‘-’/ ‘--’/ ‘---’ : (0% έως 2%) / (2% έως 4%) / (πάνω από 4%)

Πίνακας 5.8. Βαθμολόγηση μέγιστης επίδρασης κάθε μέτρου στις συγκεντρωτικές παραμέτρους

Μεμονωμένες παρεμβάσεις - ΣΜΕ	Os	E	D	vkm	F _c	S _{m,b}	T _{old}	f
<i>Π1-επίδραση στα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου</i>								
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα		+++						
Αεροδυναμικός σχεδιασμός		++						
Μείωση βάρους		++						
Σήμανση ελαστικών		+						
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών		+						
Απόσυρση		-					+++	
<i>Π2-επίδραση στη συμπεριφορά των οδηγών</i>								
Προώθηση οικολογικής οδήγησης		++						
Μείωση ορίου ταχύτητας		+						
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	+			+	+		+	
Αύξηση κόστους καυσίμου	++		++	+++	+		+	
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂		++			+	+++	+	
Αστικά διόδια		+	+	+	+		+	
Έργα υποδομής			+++	+++				
<i>Π3-επίδραση στο μίγμα καυσίμων</i>								
Προώθηση βιοκαυσίμων								+
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων		++				+	+++	---

‘+’/ ‘++’/ ‘+++’ : (0% έως -2%) / (-2% έως -4%) / (πάνω από -4%)

‘-’/ ‘--’/ ‘---’ : (0% έως 2%) / (2% έως 4%) / (πάνω από 4%)

Πίνακας 5.9. Επίδραση μεμονωμένων Π&Μ στις εκπομπές CO₂ το 2020

Πολιτικές & Μέτρα	Σενάριο 'ελάχιστης επίδρασης'		Σενάριο 'μέγιστης επίδρασης'	
<i>ΣΧΔ</i>	13,555		13,555	
Μεταβολή εκπομπών CO ₂	kt CO ₂	%	kt CO ₂	%
<i>Π1</i>				
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	-351	-2.6%	-585	-4.3%
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	-70	-0.5%	-281	-2.1%
Μείωση βάρους	-152	-1.1%	-422	-3.1%
Σήμανση ελαστικών	-69	-0.5%	-171	-1.3%
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	-69	-0.5%	-171	-1.3%
Απόσυρση	8	0.1%	19	0.1%
<i>Π2</i>				
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	-137	-1.0%	-343	-2.5%
Μείωση ορίου ταχύτητας	-81	-0.6%	-162	-1.2%
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-98	-0.7%	-195	-1.4%
Αύξηση κόστους καυσίμου	-371	-2.7%	-736	-5.4%
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-122	-0.9%	-284	-2.1%
Αστικά διόδια	-125	-0.9%	-267	-2.0%
Έργα υποδομής	-682	-5.0%	-1,331	-9.8%
<i>Π3</i>				
Προώθηση βιοκαυσίμων	-109	-0.8%	-220	-1.6%
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	65	0.5%	385	2.8%

Για λόγους διευκόλυνσης της κατανόησης των αποτελεσμάτων, στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τις επιδράσεις των μέτρων με δείκτες +/- που αντιστοιχούν σε βελτίωση/επιδείνωση των εξεταζόμενων παραμέτρων σε σχέση με τα επίπεδα που προβλέπει το ΣΧΔ. Οι μεταβολές βαθμολογούνται με 1-3 δείκτες (+) ή (-) ανάλογα με το μέγεθός τους (0%-2%, 2%-4% και >4%). Η βαθμολόγηση των μέτρων

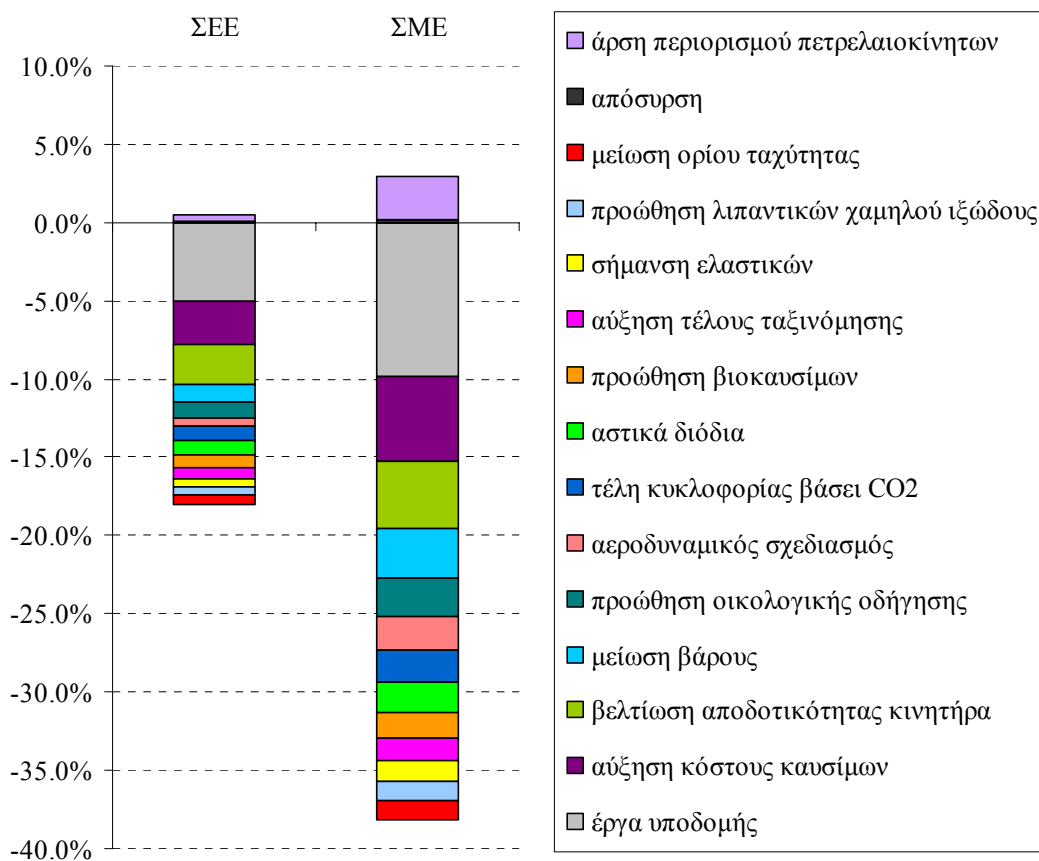
παρουσιάζεται στους Πίνακες 5.7-5.8, με βάση τα σενάρια ελάχιστης και μέγιστης επίδρασης αντιστοίχως. Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην ποιοτική ανάλυση των πολιτικών και μέτρων, παρατηρούμε ότι υπάρχουν παρεμβάσεις που επιδρούν σε περισσότερες από μία παραμέτρους. Συνυπολογίζονται, δηλαδή, και παράπλευρες επιδράσεις που είτε προκαλούνται ως συνέπεια της κεντρικής δράσης ενός εφαρμοζόμενου μέτρου, είτε εμφανίζονται συμπληρωματικά ως παράλληλη επίπτωση ενός μέτρου.

Ο Πίνακας 5.9 παρουσιάζει τις ελάχιστες και μέγιστες μεταβολές των συνολικών εκπομπών CO₂ από την εφαρμογή κάθε μέτρου ως μεμονωμένης παρέμβασης, σε απόλυτα μεγέθη και σε % σε σχέση με το ΣΧΔ. Επιπλέον το Σχήμα 5.12 δείχνει διαγραμματικά τη σχετική συνεισφορά κάθε παρέμβασης εφαρμοζόμενης μεμονωμένα, στο πλαίσιο των ΣΕΕ και ΣΜΕ. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι η παράλληλη εφαρμογή των μέτρων αναμένεται να οδηγήσει σε συνέργειες με διαφορετικά αποτελέσματα σε σύγκριση με το άθροισμα των αποτελεσμάτων που διαμορφώνονται από τη μεμονωμένη εφαρμογή κάθε μέτρου.

Στο σύνολό τους οι εξεταζόμενες παράμετροι και οι τελικές εκπομπές επηρεάζονται θετικά από τις πολιτικές και τα μέτρα, με ορισμένες ενδιαφέρουσες εξαιρέσεις. Συγκεκριμένα, η απόσυρση, εφαρμοζόμενη ως μεμονωμένο μέτρο, προκαλεί οριακή αύξηση της ενεργειακής έντασης, από 0.1% έως 0.2% σε σχέση με το ΣΧΔ. Παρόλο που το μερίδιο των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας μειώνεται σημαντικά, οι πολύ υψηλές ειδικές καταναλώσεις ορισμένων νεο-εισερχόμενων οχημάτων, σύμφωνα με τα προκαθορισμένα μεγέθη που προτείνονται στο COPERT IV, δεν επιτρέπουν στην ανανέωση του στόλου να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα. Αναλόγως επηρεάζονται και οι τελικές εκπομπές CO₂, οι οποίες παρουσιάζουν όμως αμελητέα αύξηση σε σχέση με τα επίπεδα του ΣΧΔ, ύψους 1% περίπου.

Επίσης, το μέτρο της άρσης περιορισμού των πετρελαιοκίνητων οχημάτων βελτιώνει σημαντικά τη μέση ενεργειακή ένταση του στόλου, εφόσον αυξάνονται τα μερίδια των μετά-2005 και μικρού κυβισμού πετρελαιοκίνητων χαμηλής ειδικής κατανάλωσης, αλλά επιφέρει αύξηση των τελικών εκπομπών CO₂, εύρους 0.5%-2.8%, γεγονός που σχετίζεται με το ποσοστό μεγάλου κυβισμού των πρόσθετων πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων, που διαμορφώνεται στο 50% για το 2020 σύμφωνα

με τις παραδοχές των σεναρίων ελάχιστης και μέγιστης επίδρασης.

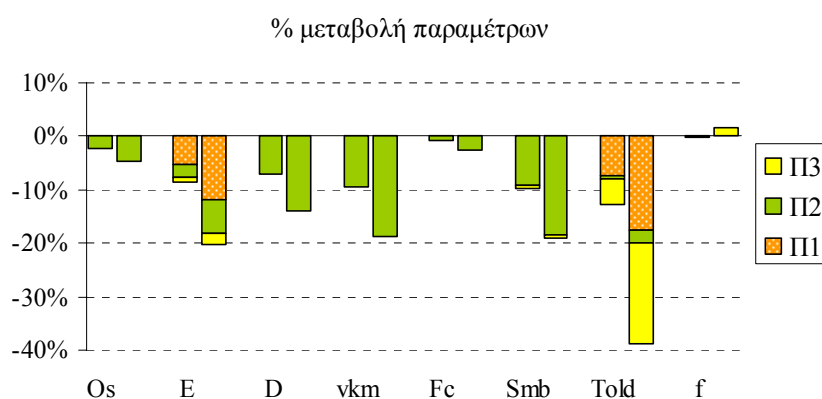


Σχήμα 5.12. Ελάχιστη και μέγιστη μεταβολή (%) εκπομπών CO₂ από μεμονωμένες παρεμβάσεις, για το 2020

Η ανάλυση ευαισθησίας των εκπομπών, σε σχέση με το συγκεκριμένο μέτρο, που πραγματοποιήθηκε και για τα δύο σενάρια ελάχιστης και μέγιστης επίδρασης, έδειξε ότι το ποσοστό μεγάλου κυβισμού οχημάτων στα πρόσθετα πετρελαιοκίνητα δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 25% προκειμένου να αντισταθμιστεί η επιδείνωση των εκπομπών CO₂ από την αύξηση των πετρελαιοκίνητων. Εάν, για παράδειγμα, υποθέσουμε ότι τα νεοεισερχόμενα πετρελαιοκίνητα θα είναι σε ποσοστό 95% μικρού μεγέθους, όσο δηλαδή προβλέπεται και το ποσοστό μικρού και μεσαίου μεγέθους στο σύνολο των βενζινοκίνητων το 2020, τότε προκύπτει μείωση των συνολικών εκπομπών CO₂ από την εφαρμογή προώθησης της πετρελαιοκίνησης από -1.5% έως -2% στα ΣΕΕ και ΣΜΕ αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι η προώθηση των πετρελαιοκίνητων θα πρέπει να συνοδεύεται και από μέτρα προώθησης των

μικρού κυβισμού αυτοκινήτων προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα του μέτρου ως προς τη μείωση των εκπομπών του στόλου των αυτοκινήτων.

Αθροίζοντας τα αποτελέσματα από την εφαρμογή κάθε μέτρου χωριστά, χωρίς να συνυπολογίζονται οι συνέργειες από το συνδυασμό τους, καταλήγουμε σε ένα σημαντικό δυναμικό μείωσης της μέσης ενεργειακής έντασης, το οποίο κυμαίνεται από 9% έως 20%, ανάλογα με το βαθμό διεύθυνσης των μέτρων (Σχήμα 5.13).



Σχήμα 5.13. Ελάχιστη και μέγιστη μεταβολή (%) παραμέτρων από μεμονωμένες παρεμβάσεις, για το 2020

Τα τεχνολογικού χαρακτήρα μέτρα (Π1) φαίνεται πως μπορούν να αποτελέσουν ένα ισχυρό εργαλείο περιορισμού της ειδικής ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ τη μεγαλύτερη ευθύνη για την μείωσή της φέρουν οι αυτοκινητοβιομηχανίες. Τη δραστικότερη συνεισφορά στη μείωση της μέσης ενεργειακής έντασης του στόλου των αυτοκινήτων, με ευθέως ανάλογη μείωση των συνολικών εκπομπών CO₂, παρουσιάζει το μέτρο της τεχνολογικής βελτίωσης του κινητήρα, ενώ και η μείωση του βάρους του οχήματος λειτουργεί πολύ θετικά στον περιορισμό της ενεργειακής έντασης.

Οι πολιτικές και τα μέτρα που κεντρικό στόχο έχουν την αλλαγή της συμπεριφοράς των οδηγών (Π2), είτε επιβάλλοντας είτε διευκολύνοντας την ορθολογικότερη χρήση του αυτοκινήτου, καταφέρνουν να περιορίσουν τόσο την ενεργειακή ένταση όσο και τις διανυόμενες αποστάσεις, με ανάλογη επίπτωση στις συνολικές εκπομπές CO₂. Η χρήση του αυτοκινήτου επηρεάζεται κυρίως από τις πολιτικές ενίσχυσης των δημόσιων μεταφορών. Στην Ελλάδα, άλλωστε, υπολογίζεται ότι μόνο το 21% των

συνολικών επιβατοχιλιομέτρων δια ξηράς πραγματοποιούνται με δημόσια μέσα (Eurostat, 2009). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των σεναρίων, μπορεί να επιτευχθεί μείωση των εκπομπών CO₂ μέχρι και 10% σε σχέση με το ΣΧΔ, εάν μειωθεί η μέση διανυόμενη απόσταση με μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής -1.5% την περίοδο 2010-2020, ως απόρροια της ενισχυμένης αποδοτικότητας των μέσων μαζικής μεταφοράς.

Ιδιαίτερος ισχυρή είναι και η επίδραση της αύξησης του κόστους των καυσίμων στη χρήση, καθώς και την κατά κεφαλή κατοχή αυτοκινήτων. Ως εκ τούτου, οι εκπομπές CO₂ επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη μεταβολή του κόστους των καυσίμων, καθώς περιορίζονται κατά 2.7% στο ΣΕΕ και κατά 5.4% στο ΣΜΕ. Σημαντική είναι και η συνεισφορά της εκπαιδευτικής πολιτικής με στόχο την οικολογική οδήγηση, επιτυγχάνοντας μείωση της μέσης ενεργειακής έντασης και των εκπομπών CO₂ από 1% έως 2.5%. Το μέτρο των αστικών διοδίων και η επιβολή περιβαλλοντικού τέλους κυκλοφορίας βάσει των ειδικών εκπομπών CO₂ του οχήματος συμβάλλουν σε ποσοστό από 1% έως 2% στη μείωση των συνολικών εκπομπών, περιορίζοντας σημαντικά τις παραμέτρους που αφορούν στη μέση διανυθείσα απόσταση, καθώς και τα μερίδια των αυτοκινήτων με συμβατικά καύσιμα, με παλαιές τεχνολογικές προδιαγραφές και με κινητήρα μεγάλου κυβισμού. Πιο περιορισμένη υπολογίζεται η συνεισφορά του μέτρου μείωσης του ορίου ταχύτητας, ενώ η αύξηση του τέλους ταξινόμησης πετυχαίνει μείωση της κατά κεφαλή κατοχής και των εκπομπών CO₂ από 0.7% έως 1.4%.

Εντούτοις, ο παράγοντας της κατά κεφαλή κατοχής δεν φαίνεται να μεταβάλλεται σημαντικά από τα εξεταζόμενα μέτρα, ενώ οριακή είναι επίσης η μεταβολή του μεριδίου των οχημάτων συμβατικών καυσίμων, τα οποία βέβαια εμπλουτίζονται πλέον με βιοκαύσιμα. Το μέτρο της προώθησης των βιοκαυσίμων, ως μεμονωμένη παρέμβαση, επιφέρει μείωση των εκπομπών εύρους 0.8%-1.6% μέσω της βελτίωσης του μέσου συντελεστή εκπομπής CO₂ του στόλου. Επίσης, τα αισιόδοξα σενάρια που αφορούν στη δυναμική διείσδυση των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων (υβριδικών και αμιγώς ηλεκτρικών) στην αγορά φαίνεται να έχουν πιο μετριοπαθή επίδραση στις συνολικές εκπομπές το 2020. Η μέγιστη μείωση των εκπομπών από την εφαρμογή των μέτρων που στοχεύουν σε αύξηση του μεριδίου των οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων υπολογίζεται σε 2% περίπου.

Η συνεισφορά των μέτρων που θεωρούνται προαποφασισμένα και σχετίζονται με τις τεχνολογικές παρεμβάσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας (βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα, αεροδυναμικός σχεδιασμός, μείωση βάρους) και τις ενσωματωμένες Ευρωπαϊκές Οδηγίες (προώθηση βιοκαυσίμων) εκτιμάται σε μείωση των εκπομπών CO₂ το 2020 σε σχέση με το ΣΧΔ σε ποσοστό από 5% έως 11%, αντιπροσωπεύοντας το 30% περίπου του δυναμικού των 15 εξεταζόμενων παρεμβάσεων (Σχήμα 5.12). Άλλο ένα 45% του συνολικού δυναμικού αντιστοιχεί σε δύο αλληλοσυμπληρούμενες πολιτικές, αυτές της ενίσχυσης των δημόσιων μέσων μεταφοράς και της αύξησης του κόστους χρήσης του αυτοκινήτου μέσω της αύξησης της αξίας των καυσίμων.

Το συνολικό δυναμικό των εξεταζόμενων μέτρων ως προς τη μείωση των εκπομπών το 2020 σε σχέση με το ΣΧΔ, χωρίς να συνυπολογίζονται οι συνέργειες από την παράλληλη εφαρμογή τους, βρίσκεται ανάμεσα στο 17.4% και το 35.2%. Από το σύνολο των εξεταζόμενων μέτρων διακρίνουμε μόνο δύο με αρνητική επίδραση στις εκπομπές CO₂ όταν εφαρμόζονται μεμονωμένα, την απόσυρση και την προώθηση της πετρελαιοκίνησης, εκ των οποίων το πρώτο ουσιαστικά εμφανίζει οριακή επίδραση ενώ το δεύτερο αρκετά αξιόλογο. Συνολικά, τα δύο μέτρα αυξάνουν τις εκπομπές από 0.6% έως 3% σε σχέση με το ΣΧΔ. Η ανάλυση των συνδυασμένων πολιτικών και μέτρων αναμένεται να αναδείξει άλλες δυνατότητες των μέτρων αυτών. Επομένως, το επόμενο βήμα είναι ο σαφέστερος καθορισμός του δυναμικού μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής που θα συνδυάζει ταυτόχρονα πολλά από τα εξεταζόμενα μέτρα, καθώς και το σύνολο αυτών.

5.3.4 Ποσοτική ανάλυση συνδυασμένων πολιτικών και μέτρων

Η ανάλυση εστιάζει στο συνδυασμό των πολιτικών και μέτρων, εξετάζοντας τόσο τους ‘ανά 2’ συνδυασμούς, με στόχο τη λεπτομερή παρατήρηση και ανάδειξη των σημαντικών συνεργειών, όσο και την παράλληλη εφαρμογή του συνόλου των παρεμβάσεων. Αν και η λέξη ‘συνέργεια’ παραπέμπει σε θετικούς συνδυασμούς, σε αυξημένη δηλαδή αποτελεσματικότητα ενός ζεύγους παρεμβάσεων σε σύγκριση με το άθροισμα των μεμονωμένων δράσεων, στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται για να αποδώσει εκφραστικά τη συνδυασμένη δράση που μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική.

‘Ανά 2’ συνδυασμοί πολιτικών και μέτρων

Τα αναλυτικά αποτελέσματα που αφορούν στη μεταβολή των παραμέτρων του μοντέλου και των συνολικών εκπομπών CO₂ από τους ‘ανά 2’ συνδυασμούς, σε σχέση με το άθροισμα των μεμονωμένων επιδράσεων, παρουσιάζονται στο Παράρτημα (Πίνακες Π3-Π18). Στους Πίνακες 5.11-5.12 παρουσιάζονται οι συνέργειες των ‘ανά 2’ συνδυασμών ως προς τη μεταβολή των εκπομπών CO₂, βαθμολογημένων ανάλογα με το μέγεθος ενίσχυσης (θετικό πρόσημο) ή αποδυνάμωσης (αρνητικό πρόσημο) της συνδυαστικής δράσης σε σχέση με την αρχική επίδραση των μεμονωμένων μέτρων, ενώ ο Πίνακα 5.10 παρουσιάζει τους ‘ανά 2’ συνδυασμούς με τις πιο αξιοσημείωτες συνέργειες.

Πίνακας 5.10. Κυριότερες συνέργειες από τους ‘ανά 2’ συνδυασμούς Π&Μ

Κυριότερες θετικές συνέργειες	ΣΕΕ	ΣΜΕ
Αύξηση αποτελεσματικότητας (%) σε σχέση με το άθροισμα της επίδρασης των 2 μεμονωμένων μέτρων		
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνησης - Προώθηση βιοκαυσίμων	198%	160%
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνησης - Αστικά διόδια	20%	68%
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνησης - Μείωση ορίου ταχύτητας	13%	6%
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνησης - Μείωση βάρους οχήματος	4%	84%
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνησης - Βελτίωση απόδοσης κινητήρα	3%	22%
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνησης - Αύξηση κόστους καυσίμου	2%	24%
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνησης - Ενίσχυση ΜΜΜ	2.2%	9%
Απόσυρση - τεχνολογική παρέμβαση	1.5%	3.3%
Κυριότερες αρνητικές συνέργειες	ΣΕΕ	ΣΜΕ
Μείωση αποτελεσματικότητας (%) σε σχέση με το άθροισμα της επίδρασης των 2 μεμονωμένων μέτρων		
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνησης - Περιβαλλοντικό τέλος κυκλοφορίας	18%	66%

Πίνακας 5.11. Συνέργειες ‘ανά 2’ συνδυασμένων μέτρων ως προς τη μεταβολή των εκπομπών CO₂ – ΣΕΕ

Βαθμολόγηση συνεργειών ν- ΣΕΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Αεροδυναμικός σχεδιασμός		-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	++
Μείωση βάρους			-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Σήμανση ελαστικών				-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών					-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Απόσυρση							+	+	+	+	+	+	+	+	+
Προώθηση οικολογικής οδήγησης								-	-	-	-	-	-	-	+
Μείωση ορίου ταχύτητας									-	-	-	-	-	-	++
Αύξηση τέλους ταξινόμησης										-	-	-	-	-	-
Αύξηση κόστους καυσίμου											-	-	-	-	+
Αστικά διόδια												-	-	-	++
Έργα υποδομής													-	-	+
Προώθηση βιοκαυσίμων														-	+++
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂															--
Άρση περιορισμού πετρελαιοκί νητων															

‘+’/ ‘++’/ ‘+++’ : θετικές συνέργειες ύψους (0% - 10%) / (10% - 50%) / (> 50%)

‘-’/ ‘--’/ ‘---’ : αρνητικές συνέργειες ύψους (0% - 10%) / (10% - 50%) / (> 50%)

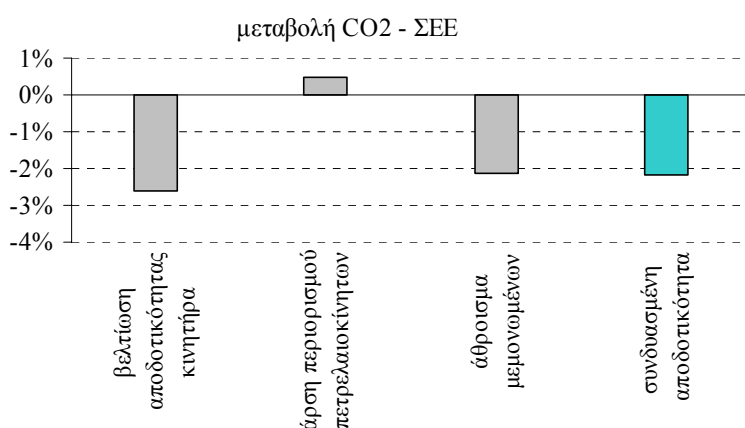
Πίνακας 5.12. Συνέργειες ‘ανά 2’ συνδυασμένων μέτρων ως προς τη μεταβολή των εκπομπών CO₂ – ΣΜΕ

Βαθμολόγηση συνεργειών ν- ΣΜΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα		-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	++
Αεροδυναμικός σχεδιασμός			-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	++
Μείωση βάρους				-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+++
Σήμανση ελαστικών					-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών						+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Απόσυρση							+	+	+	+	+	+	+	+	+
Προώθηση οικολογικής οδήγησης								-	-	-	-	-	-	-	++
Μείωση ορίου ταχύτητας									-	-	-	-	-	-	+
Αύξηση τέλους ταξινόμησης										-	-	-	-	-	-
Αύξηση κόστους καυσίμου											-	-	-	-	++
Αστικά διόδια												-	-	-	+++
Έργα υποδομής													-	-	+
Προώθηση βιοκαυσίμων														-	+++
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂															---
Άρση περιορισμού πετρελαιοκί νητων															

‘+’/ ‘++’/ ‘+++’ : θετικές συνέργειες ύψους (0% - 10%) / (10% - 50%) / (> 50%)

‘-’/ ‘--’/ ‘---’ : αρνητικές συνέργειες ύψους (0% - 10%) / (10% - 50%) / (> 50%)

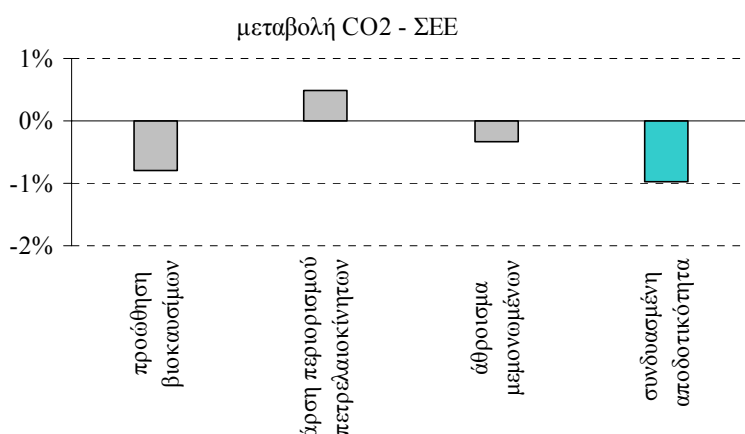
Ανεξαρτήτως σεναρίου, το πλήθος των θετικών συνεργειών αντιπροσωπεύει το 25% περίπου των συνολικών 'ανά 2' συνδυασμών. Τη σπουδαιότερη θετική συνέργεια παρουσιάζουν τα δύο μέτρα που επιδρούν άμεσα στο μίγμα καυσίμων, η άρση απαγόρευσης των πετρελαιοκίνητων στις πόλεις και η προώθηση των βιοκαυσίμων. Το τελευταίο επιδρά σημαντικά στη βελτίωση του μέσου συντελεστή εκπομπής CO₂ των πετρελαιοκίνητων, στην αύξηση του μεριδίου των οποίων προσδίδεται επομένως μεγάλο πλεονέκτημα. Η συνδυαστική αποτελεσματικότητα των δύο συγκεκριμένων παρεμβάσεων ενισχύεται κατά 200% στο ΣΕΕ και κατά 160% στο ΣΜΕ, σε σχέση με την αντίστοιχη που προκύπτει από το άθροισμα των επιδράσεων των μεμονωμένων παρεμβάσεων. Η προώθηση της πετρελαιοκίνησης συνδυάζεται επίσης αρκετά θετικά με τα τεχνολογικά μέτρα, την προώθηση της οικολογικής οδήγησης, τη μείωση του ορίου ταχύτητας και τα αστικά διόδια. Σε κάθε τέτοιο συνδυασμό, όμως, η επιδείνωση των εκπομπών CO₂ που προκύπτει από τη μεμονωμένη εφαρμογή του μέτρου προώθησης της πετρελαιοκίνησης αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα της θετικής δράσης που εμφανίζουν μεμονωμένα τα έτερα μέτρα. Μειώνεται δηλαδή η αρνητική επίδραση της πετρελαιοκίνησης, αλλά δεν αυξάνεται η θετική επίδραση του έτερου μέτρου, όπως φαίνεται και στο παράδειγμα του Σχήματος 5.14.



Σχήμα 5.14. Σύγκριση συνδυαστικής και αθροιστικής αποτελεσματικότητας των μέτρων προώθησης πετρελαιοκίνησης και βελτίωσης κινητήρα

Μόνη εξαίρεση ο συνδυασμός με την προώθηση των βιοκαυσίμων στο ΣΕΕ, στο πλαίσιο της οποίας βελτιώνεται ουσιαστικά η απόδοση και των δύο παρεμβάσεων σε σχέση με τις μεμονωμένες τους δράσεις (Σχήμα 5.15). Εντούτοις, η αύξηση της

πετρελαιοκίνησης ενισχύει την αποτελεσματικότητα, όσον αφορά στον περιορισμό των εκπομπών CO₂, του συνολικού πακέτου των εξεταζόμενων μέτρων όταν εφαρμόζονται παράλληλα. Πιο αναλυτικά, η αποτελεσματικότητα του συνόλου, με την προσθήκη του συγκεκριμένου μέτρου, αυξάνεται κατά 1% στο ΣΕΕ και κατά 2% στο ΣΜΕ. Η παρατήρηση αυτή αποδεικνύει πόσο διαφορετική αξία μπορεί να αποκτήσει ένα μέτρο ανάλογα με το σύνολο των παρεμβάσεων μέσα στο οποίο εξετάζεται, καθώς και το βαθμό διεύθυνσης αυτών.



Σχήμα 5.15. Σύγκριση συνδυαστικής και αθροιστικής αποτελεσματικότητας των μέτρων προώθησης πετρελαιοκίνησης και βιοκαυσίμων

Θετικές συνέργειες, μικρότερης όμως σημασίας, καταγράφονται σε όλους τους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν την απόσυρση, εκ των οποίων οι σημαντικότερες συμπεριλαμβάνουν τις τεχνολογικές παρεμβάσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας, την προώθηση της οικολογικής οδήγησης και τη μείωση του ορίου ταχύτητας. Στην περίπτωση της απόσυρσης ισχύουν επίσης όλα όσα παρατηρήθηκαν και στην περίπτωση της πετρελαιοκίνησης, αλλά σε μικρότερο βαθμό εφόσον η απόσυρση μεμονωμένα έχει οριακή μόνο αρνητική επίδραση στις εκπομπές. Όπως συνέβη με την πετρελαιοκίνηση, στους ‘ανά 2’ συνδυασμούς με την απόσυρση το όφελος δεν ξεπερνάει αυτό του έτερου μέτρου εφαρμοζόμενου μεμονωμένα. Αντιθέτως, όταν η απόσυρση έρχεται να συμπληρώσει το σύνολο όλων των υπόλοιπων μέτρων, πετυχαίνει αύξηση της αποτελεσματικότητας, κατά 0.1% στο ΣΕΕ και κατά 0.5% στο ΣΜΕ.

Οι αρνητικές συνέργειες που προκύπτουν από τους ‘ανά 2’ συνδυασμούς είναι στην πλειοψηφία τους μέτριας έντασης. Παρατηρείται ουσιαστικά, στις σχετικές

περιπτώσεις, μείωση της αποτελεσματικότητας των ζευγών κατά λιγότερο από 1% στο ΣΕΕ και 2% στο ΣΜΕ. Σημαντική αρνητική συνέργεια εμφανίζει η προώθηση της πετρελαιοκίνησης σε συνδυασμό με την αύξηση τέλους κυκλοφορίας, πολιτικές οι οποίες επιδρούν αμφότερες στη μεταβολή του μέσου κυβισμού με την ενίσχυση των οχημάτων μικρού κινητήρα. Η αλληλεπίδραση των συγκεκριμένων μέτρων επιφέρει μείωση της συνολικής δυνατότητας παρέμβασης στην παράμετρο του μέσου μεγέθους των οχημάτων, καθώς και στη μέση σταθμισμένη ενεργειακή ένταση, στο μέτρο που αυτή επηρεάζεται από το μέγεθος. Στη συνέχεια ερμηνεύεται η μεταβολή του δυναμικού των μέτρων κατά την παράλληλη εφαρμογή τους, εξετάζοντας παράλληλα πώς μεταβάλλονται οι παράμετροι του μοντέλου.

Συνδυασμένη εφαρμογή του συνόλου των πολιτικών και μέτρων

Τα αποτελέσματα που αφορούν στη μεταβολή των παραμέτρων του υπολογιστικού μοντέλου από το συνδυασμό όλων των εξεταζόμενων μέτρων, σε σύγκριση με τα δεδομένα του ΣΧΔ για το 2020, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.13.

Πίνακας 5.13. Επίδραση συνόλου μεμονωμένων και συνδυασμένων Π&Μ στις προσδιοριστικές παραμέτρους

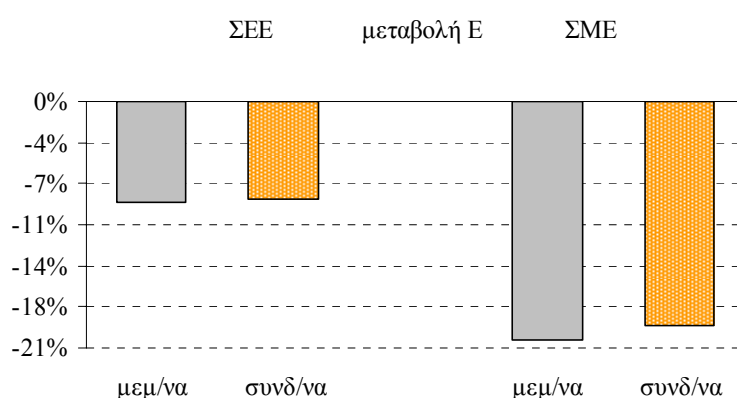
Μεταβολή από ΣΧΔ	Os	E	D	vkm	F _c	S _{m,b}	T _{old}	f
ΣΕΕ								
Μεμονωμένες Π&Μ	-2.4%	-8.6%	-7.1%	-9.4%	-0.6%	-9.7%	-12.7%	0.4%
Συνδυασμένες Π&Μ	-2.4%	-8.3%	-7.1%	-9.3%	-0.6%	-8.8%	-13.2%	-0.2%
ΣΜΕ								
Μεμονωμένες Π&Μ	-4.7%	-20.4%	-13.9%	-18.6%	-2.6%	-19.0%	-38.8%	3.6%
Συνδυασμένες Π&Μ	-4.7%	-19.0%	-14.5%	-18.5%	-2.7%	-13.5%	-38.8%	1.7%

Παράλληλα, στον ίδιο Πίνακα συγκρίνεται το συνολικό δυναμικό των συνδυασμένων μέτρων με το δυναμικό που προκύπτει από το άθροισμα των μεμονωμένων επιδράσεων, με στόχο την ανάδειξη της διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων λόγω των συνεργειών που προκαλούνται από τους διάφορους συνδυασμούς των μέτρων.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και διαγραμματικά στα Σχήματα 16-23.

Μέση σταθμισμένη ενεργειακή ένταση

Ένα πρώτο σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από τη σύγκριση των δύο προσεγγίσεων είναι η μείωση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων σε ότι αφορά τον περιορισμό της μέσης σταθμισμένης ενεργειακής έντασης των αυτοκινήτων, από την παράλληλη εφαρμογή των 15 εξεταζόμενων παρεμβάσεων (Σχήμα 5.16).



Σχήμα 5.16. Μεταβολή (%) μέσης ενεργειακής έντασης (E) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

Προκαλείται, δηλαδή, αρνητική συνέργεια ως προς το δυναμικό των συνδυαζόμενων μέτρων, γεγονός που σχετίζεται με όσα επισημάνθηκαν στο πλαίσιο της μεθοδολογικής προσέγγισης (Κεφάλαιο 4.3.2) και που αφορά σε όλα τα μέτρα που επεμβαίνουν είτε άμεσα στην ειδική κατανάλωση, μέσω της αναβάθμισης των τεχνικών χαρακτηριστικών του αυτοκινήτου, είτε έμμεσα, με την προώθηση οχημάτων χαμηλής κατανάλωσης, όπως είναι τα οχήματα εναλλακτικών καυσίμων και τα πετρελαιοκίνητα. Κάθε νέο τέτοιο μέτρο που προστίθεται έρχεται να παρέμβει σε μία ειδική κατανάλωση ήδη βελτιωμένη από το προηγούμενο μέτρο, άρα αποκτά αυτομάτως μειωμένη δυνατότητα παρέμβασης. Εντούτοις, εξετάζοντας με το υπολογιστικό μοντέλο όλους τους δυνατούς ‘ανά 2’ συνδυασμούς των παρεμβάσεων, παρατηρούμε σε αρκετές περιπτώσεις θετική συνέργεια, δηλαδή αύξηση της αποτελεσματικότητας του ζεύγους δύο μέτρων.

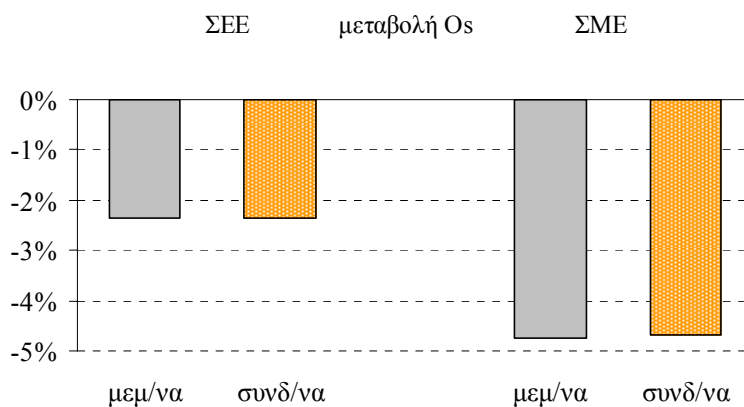
Οι ‘ανά 2’ συνδυασμοί της απόσυρσης με κάθε μία από τις παρεμβάσεις στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου παρουσιάζουν τις πιο αξιοσημείωτες θετικές συνέργειες ως προς τη μείωση της μέσης ενεργειακής έντασης του στόλου των αυτοκινήτων. Συγκεκριμένα, η μείωση της μέσης ενεργειακής έντασης που προκύπτει από τους συνδυασμούς της απόσυρσης με κάθε ένα από τα τεχνολογικά μέτρα είναι κατά 1.5% περίπου μεγαλύτερη σε σχέση με την αθροιστική επίδραση των αντίστοιχων μεμονωμένων παρεμβάσεων στο ΣΕΕ και κατά 3% περίπου στο ΣΜΕ. Θετική, επίσης, είναι η συμπεριφορά της απόσυρσης όταν συνδυάζεται με την αύξηση των πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Τα δύο συγκεκριμένα μέτρα συνδυασμένα παρέχουν όφελος, όσον αφορά στη μείωση της μέσης ενεργειακής έντασης, ύψους 1% έως 2.5% στα ΣΕΕ και ΣΜΕ αντίστοιχα. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με το ΣΜΕ, θετική συνέργεια ως προς τη μέση σταθμισμένη ενεργειακή ένταση προκύπτει από τη μεγάλη αύξηση των πετρελαιοκίνητων σε συνδυασμό με ορισμένα καθαρά τεχνολογικά μέτρα, με όφελος γύρω στο 0.5% σε κάθε περίπτωση. Ανάλογα συμπεριφέρεται και το μέτρο των αστικών διοδίων στους συνδυασμούς με τη μέγιστη δράση των τεχνολογικών παρεμβάσεων.

Μεγάλη σημασία έχει ο βαθμός διείσδυσης των μέτρων, ο οποίος σε κάποιες περιπτώσεις καθορίζει το είδος των συνεργειών. Ενδεικτικό είναι πως σε ό,τι αφορά τα μέτρα που εξαρτώνται από την αυτοκινητοβιομηχανία και βρίσκονται ήδη σε εφαρμογή, δηλαδή τη βελτίωση της αποδοτικότητας του κινητήρα, τον αεροδυναμικό σχεδιασμό και τη μείωση του βάρους των οχημάτων, η δραστηριότητα από τον συνδυασμό των τριών αυξάνεται με την ταυτόχρονη εφαρμογή της απόσυρσης στο ΣΜΕ. Η αποτελεσματικότητα αυξάνεται όσο προστίθενται και τα υπόλοιπα τεχνολογικά μέτρα. Λειτουργεί δηλαδή η απόσυρση θετικότερα όσο βελτιώνεται η ειδική κατανάλωση των νέων οχημάτων. Αντιθέτως, στο ΣΕΕ, η απόσυρση δεν καταφέρνει να ενισχύσει τη συνδυαστική δράση των τεχνολογικών μέτρων, ενώ το ίδιο συμβαίνει ακόμα και αν αυξήσουμε το βαθμό της απόσυρσης. Είναι, συνεπώς, καθοριστικός ο βαθμός βελτίωσης των τεχνολογικών χαρακτηριστικών των αυτοκινήτων, η μεγιστοποίηση του οποίου, στο εφαρμοζόμενο υπολογιστικό μοντέλο, οδηγεί σε καθαρά οφέλη σε συνδυασμό με παράλληλη ανανέωση του στόλου.

Σε κάθε περίπτωση, όμως, οι όποιες θετικές συνέργειες που αφορούν στην ενεργειακή ένταση δεν καταφέρνουν να αντισταθμίσουν τις αρνητικές, με αποτέλεσμα να μειώνεται η τελική δράση του συνόλου των μέτρων. Χαρακτηριστικά, στο σενάριο ελάχιστης επίδρασης (ΣΕΕ) των μέτρων, η συνολική μείωση της μέσης σταθμισμένης ενεργειακής έντασης που επιφέρεται από το συνδυασμό όλων των μέτρων υπολογίζεται στο 8.4%, από 8.6% που δίνει το άθροισμα των αποτελεσμάτων των μεμονωμένων παρεμβάσεων, ενώ στο σενάριο μέγιστης επίδρασης (ΣΜΕ) η συνδυαστική δράση έχει τελικό όφελος 19%, από 20.4% που υπολογίζεται το άθροισμα των μεμονωμένων επιδράσεων.

Κατά κεφαλή κατοχή

Η μεταβολή της κατά κεφαλή κατοχής, O_s , περιορίζεται σε πολύ μικρό βαθμό από τη συνδυαστική δράση των παρεμβάσεων, λόγω της αρνητικής συνέργειας του αυξημένου τέλους ταξινόμησης και του κόστους των καυσίμων (Σχήμα 5.17, Πίνακες Π17-Π18). Οι δύο συγκεκριμένες παρεμβάσεις έχουν άμεση επίδραση στην κατά κεφαλή κατοχή, οπότε ακολουθούν τον κανόνα της μειωμένης απόδοσης όταν εξετάζονται συνδυαστικά.

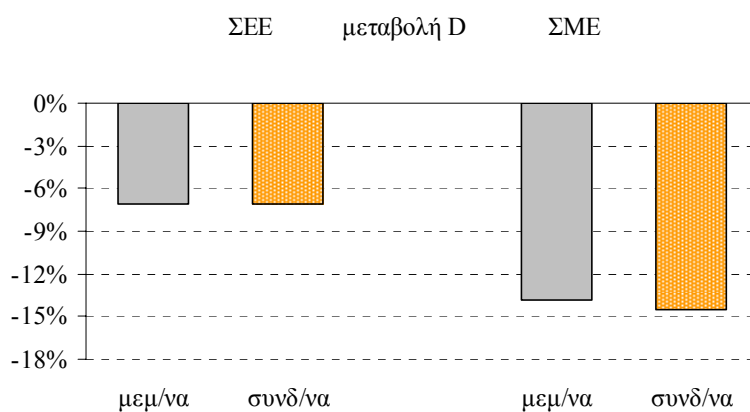


Σχήμα 5.17. Μεταβολή (%) κατά κεφαλή κατοχής (O_s) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

Μέση ετήσια διανυόμενη απόσταση και συνολικά οχηματοχιλιόμετρα

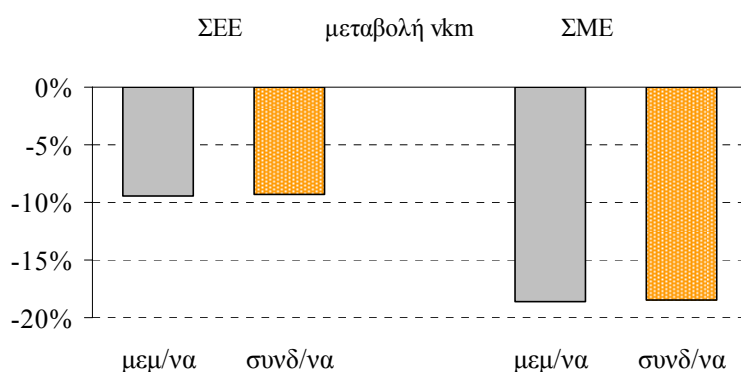
Αντιθέτως, η μείωση της μέσης διανυόμενης απόστασης μεγιστοποιείται στην περίπτωση του συνδυασμού όλων των μέτρων (Σχήμα 5.18). Παρακολουθώντας τους

‘ανά 2’ συνδυασμούς (Πίνακες Παραρτήματος Π7-Π8) συμπεραίνουμε ότι η αύξηση της αποτελεσματικότητας οφείλεται στη θετική συνέργεια της αύξησης των πετρελαιοκίνητων με τα αστικά διόδια και τα έργα υποδομής. Στους ‘ανά 2’ συνδυασμούς αυτών των μέτρων προκαλείται ανακατανομή των μεριδίων των τεσσάρων βασικών κατηγοριών αυτοκινήτων ανά καύσιμο (βενζινοκίνητων, πετρελαιοκίνητων, LPG, υβριδικά), στα οποία αντιστοιχούν διαφορετικές διανυόμενες αποστάσεις ανάλογα με το αν είναι ΙΧ ή ταξί, ενώ παράλληλα αυξάνεται το μερίδιο οχημάτων με τη μικρότερη χρήση προς όφελος της συνολικής μέσης διανυόμενης απόστασης. Το συνολικό όφελος είναι εμφανές κυρίως στο ΣΜΕ, με το σύνολο των παρεμβάσεων να επιφέρει μείωση της μέσης ετήσιας διανυόμενης απόστασης ύψους 14.5%, κατά 4% δηλαδή ενισχυμένη σε σχέση με το άθροισμα των μεμονωμένων επιδράσεων.



Σχήμα 5.18. Μεταβολή (%) μέσης διανυθείσας απόστασης (D) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

Τα συνολικά οχηματοχιλιόμετρα του στόλου των αυτοκινήτων, τα οποία διαμορφώνονται με βάση τη μέση ετήσια διανυόμενη απόσταση και τη κατά κεφαλή κατοχή (Σχήμα 5.19, Πίνακες Π9-Π10), δεν εμφανίζουν αξιόλογη μεταβολή, ως αποτέλεσμα της συνδυαστικής δράσης των μέτρων. Μία αμελητέα ουσιαστικά μείωση του δυναμικού αποδίδεται στην επικράτηση των αρνητικών συνεργειών που προκύπτουν από το συνδυασμό μέτρων που επιδρούν αμφότερα στη χρήση και τη κατά κεφαλή κατοχή των αυτοκινήτων, με αποτέλεσμα να μειώνεται το δυναμικό μείωσης των συγκεκριμένων παραμέτρων κατά την παράλληλη εφαρμογή τους.

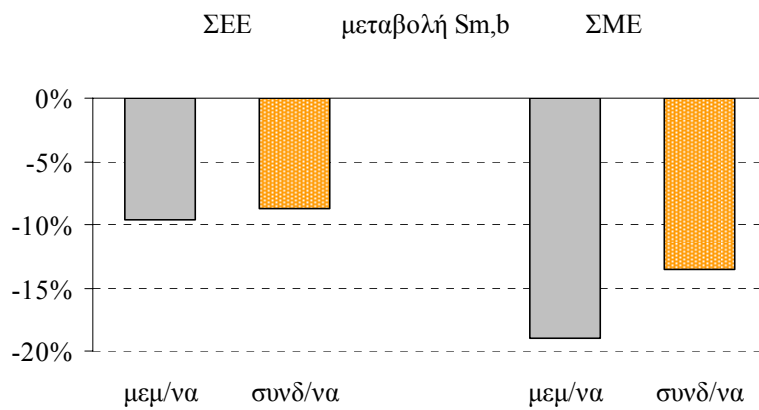


Σχήμα 5.19. Μεταβολή (%) οχηματοχιλιομέτρων (vkm) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

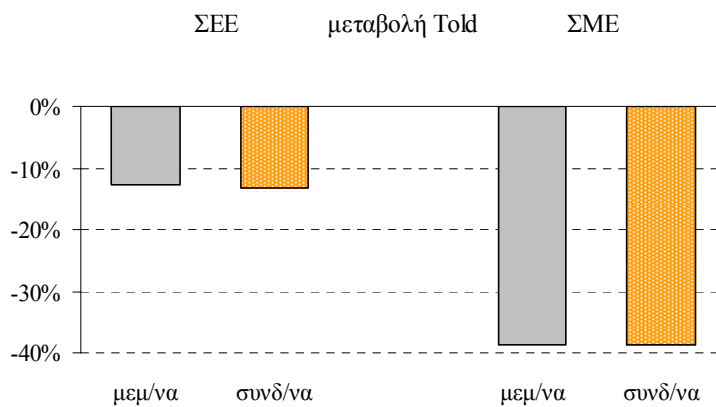
Μερίδια αυτοκινήτων μεσαίου/μεγάλου κυβισμού, παλαιάς τεχνολογίας και συμβατικού τύπου

Σε ότι αφορά το δυναμικό μείωσης του μεριδίου οχημάτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού προς όφελος των μικρών αυτοκινήτων, παρατηρείται σημαντική μείωση της αποτελεσματικότητας των συνδυασμένων μέτρων (Σχήμα 5.20). Αρνητική συνέργεια προκαλείται από τη συνδυασμένη επίδραση της άρσης περιορισμού των πετρελαιοκίνητων, η οποία επιδρά οριακά στην εξεταζόμενη παράμετρο, Sm,b, μειώνοντας την κατά 0.5% ανεξαρτήτως σεναρίου, και του περιβαλλοντικού τέλους κυκλοφορίας, το οποίο ευνοεί ιδιαιτέρως τα μικρά αυτοκίνητα (Πίνακες Π11-Π12).

Όσον αφορά στη μεταβολή του μεριδίου των αυτοκινήτων παλιάς τεχνολογίας, Told, (Σχήμα 5.21), ο συνδυασμός της αύξησης του μεριδίου των πετρελαιοκίνητων με την απόσυρση παλαιών οχημάτων πετυχαίνει περαιτέρω μείωση της παραμέτρου κατά 4% στο ΣΕΕ, ενώ μόλις στο 1% είναι το αντίστοιχο όφελος στο ΣΜΕ (Πίνακες Π13-Π14).

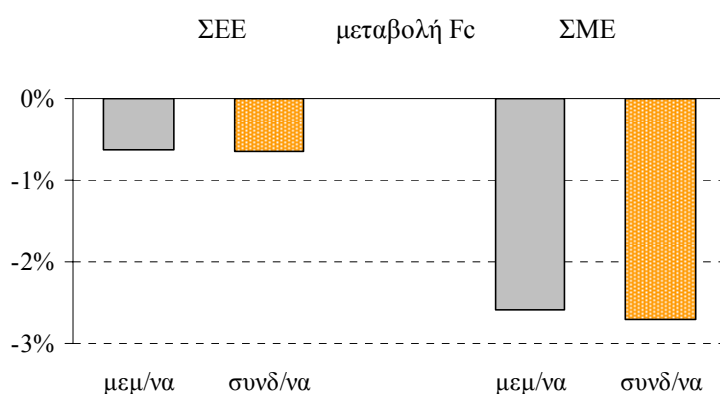


Σχήμα 5.20. Μεταβολή (%) μεριδίου μεσαίων-μεγάλων (Sm,b) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων



Σχήμα 5.21. Μεταβολή (%) μεριδίου παλαιών αυτοκινήτων (Told) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

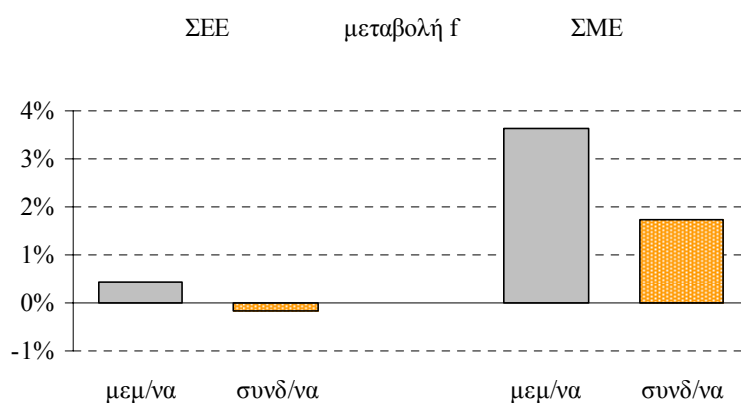
Θετικές συνέργειες περιορισμένης αποτελεσματικότητας προκύπτουν επίσης σε σχέση με τη μεταβολή του μεριδίου των συμβατικών αυτοκινήτων (Σχήμα 5.22, Πίνακες Π15-Π16). Το όφελος υπολογίζεται από 2% έως 5% και οφείλεται κυρίως στη συνδυαστική δράση του κόστους των καυσίμων με τα αστικά διόδια και το περιβαλλοντικό τέλος κυκλοφορίας.



Σχήμα 5.22. Μεταβολή (%) μεριδίου συμβατικών αυτοκινήτων (Fc) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

Μέσος συντελεστής εκπομπών CO₂

Ο μέσος συντελεστής εκπομπών CO₂ επηρεάζεται δραστικά από την αύξηση των πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται κατά 0.4% στο ΣΕΕ και 3.6% στο ΣΜΕ, όταν το μέτρο της άρσης περιορισμού της πετρελαιοκίνησης εξετάζεται μεμονωμένα.



Σχήμα 5.23. Μεταβολή (%) μέσου συντελεστή εκπομπών CO₂ (f) από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

Η αρνητική επίδραση του συγκεκριμένου μέτρου μετριαάζεται εντυπωσιακά από τη διείσδυση των βιοκαυσίμων στο ΣΜΕ, ενώ στο ΣΕΕ η συνδυαστική δράση των δύο παρεμβάσεων πετυχαίνει μείωση του συντελεστή κατά 0.2% (Σχήμα 5.23).

Μεταβολή συνολικών εκπομπών CO₂

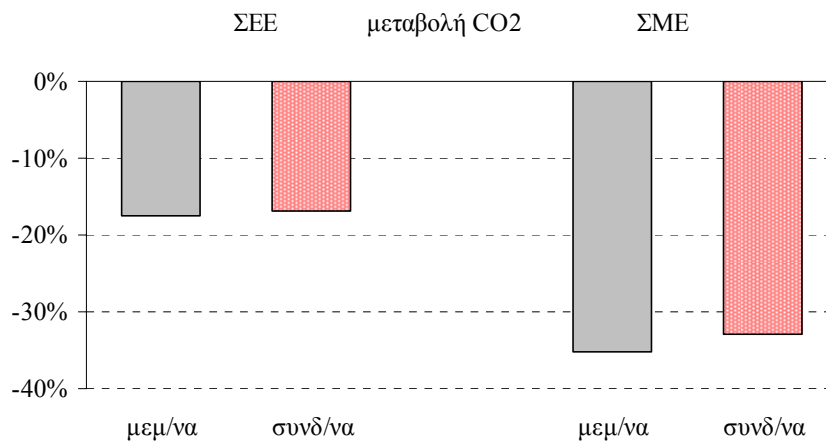
Ο Πίνακας 5.14 παρουσιάζει το ελάχιστο και μέγιστο δυναμικό του συνόλου των πολιτικών και μέτρων εφαρμοζόμενων μεμονωμένα και συνδυαστικά, ως προς τη μεταβολή των εκπομπών CO₂ από τα επίπεδα του ΣΧΔ.

Πίνακας 5.14. Μεταβολή εκπομπών CO₂ σε σχέση με το ΣΧΔ, από το σύνολο των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

Επίδραση μεμονωμένων και συνδυασμένων μέτρων	Σενάριο 'ελάχιστης επίδρασης'		Σενάριο 'μέγιστης επίδρασης'	
ΣΧΔ-2020	13,555		13,555	
Μεταβολή εκπομπών CO ₂	kt CO ₂	%	kt CO ₂	%
Σύνολο πολιτικών & μέτρων μεμονωμένων	-2,363	-17.4%	-4,765	-35.2%
Σύνολο πολιτικών & μέτρων συνδυασμένων	-2,300	-17.0%	-4,459	-32.9%

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται και διαγραμματικά στο Σχήμα 5.24. Συνολικά υπερисχύουν οι αρνητικές συνέργειες, με αποτέλεσμα το τελικό δυναμικό του συνόλου των μέτρων, ως προς τη μεταβολή των εκπομπών, κατά την παράλληλη εφαρμογή τους να διαμορφώνεται στο -17% για το σενάριο ελάχιστης επίδρασης των μέτρων, ΣΕΕ, και στο -32.9% για το σενάριο μέγιστης επίδρασης, ΣΜΕ. Πιο συγκεκριμένα, η συνδυαστική δράση του συνόλου των παρεμβάσεων αποδυναμώνεται κατά 2.7% σε σχέση με το αποτέλεσμα του άθροισματος των μεμονωμένων επιδράσεων στο ΣΕΕ και κατά 6.4% στο ΣΜΕ.

Σε μεθοδολογικό επίπεδο, είναι εμφανές ότι η εξέταση της συνδυασμένης αποτελεσματικότητας του συνόλου των παρεμβάσεων οδηγεί σε πιο συντηρητικές εκτιμήσεις, όσον αφορά στο δυναμικό περιορισμού των εκπομπών CO₂, σε σύγκριση με το άθροισμα των επιμέρους επιδράσεων από την μεμονωμένη εφαρμογή κάθε μέτρου. Επιπλέον, η απόκλιση από το άθροισμα των μεμονωμένων επιδράσεων αυξάνεται με την αύξηση του βαθμού διεύθυνσης των εξεταζόμενων παρεμβάσεων.

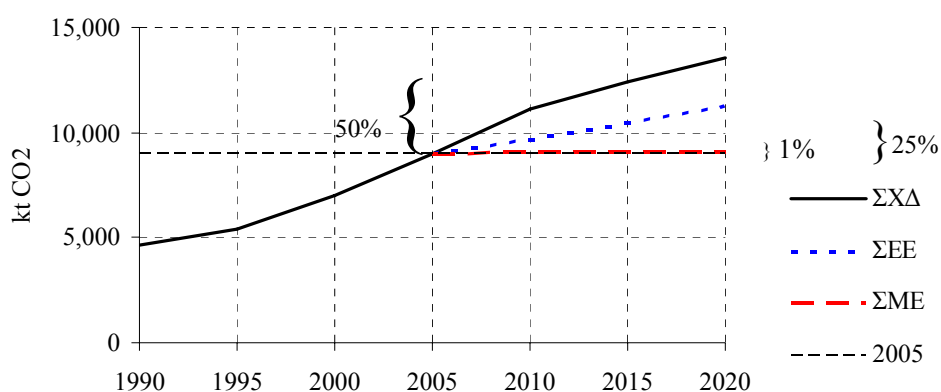


Σχήμα 5.24. Μεταβολή (%) εκπομπών CO₂ από την εφαρμογή του συνόλου των μέτρων μεμονωμένων και συνδυασμένων

Οι παράμετροι που ευθύνονται περισσότερο για τη μείωση του δυναμικού των συνδυασμένων μέτρων είναι η μέση ενεργειακή ένταση των οχημάτων, υπολογισμένη σε ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται ανά μονάδα διανυόμενης απόστασης, η κατά κεφαλή κατοχή αυτοκινήτων και το μερίδιο των οχημάτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού. Αντιθέτως, ο συνδυασμός του συνόλου των μέτρων συνεργεί υπέρ της περαιτέρω μείωσης των παραμέτρων που αφορούν στη μέση διανυόμενη απόσταση, το μερίδιο των οχημάτων με συμβατικά καύσιμα, το μέσο συντελεστή εκπομπών CO₂, υπολογισμένο σε ποσότητα εκπομπών CO₂ ανά μονάδα καταναλισκόμενου καυσίμου, και το μερίδιο των οχημάτων με νεότερες του 2005 τεχνολογικές προδιαγραφές. Οι κυριότεροι συνδυασμοί με ενισχυτική δράση περιλαμβάνουν την αύξηση της πετρελαιοκίνησης και την απόσυρση. Η μεν πρώτη σε συνδυασμό με την προώθηση των βιοκαυσίμων αναιρεί τις αρνητικές επιδόσεις που έχει ως μεμονωμένη παρέμβαση, ειδικά στο ΣΕΕ, ενώ η δεύτερη έρχεται να υποστηρίξει σημαντικά τη δράση των μέτρων τεχνολογικής φύσης που προωθεί η αυτοκινητοβιομηχανία και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Θετικές συνέργειες μικρότερης, αλλά όχι αμελητέας, σημασίας προκύπτουν στο πλαίσιο του ΣΕΕ και από το συνδυασμό της άρσης απαγόρευσης της πετρελαιοκίνησης με τα αστικά διόδια και με τα τεχνολογικά μέτρα, εφόσον όμως προωθείται παράλληλα η διείσδυση των βιοκαυσίμων. Δεν ισχύει το ίδιο όμως στο ΣΜΕ, στο οποίο η ανάλυση ευαισθησίας δείχνει ότι απαιτείται περαιτέρω αύξηση του ποσοστού βιοκαυσίμων στο σύνολο των καυσίμων που καταναλώνονται από τα αυτοκίνητα, προκειμένου να εξισορροπήσει τη μεγάλη αύξηση του μέσου συντελεστή

εκπομπών CO₂ από το αντίστοιχα πολύ αυξημένο ποσοστό των πετρελαιοκίνητων οχημάτων. Εντούτοις, στο ΣΜΕ, όπως και στο ΣΕΕ, το μέτρο της άρσης περιορισμού της πετρελαιοκίνησης έχει θετική επίδραση όταν έρχεται να συμπληρώσει το συνδυασμό του συνόλου των υπόλοιπων εξεταζόμενων μέτρων. Το ίδιο συμβαίνει και με την απόσυρση, η οποία επίσης ενισχύει, αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με την αύξηση της πετρελαιοκίνησης, τη συνδυαστική δράση του συνόλου των υπόλοιπων μέτρων.

Θα πρέπει να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο τη δέσμευση της Ελλάδας, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Απόφασης 406/2009/EC, να μειώσει μέχρι το 2020 κατά 4%, σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από τους τομείς που δεν συμμετέχουν στην Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών, όπως είναι οι μεταφορές εξαιρουμένων των αερομεταφορών, οι κατασκευές, η γεωργία και τα απόβλητα. Τα επιβατικά αυτοκίνητα είναι υπεύθυνα για ένα πολύ μεγάλο μέρος των εκπομπών από τους συγκεκριμένους τομείς. Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, επομένως, να παρατηρήσουμε την εξέλιξη των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα όπως διαμορφώνεται στο πλαίσιο των εξεταζόμενων σεναρίων (ΣΧΔ, ΣΕΕ, ΣΜΕ) με χρονικό ορίζοντα το 2020.



Σχήμα 5.25. Εξέλιξη εκπομπών CO₂ με το ΣΧΔ και τα ΣΕΕ, ΣΜΕ των συνδυασμένων μέτρων

Οι προβλέψεις με βάση τα ΣΕΕ και ΣΜΕ, όπως εμφανίζονται στο Σχήμα 5.25, αφορούν στην παράλληλη εφαρμογή όλων των μέτρων, στο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης πολιτικής για τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά

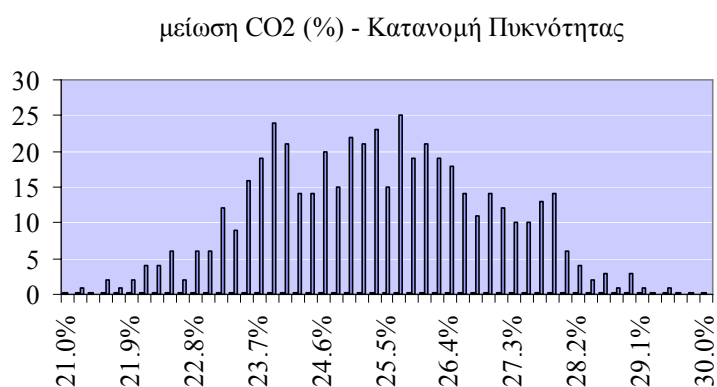
αυτοκίνητα. Υπάρχει επομένως, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προβλέψεων, μία σοβαρή δυνατότητα συγκράτησης της ανοδικής πορείας των εκπομπών από την εφαρμογή των εξεταζόμενων μέτρων. Συγκεκριμένα, ενώ το ΣΧΔ επιφέρει αύξηση των εκπομπών CO₂ ύψους 50% το 2020 σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, οι αντίστοιχες μεταβολές στα ΣΕΕ και ΣΜΕ περιορίζονται στο 25% και 1% αντίστοιχα. Στην περίπτωση μάλιστα του ΣΜΕ, τα μέτρα συνεισφέρουν σημαντικά στην επίτευξη του στόχου της Ελλάδας. Από το σύνολο των 15 εξεταζόμενων μέτρων, τα προαποφασισμένα, σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες και την εθελοντική συμβολή της αυτοκινητοβιομηχανίας, συνεισφέρουν περίπου το 1/3 του συνολικού δυναμικού μείωσης των εκπομπών CO₂, γεγονός που δείχνει ότι δεν αρκούν για να επιτευχθεί ο στόχος. Είναι, επομένως, απαραίτητη η λήψη πρόσθετων μέτρων ώστε να περικοπούν η ενεργειακή κατανάλωση και οι συνεπαγόμενες εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα, τόσο σε μεσοπρόθεσμο όσο και σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

5.3.5 Διαχείριση αβεβαιότητας

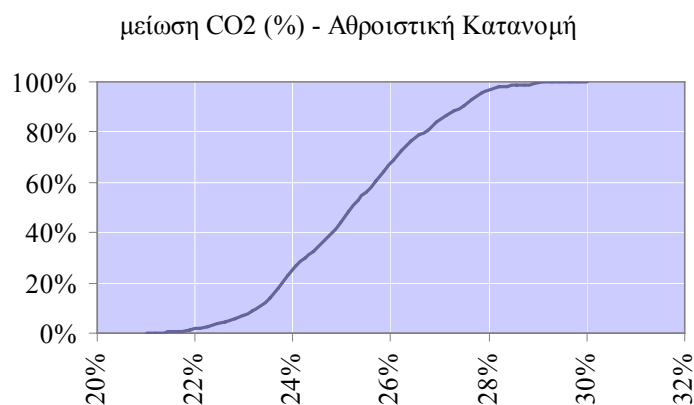
Τα αποτελέσματα του υπολογιστικού μοντέλου που προκύπτουν από το συνδυασμό όλων των μέτρων καλύπτουν ένα εύρος τιμών, λαμβάνοντας υπόψη τον ελάχιστο και μέγιστο βαθμό διείσδυσης κάθε παρέμβασης. Δεν λαμβάνεται, όμως, υπόψη η πιθανότητα οι βαθμοί διείσδυσης να παίρνουν κάποια ενδιάμεση τιμή, μεταξύ δηλαδή των δύο άκρων, με συνέπεια να μειώνεται η ακρίβεια των τελικών εκτιμήσεων. Προκειμένου να συνυπολογιστούν όλες οι πιθανότητες και να μειωθεί η αβεβαιότητα των αποτελεσμάτων, εφαρμόζεται η μεθοδολογία προσομοίωσης Monte Carlo. Συγκεκριμένα, διαμορφώνονται κατανομές πυκνότητας πιθανότητας, οι οποίες προσδιορίζουν το διάστημα στο οποίο είναι πιθανόν να βρίσκεται το δυναμικό μείωσης των εκπομπών CO₂ από το σύνολο των εξεταζόμενων μέτρων.

Τα αποτελέσματα, από την εφαρμογή της Monte Carlo μεθοδολογίας, διαμορφώνονται από 500 τυχαίες δειγματοληψίες, οι οποίες πραγματοποιούνται για δύο ειδών κατανομές, την ομοιόμορφη (uniform distribution) και την κανονική (normal distribution). Η ομοιόμορφη κατανομή χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι υπάρχει ίδια πιθανότητα για όλες τις τιμές εντός ενός διαστήματος, ενώ τα αποτελέσματά της όσον αφορά στη μείωση επί τοις εκατό των εκπομπών CO₂, σε σχέση με τα επίπεδα του ΣΧΔ το 2020, παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.26-5.27. Σύμφωνα με την ομοιόμορφη κατανομή, το δυναμικό των μέτρων περιορίζεται

στο 21%-30%, με 50% πιθανότητα να βρίσκεται μεταξύ 24% και 26% βάσει της συχνότητας εμφάνισης κάθε τιμής. Επιπροσθέτως, δεδομένου ότι η αθροιστική κατανομή δείχνει πάνω από ποια τιμή βρίσκεται το α% των παρατηρήσεων, εκτιμάται ότι η πιθανότητα το δυναμικό μείωσης των εκπομπών να ξεπεράσει το 25% είναι 50% περίπου.



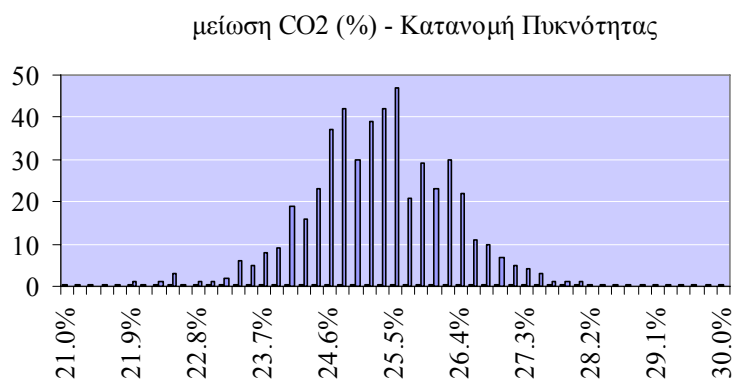
Σχήμα 5.26. Ομοιόμορφη κατανομή πυκνότητας πιθανότητας μείωσης των εκπομπών CO₂ (%)



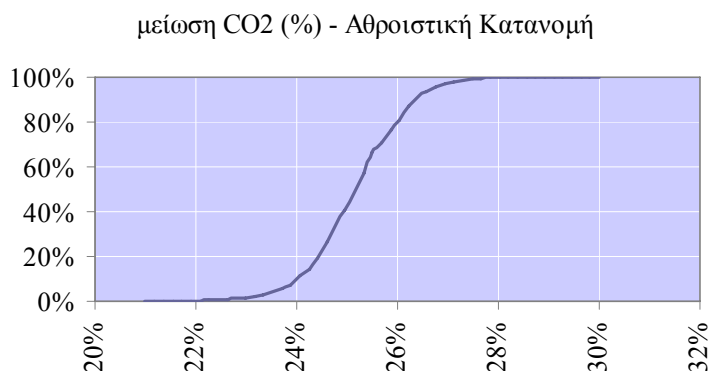
Σχήμα 5.27. Αθροιστική κατανομή ομοιόμορφης καμπύλης

Η κανονική κατανομή, γνωστή και ως κατανομή Gauss, περιορίζει επιπλέον την αβεβαιότητα, εμφανίζοντας πυκνότερη συσσώρευση γύρω από μία κεντρική τιμή. Ως

μέση τιμή των δεδομένων εισόδου ορίστηκε το μεσοδιάστημα και ως τυπική απόκλιση το 1/6 του διαστήματος. Σύμφωνα με την κανονική καμπύλη (Σχήμα 5.28), το εύρος του δυναμικού στενεύει και περιορίζεται στο 23%-28%, ενώ 70% είναι η πιθανότητα να βρίσκεται μεταξύ 24% και 26%. Η αθροιστική καμπύλη (Σχήμα 5.29) είναι πιο απότομη στην κανονική κατανομή σε σχέση με την ομοιόμορφη, ενώ το 50% των παρατηρήσεων βρίσκεται πάνω από το 25.3%.



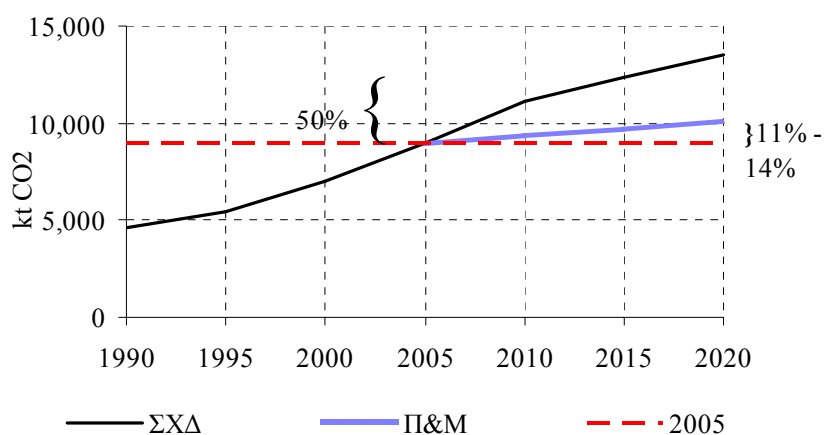
Σχήμα 5.28. Κανονική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας μείωσης των εκπομπών CO₂ (%)



Σχήμα 5.29. Αθροιστική κατανομή κανονικής καμπύλης

Δεν παρατηρείται, συνεπώς, μεγάλη απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων της ομοιόμορφης και της κανονικής κατανομής, ενώ η πιθανότερη τιμή που παίρνει το δυναμικό μείωση των εκπομπών CO₂ είναι και στις δύο περιπτώσεις 25% περίπου, αντίστοιχη δηλαδή με το μέσο όρο των εκτιμήσεων των ΣΕΕ και ΣΜΕ για το συνδυασμό του συνόλου των μέτρων. Στο Σχήμα 5.30 παρουσιάζεται η πιθανότερη

εξέλιξη των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα με βάση τις καμπύλες της Monte Carlo εφαρμογής, σε σύγκριση με την εξέλιξη που προβλέπει το ΣΧΔ. Συνεπώς, η εφαρμογή της ολοκληρωμένης πολιτικής που εξετάζεται στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, εκτιμάται ότι θα μπορούσε να συμβάλει σημαντικά στη συγκράτηση των εκπομπών και την ελεγχόμενη αύξηση αυτών κατά 11%-14% περίπου έως το 2020.



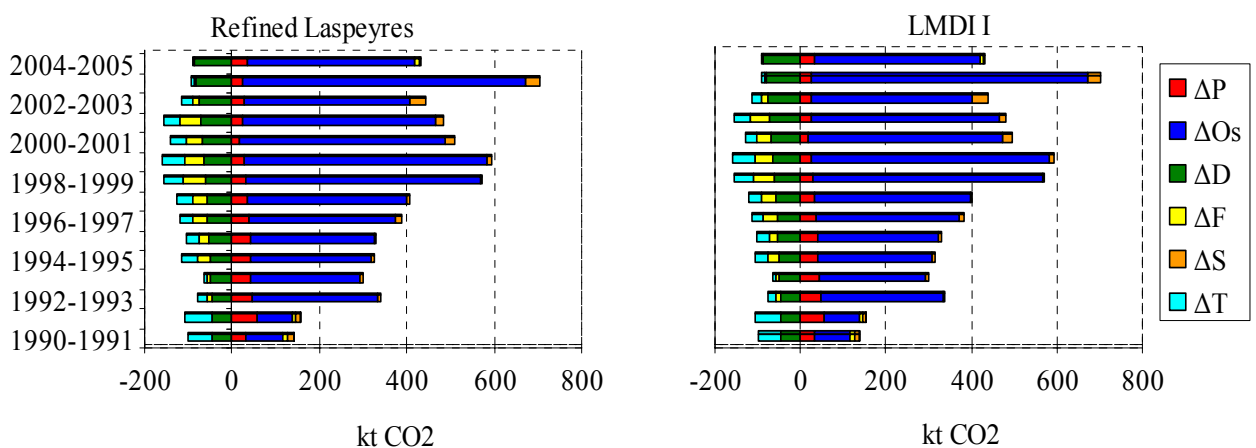
Σχήμα 5.30. Πιθανότερη εξέλιξη εκπομπών CO₂ με Monte Carlo μεθοδολογία

6. Συγκριτική θεώρηση μεθοδολογιών αποδόμησης

Η συγκριτική θεώρηση των δύο μεθοδολογιών ανάλυσης αποδόμησης, Log Mean Divisia Index I (LMDI) και Refined Laspeyres (RL), στοχεύει στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους σε συστήματα πολύπλοκα με πολλούς εξαρτημένους προσδιοριστικούς παράγοντες, όπως είναι το παρόν μοντέλο, καθώς και σε αναλύσεις μεγάλων χρονικών περιόδων σε περιπτώσεις έλλειψης στοιχείων για τα ενδιάμεσα έτη, όπως στο πλαίσιο των μελλοντικών προβλέψεων. Επιπλέον, ενισχύεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των ετήσιων μεταβολών των εκπομπών CO₂ για την περίοδο 1990-2005.

6.1 Εφαρμογή και αξιολόγηση ετήσιων αναλύσεων αποδόμησης

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της RL μεθοδολογίας για την αποδόμηση των ετήσιων μεταβολών των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1, ενώ τα αντίστοιχα αποτελέσματα από την εφαρμογή της LMDI I μεθοδολογίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4 του Κεφαλαίου 5.1.3.



Σχήμα 6.1. Σύγκριση αποδόμησης ετήσιων μεταβολών από την εφαρμογή των LMDI I και RL μεθοδολογιών

Πίνακας 6.1. Ανάλυση αποδόμησης ετήσιων μεταβολών με εφαρμογή της RL μεθοδολογίας

RL	Μεταβολή εκπομπών CO ₂ (kt)	Ανάλυση Αποδόμησης μεταβολών CO ₂ (kt CO ₂)					
		ΔP	ΔOs	ΔD	ΔF	ΔS	ΔT
1990 - 91	40	33	82	-44	12	14	-57
1991 -92	49	58	80	-44	8	11	-63
1992 - 93	263	47	288	-46	-12	5	-20
1993 - 94	236	44	250	-48	-7	7	-10
1994 - 95	209	42	277	-50	-30	6	-36
1995 - 96	225	41	283	-53	-21	5	-31
1996 - 97	270	38	337	-55	-34	13	-30
1997 - 98	280	36	365	-58	-34	6	-35
1998 - 99	419	31	536	-61	-49	6	-44
1999 - 00	435	27	557	-65	-41	12	-55
2000 - 01	367	18	469	-69	-35	22	-38
2001 - 02	327	26	441	-73	-46	16	-37
2002 - 03	327	27	379	-76	-13	36	-26
2003 - 04	611	26	646	-81	-4	31	-8
2004 - 05	340	34	385	-85	10	3	-6

Στον Πίνακα 6.2 συγκρίνονται οι σχετικές συνεισφορές (%) των προσδιοριστικών παραγόντων από την εφαρμογή των LMDI I και RL μεθοδολογιών. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή των μεθοδολογιών αποδόμησης LMDI I και RL, όπως γίνεται φανερό και στο Σχήμα 6.1, δεν αναδεικνύει σοβαρές διαφορές όσον αφορά στις σχετικές συνεισφορές των προσδιοριστικών παραγόντων στις ετήσιες μεταβολές των εκπομπών CO₂. Μόνο σε πολύ μικρό βαθμό παρατηρούνται ηπιότεροι συσχετισμοί μεταξύ των συνεισφορών που προκύπτουν από την LMDI I, χωρίς να διαφοροποιούνται ουσιαστικά οι τάσεις και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων από τις αντίστοιχες της RL εφαρμογής. Έχει, επίσης, σημασία να παρατηρήσουμε το μέγεθος

του υπολείμματος που διαχειρίζεται η RL, εφόσον σύμφωνα με την πρόσφατη βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 2.1) αποτελεί ένα από τα βασικά μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας.

Πίνακας 6.2. Σχετική συνεισφορά (%) προσδιοριστικών παραγόντων από την εφαρμογή των RL και LMDI I μεθοδολογιών

% σχετική συνεισφορά στις ετήσιες μεταβολές CO ₂	ΔP		ΔOs		ΔD		ΔF		ΔS		ΔT	
	RL	LMDI	RL	LMDI	RL	LMDI	RL	LMDI	RL	LMDI	RL	LMDI
1990 - 91	83	83	208	207	-111	-111	30	30	34	31	-144	-140
1991 - 92	117	117	162	161	-90	-89	16	16	22	20	-128	-125
1992 - 93	18	18	110	109	-17	-17	-4	-4	2	2	-7	-7
1993 - 94	19	19	106	106	-20	-20	-3	-3	3	3	-4	-4
1994 - 95	20	20	133	128	-24	-23	-14	-13	3	3	-17	-14
1995 - 96	18	18	126	126	-23	-23	-9	-9	2	2	-14	-13
1996 - 97	14	14	125	123	-20	-20	-13	-13	5	4	-11	-9
1997 - 98	13	13	130	129	-21	-20	-12	-11	2	1	-13	-11
1998 - 99	7	7	128	127	-15	-15	-12	-12	2	1	-11	-10
1999 - 00	6	6	128	128	-15	-15	-9	-9	3	3	-13	-12
2000 - 01	5	5	128	124	-19	-18	-9	-9	6	5	-10	-7
2001 - 02	8	8	135	134	-22	-22	-14	-14	5	5	-11	-11
2002 - 03	8	8	116	115	-23	-23	-4	-4	11	11	-8	-7
2003 - 04	4	4	106	105	-13	-13	-1	-1	5	5	-1	-1
2004 - 05	10	10	113	113	-25	-25	3	3	1	1	-2	-2

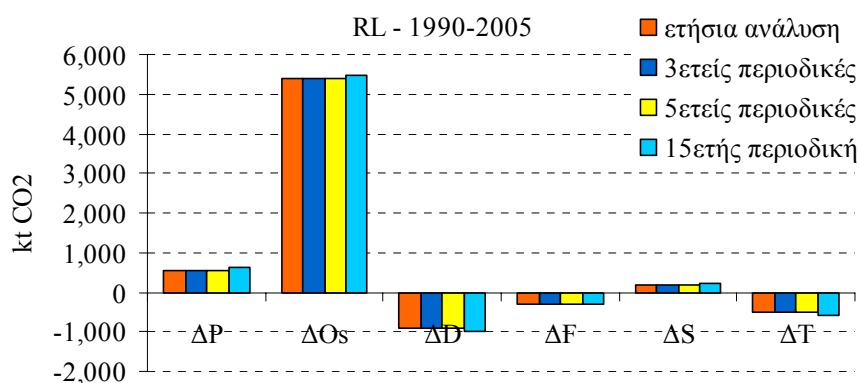
Στην προκειμένη περίπτωση, το υπόλειμμα από την αποδόμηση των ετήσιων μεταβολών κυμαίνεται από 1% έως 10%, ενώ κατά την αναγωγή στο σύνολο της 15ετίας δεν ξεπερνάει το 1.5%, με αποτέλεσμα να μην διαστρεβλώνει τη συνεισφορά των προσδιοριστικών όρων. Εντούτοις, η ύπαρξη, έστω και μικρού, υπολείμματος που καλείται να επιμερίσει η RL μεθοδολογία στους προσδιοριστικούς παράγοντες, καθώς και η πολύ μεγάλη δυσκολία στην εφαρμογή της, όπως φάνηκε στο Κεφάλαιο

4.1.2, καθιστούν την LMDI I μεθοδολογία ως τη βέλτιστη επιλογή στις αναλύσεις των ετήσιων μεταβολών.

6.2 Εφαρμογή και αξιολόγηση περιοδικών αναλύσεων αποδόμησης

Η ανάλυση αποδόμησης για μεταβολές σε μεγάλες περιόδους, σε σύγκριση με τις ετήσιες μεταβολές, συστήνεται μόνο σε περιπτώσεις έλλειψης στοιχείων για τα ενδιάμεσα έτη και, ενδεχομένως, σε αναλύσεις μελλοντικών προβλέψεων. Δεδομένου ότι ήδη στη βιβλιογραφία (Albrecht et al., 2002, Ang, 2000) έχουν εντοπιστεί αδυναμίες της περιοδικής ανάλυσης, όπως είναι το πρόβλημα της κυκλικότητας (Κεφάλαιο 2.1.5), έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να ερευνήσουμε την συμπεριφορά της, σε σύγκριση με αυτήν της ετήσιας ανάλυσης. Θα αξιολογήσουμε τις δύο βασικές εξεταζόμενες μεθοδολογίες, LMDI I και RL, προκειμένου να συνεισφέρουμε στο διάλογο που έχει προηγηθεί για την καταλληλότητα των δεικτών τους τόσο ως προς την περιοδική ανάλυση, όσο και ως προς την ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων με πολλούς αλληλεξαρτημένους παράγοντες (Ang and Liu, 2007; Albrecht et al., 2002).

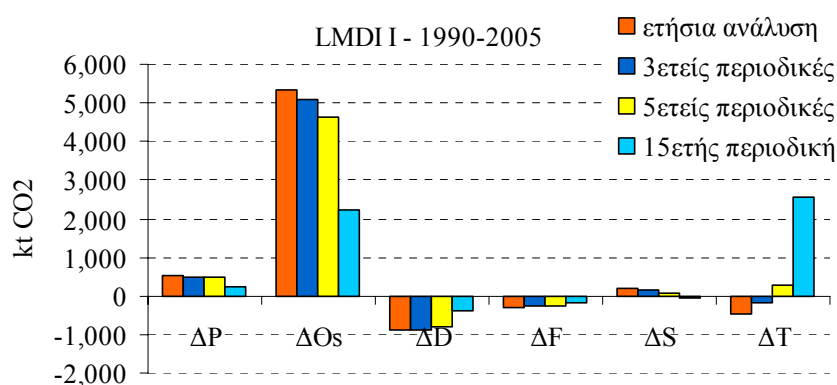
Στα Σχήματα 6.2-6.3 παρουσιάζονται οι ετήσιες και περιοδικές αποδομήσεις των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα με τις δύο μεθοδολογίες, για την 15ετία 1990-2005.



Σχήμα 6.2. Σύγκριση ετήσιας και περιοδικών αναλύσεων με εφαρμογή της RL

Επιλέχθηκαν τριών ειδών περιοδικές αναλύσεις, προκειμένου να εξεταστεί και η επίδραση του μεγέθους των εξεταζόμενων διαστημάτων στα οποία διαιρείται η 15ετία. Στις ετήσιες, 3ετείς και 5ετείς περιοδικές αναλύσεις γίνεται αναγωγή των αποτελεσμάτων στη 15ετία με απλή πρόσθεση των επιμέρους ετήσιων, 3ετών και

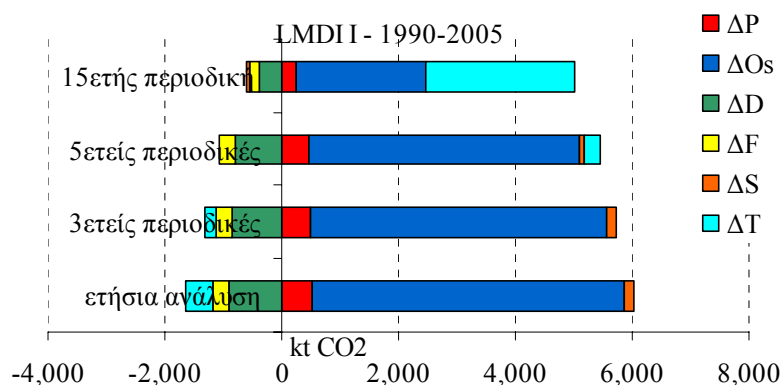
5ετών μεταβολών αντίστοιχα. Από το Σχήμα 6.2 συμπεραίνεται ξεκάθαρα ότι τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της RL μεθοδολογίας, στο συγκεκριμένο τουλάχιστον μοντέλο που εξετάζουμε, δεν εξαρτώνται από το είδος της ανάλυσης. Οι διαφορές είναι αμελητέες, ιδίως στο επίπεδο των σχετικών συνεισφορών των προσδιοριστικών παραγόντων, και ουσιαστικά μόνο τα αποτελέσματα της 15ετούς περιόδου ανάλυσης διαφοροποιούνται σε πολύ μικρό βαθμό. Αντιθέτως, στην περίπτωση της LMDI I μεθοδολογίας (Σχήμα 6.3) οι αποκλίσεις των περιόδων αναλύσεων από την ετήσια είναι εμφανείς και εντείνονται όσο μεγαλώνουν τα διαστήματα.



Σχήμα 6.3. Σύγκριση ετήσιας και περιοδικών αναλύσεων με εφαρμογή της LMDI I

Με βάση το γεγονός ότι η ετήσια ανάλυση είναι πιο ακριβής, εφόσον παρακολουθεί πιο στενά τη διαδρομή των παραμέτρων του μοντέλου μέσα στη συνολική εξεταζόμενη περίοδο, έχει σημασία να παρατηρήσουμε πώς αλλάζουν τα δεδομένα με τη διεύρυνση των διαστημάτων. Καταρχήν, αλλάζουν σε μεγάλο βαθμό οι συνεισφορές των ΔP, ΔOs, ΔD και ΔF, χωρίς όμως να μεταβάλλονται αξιοσημείωτα η κατεύθυνση και η βαρύτητα που προσδίδεται στον κάθε παράγοντα. Η σχετικότητα αυτών δηλαδή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.4, μένει σχετικά σταθερή. Έχει σημασία να υπενθυμίσουμε ότι οι μεν προσδιοριστικοί παράγοντες που σχετίζονται με τον πληθυσμό (ΔP) και την κατά κεφαλή κατοχή (ΔOs) είναι διακριτοί, δεν εξαρτώνται δηλαδή από κάποιον από τους τρεις δείκτες i,j,k που αφορούν στο είδος καυσίμου, μεγέθους και τεχνολογίας αντίστοιχα, ενώ οι παράγοντες απόσταση (ΔD) και αναλογία οχημάτων με βάση το καύσιμο (ΔF) εξαρτώνται μόνο από το δείκτη i, ο

οποίος διαμορφώνει το πρώτο επίπεδο υποκατηγοριών με βάση το καύσιμο.



Σχήμα 6.4. Σχετική συνεισφορά παραγόντων στην ετήσια και τις περιοδικές αναλύσεις με εφαρμογή της LMDI I

Σε δεύτερο επίπεδο οι υποκατηγορίες αυτές διαχωρίζονται περαιτέρω με βάση το μέγεθος (j), ενώ σε τρίτο επίπεδο γίνεται διαχωρισμός με βάση την τεχνολογία (k), όπως φαίνεται και στη γενική συνάρτηση (6.12) του μοντέλου:

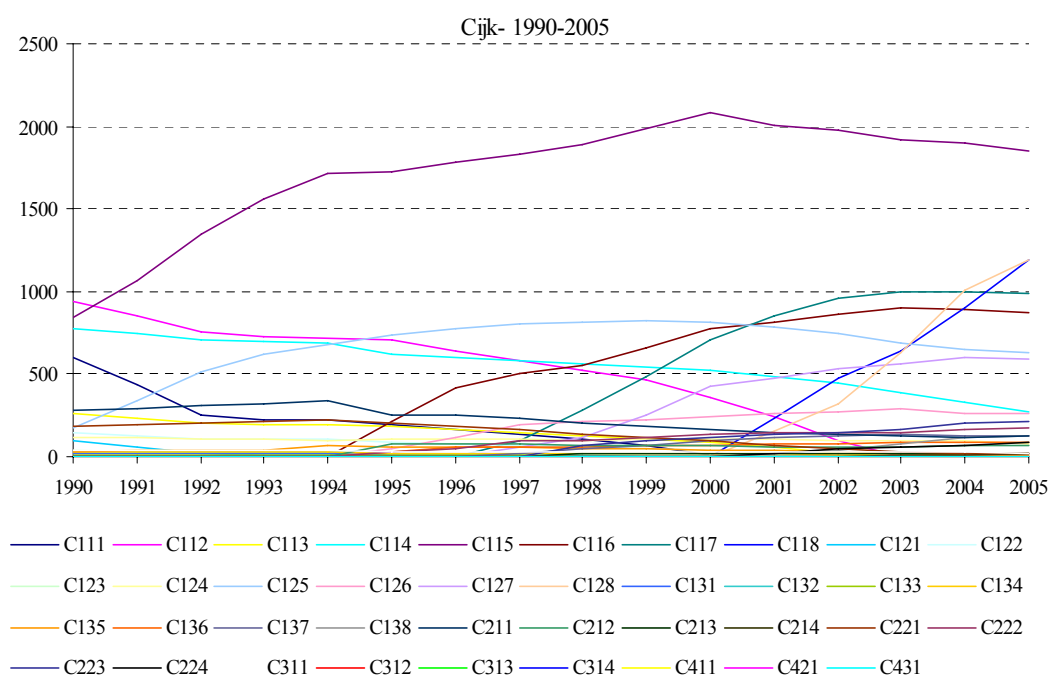
$$C = P \cdot Os \cdot \sum_i (D_i \cdot F_i \cdot f_i \cdot (\sum_j (S_{ij} \cdot \sum_k (T_{ijk} \cdot e_{ijk})))) \quad (6.12)$$

Οι προσδιοριστικοί παράγοντες που εξαρτώνται από τους δείκτες j,k, ΔS και ΔT αντίστοιχα, είναι εκείνοι που υπόκεινται σε σοβαρές μεταβολές όσο αυξάνεται η περίοδος ανάλυσης, με αποτέλεσμα σε κάποιες περιπτώσεις να αλλάζει ριζικά η αξιολόγηση της επίδρασης που ασκούν στη μεταβολή των εκπομπών CO₂. Ενώ, για παράδειγμα, η τεχνολογία στην ετήσια ανάλυση φέρεται να συνεισφέρει στη συγκράτηση της ανοδικής τάσης των εκπομπών, στη 15ετή περιοδική ανάλυση κατέχει πλέον επιβαρυντικό ρόλο και τη σοβαρότερη ευθύνη, μεταξύ των εξεταζόμενων παραγόντων, για την αύξηση των εκπομπών. Αδυνατεί, συνεπώς, η περιοδική LMDI I ανάλυση, στην προκειμένη περίπτωση, να αποτυπώσει τα οφέλη που προσέφερε μέσα στη 15ετία η ανανέωση του στόλου με αποδοτικότερες τεχνολογίες, καθώς φαίνεται να υπερισχύει η επίδραση της αύξησης, από το 1990 στο 2005, του μεριδίου νέων οχημάτων με λιγότερο αποδοτικό κινητήρα σε σχέση με κάποιους προγενέστερους. Η πολυπλοκότητα του μοντέλου στο επίπεδο της ανάλυσης των οχημάτων με βάση τους τρεις δείκτες i,j,k φαίνεται πως παίζει καθοριστικό ρόλο στην επίδραση που ασκεί το μέγεθος των εξεταζόμενων

διαστημάτων στον, πλέον εξαρτημένο από τους δείκτες, παράγοντα ΔT . Αντίστοιχα, και ο παράγοντας ΔS παρουσιάζει εντυπωσιακές μεταβολές ανάλογα με το είδος της ανάλυσης, αλλά σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τον ΔT , γεγονός που είναι πιθανόν να σχετίζεται με την εξάρτησή του από δύο μόνο δείκτες i,j . Η ευαισθησία των συναρτήσεων της LMDI I στο πλήθος και τη σειρά των δεικτών συνδέεται σαφώς με τον συντελεστή βαρύτητας, ο οποίος στηρίζεται σε κάθε περίπτωση στον υποκείμενο δείκτη και κανονικοποιείται έτσι ώστε να λύνεται το πρόβλημα της συνέπειας στη συνάθροιση των υποκατηγοριών (Κεφάλαιο 2.1). Στην προκειμένη περίπτωση των τριών δεικτών ο συντελεστής βαρύτητας της προσθετικής μεθοδολογίας LMDI I διαμορφώνεται ως εξής:

$$L(C_{i,j,k}^0, C_{i,j,k}^t) = (C_{i,j,k}^t - C_{i,j,k}^0) / \ln \left(\frac{C_{i,j,k}^t}{C_{i,j,k}^0} \right)$$

Όπου C_{ijk} οι εκπομπές CO_2 που οφείλονται στα οχήματα V_{ijk} . Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζονται αναλυτικά οι συναρτήσεις των C_{ijk} με βάση τη χρονοσειρά 1990-2005.



Σχήμα 6.5. Χρονοσειρά C_{ijk} για την περίοδο 1990-2005

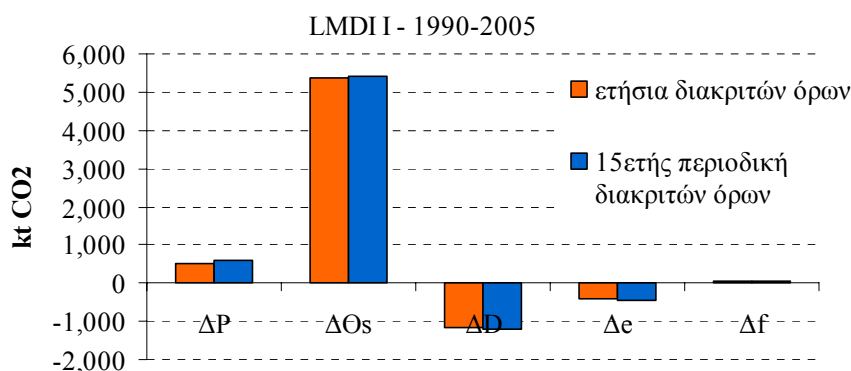
Το γεγονός ότι οι συναρτήσεις αυτές δεν είναι σε κάθε περίπτωση συνεχείς, ενώ αντιθέτως παρουσιάζουν πολλά ακρότατα και διαφοροποίηση τάσης μέσα στη 15ετία, εξηγεί την αδυναμία της LMDI I μεθοδολογίας να αποτυπώσει τις μεταβολές αυτές σε μία περιοδική ανάλυση. Η αδυναμία αυτή, τελικά, εντυπώνεται στους προσδιοριστικούς παράγοντες με τη μεγαλύτερη εξάρτηση από τις συναρτήσεις C_{ijk} , γεγονός που μπορεί εύκολα να επιβεβαιωθεί με την αναπροσαρμογή του εξεταζόμενου μοντέλου έτσι ώστε να περιλαμβάνονται μόνο διακριτοί όροι, παράμετροι δηλαδή μη εξαρτημένοι. Για το σκοπό αυτό η γενική συνάρτηση του μοντέλου μετατρέπεται στην ακόλουθη:

$$C = P \cdot Os \cdot D \cdot e \cdot f \quad (6.13)$$

Όπου D , η μέση διανυθείσα απόσταση, E η μέση ειδική κατανάλωση και EF ο μέσος συντελεστής εκπομπής για το σύνολο του στόλου των αυτοκινήτων. Οπότε η αποδόμηση της μεταβολής των εκπομπών CO_2 θα δίνεται από τη συνάρτηση (6.14):

$$\Delta C_{0-t} = \Delta P_{0-t} + \Delta Os_{0-t} + \Delta D_{0-t} + \Delta e_{0-t} + \Delta f_{0-t} \quad (6.14)$$

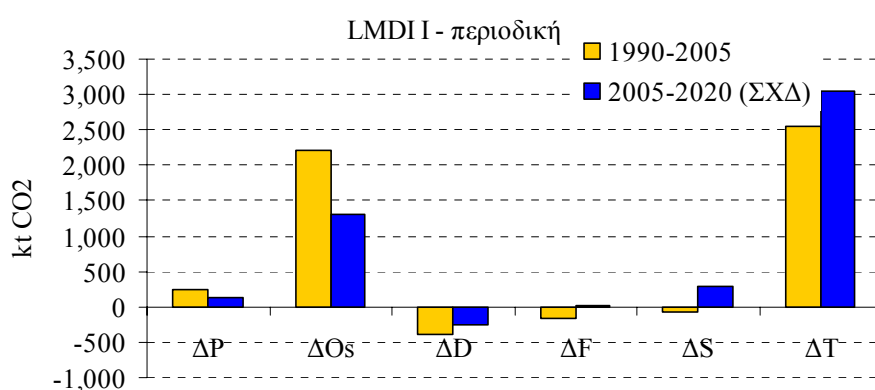
Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της LMDI I στο μοντέλο που καθορίζεται από τις συναρτήσεις (6.13)-(6.14) παρουσιάζονται στο Σχήμα 6.6, για ετήσια και 15ετή περιοδική ανάλυση. Είναι έκδηλη η ομοιομορφία των αποτελεσμάτων, χωρίς καμία ανατροπή της ερμηνείας αυτών από την εφαρμογή της 15ετούς περιοδικής ανάλυσης.



Σχήμα 6.6. Σύγκριση ετήσιας και περιοδικής ανάλυσης διακριτών προσδιοριστικών παραγόντων, με εφαρμογή της LMDI I

Ένα βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από όλα τα παραπάνω παραδείγματα είναι

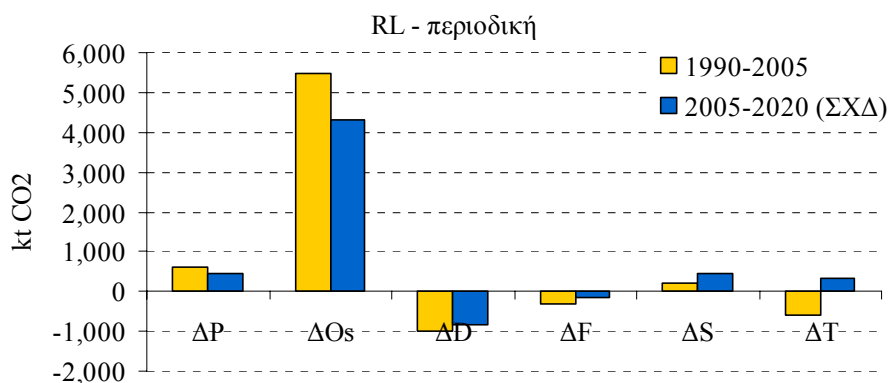
το γεγονός ότι όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα και ο βαθμός διακλάδωσης του συστήματος που αναλύεται με την LMDI I μεθοδολογία, τόσο διαφοροποιούνται τα αποτελέσματα, μεταξύ της ετήσια και της περιοδικής ανάλυσης αποδόμησης, που αφορούν στους παράγοντες με τις πιο σύνθετες διαδρομές μέσα στην εξεταζόμενη περίοδο. Επίσης στα συστήματα με μεγάλο βαθμό διακλάδωσης, όσο μεγαλώνουν τα υπό ανάλυση διαστήματα στα οποία διαιρείται η εξεταζόμενη περίοδος, τόσο αποκλίνουν τα αποτελέσματα από αυτά της πιο λεπτομερούς, σε χρονικό επίπεδο, ανάλυσης. Ένα ερώτημα, επομένως, που προκύπτει είναι αν υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης των μεθοδολογιών αποδόμησης των εκπομπών CO₂ όπως διαμορφώνονται στο πλαίσιο των προβλέψεων, οι οποίες εξακολουθούν να βασίζονται στο ίδιο υπολογιστικό μοντέλο. Στις περιπτώσεις μάλιστα των σεναρίων με δράσεις (σενάριο ελάχιστης επίδρασης, ΣΕΕ, και σενάριο μέγιστης επίδρασης, ΣΜΕ) προστίθενται στο σύνολο των προσδιοριστικών παραγόντων οι επιδράσεις της ενεργειακής έντασης (ή ειδικής κατανάλωσης), ΔΕ, και του συντελεστή εκπομπής, Δf. Δεδομένου ότι η ανάλυση των προβλέψεων είναι 15ετής περιοδική, από το 2005 έως το 2020, θεωρούμε ότι έχει νόημα μόνο μία ισομερής ανάλυση της περιόδου 1990-2020 διαιρεμένης σε δύο 15ετίες, συγκρίνοντας συνεπώς τις τάσεις των προσδιοριστικών παραγόντων μεταξύ όμοιων διαστημάτων. Στα Σχήματα 6.7 και 6.8 παραθέτουμε τα αποτελέσματα από τις περιοδικές αναλύσεις αποδόμησης των δύο 15ετιών με τις δύο εξεταζόμενες μεθοδολογίες.



Σχήμα 6.7. Ανάλυση αποδόμησης ιστορικών και προβλεπόμενων (ΣΧΔ) εκπομπών CO₂ με την περιοδική LMDI I

Η σύγκριση γίνεται με βάση το ΣΧΔ για την περίοδο 2005-2020. Κρίνοντας από την υπερβολική βαρύτητα που δίνεται στον παράγοντα ΔT από την LMDI I, η οποία

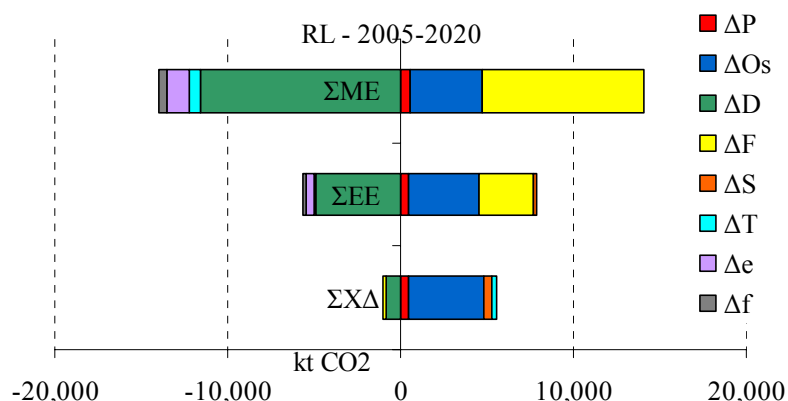
σε καμία περίπτωση δεν ανταποκρίνεται στην πραγματική διάσταση του συγκεκριμένου προσδιοριστικού παράγοντα, καθώς και στη σχετική συνεισφορά που αναμένεται να έχει στη μεταβολή των συνολικών εκπομπών, δεν συνιστάται η ανάλυση των προβλέψεων με τη Divisia μεθοδολογία εάν δεν υπάρχουν σενάρια εξέλιξης των ερμηνευτικών μεταβλητών για όλη τη χρονοσειρά της εξεταζόμενης περιόδου.



Σχήμα 6.8. Ανάλυση αποδόμησης ιστορικών και προβλεπόμενων (ΣΧΔ) εκπομπών CO₂ με την περιοδική RL

Αντιθέτως, περισσότερο συνεπής εξακολουθεί να είναι η RL όσον αφορά στην αποτύπωση της βαρύτητας και της τάσης κάθε παράγοντα. Περιορίζεται όμως η αξιοπιστία της από το, εκάστοτε, σημαντικό υπόλειμμα που καλείται να διαχειριστεί. Για παράδειγμα, η 15ετής περιοδική RL ανάλυση για την περίοδο 1990-2005, τα αποτελέσματα της οποίας ήταν σύμφωνα με τα αντίστοιχα της ετήσιας RL, παρουσιάζει υπόλειμμα μεγέθους -20% της συνολικής μεταβολής των εκπομπών CO₂ από το 1990 στο 2005, όταν της ετήσιας το υπόλειμμα δεν ξεπερνούσε το 1.5%. Το δε υπόλειμμα για την περίοδο 2005-2020, στο ΣΧΔ, ανέρχεται σε 2.4%, ενώ στο πλαίσιο των ΣΕΕ και ΣΜΕ (Σχήμα 6.9) είναι τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο, με αποτέλεσμα να απορρίπτεται συνολικά η εφαρμογή της RL στις συγκεκριμένες περιπτώσεις σύμφωνα με τις ενστάσεις των ερευνητών για το θέμα της διαχείρισης του υπολείμματος (Ang et al., 2003, Albrecht et al., 2002). Εντούτοις, η σχετική συνεισφορά των προσδιοριστικών παραγόντων, αν και διογκωμένη σε σχέση με το πραγματικό μέγεθος της μεταβολής των εκπομπών CO₂, αποτυπώνει τις βασικές παρατηρήσεις που διατυπώθηκαν στο πλαίσιο της αξιολόγησης της επίδρασης των

μέτρων στις παραμέτρους του υπολογιστικού μοντέλου (Κεφάλαιο 5).



Σχήμα 6.9. Περιοδική RL ανάλυση αποδόμησης εκπομπών CO₂ με βάση τα σενάρια προβλέψεων, για την περίοδο 2005-2020

Η εφαρμογή των δύο βασικών μεθοδολογιών αποδόμησης στο σύστημα που εξετάζεται στην παρούσα εργασία ανέδειξε σοβαρά θέματα που σχετίζονται με την ικανότητά τους να ερμηνεύουν μεταβολές σε μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ειδικά σε ότι αφορά την πιο άρτια επιστημονικά LMDI I μεθοδολογία, ένα βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα μοντέλα που αναπτύσσονται στην ανάλυση αποδόμησης μπορούν να αξιοποιηθούν για την πρόβλεψη του υπό διερεύνηση μεγέθους, αρκεί να βασίζονται σε σενάρια εξέλιξης των ερμηνευτικών μεταβλητών, έτσι ώστε να συνυπολογίζεται η διαδρομή τους μέσα στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν επιβεβαιώνουν και συμπληρώνουν ορισμένες ήδη διατυπωμένες αμφισβητήσεις της καταλληλότητας των Divisia και Laspeyres δεικτών (Albrecht et al., 2002). Συνεπώς, θεωρούμε πως έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να επαναληφθεί η διαδικασία αξιολόγησης και σε άλλα συστήματα ποικίλων βαθμών πολυπλοκότητας, έτσι ώστε να σχηματιστεί μία πιο ακριβής εικόνα της λεπτομερούς λειτουργίας των συγκεκριμένων μεθοδολογιών αποδόμησης.

7. Επίλογος

7.1 Συμπεράσματα

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες βιώσαμε στην Ελλάδα μία εντυπωσιακή αύξηση της μετακίνησης με επιβατικά αυτοκίνητα, τα οποία καλύπτουν σήμερα ένα 80% περίπου των επιβατοχιλιομέτρων που πραγματοποιούνται μέσω ξηράς (Eurostat 2010). Η υπερκατανάλωση ορυκτών καυσίμων από τα αυτοκίνητα και οι συνεπαγόμενες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αποτελούν σοβαρό κίνητρο για μία εις βάθος διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των αιτιών και του αιτιατού, καθώς και της δυνατότητας περιορισμού των αρνητικών αυτών επιπτώσεων. Παράλληλα, τίθεται το ζήτημα της μεθοδολογικής προσέγγισης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων, το οποίο εξετάζεται με κριτική διάθεση, καθώς αναπτύσσονται εναλλακτικές μέθοδοι διαχείρισης των κεντρικών θεμάτων της διατριβής.

Τα συμπεράσματα της εργασίας συνοψίζονται ως ακολούθως:

Αξιολόγηση μεθοδολογικής προσέγγισης

Σχεδιάστηκε ένα πρωτότυπο και σύνθετο υπολογιστικό μοντέλο, το οποίο δίνει τη δυνατότητα λεπτομερούς ανάλυσης ποικίλων προσδιοριστικών παραγόντων των εκπομπών CO₂ από τα αυτοκίνητα. Με βάση το μοντέλο αυτό εκτιμήθηκαν οι συνολικές εκπομπές CO₂, καθώς και η συνεισφορά κάθε προσδιοριστικού παράγοντα στη μεταβολή των συνολικών εκπομπών σε ορισμένες χρονικές περιόδους. Οι παράγοντες που ενσωματώνει το μοντέλο εκφράζουν τόσο τους καθιερωμένους δείκτες που αφορούν στην εξέλιξη της αγοράς και της χρήσης αυτοκινήτων, όπως η κατά κεφαλή κατοχή, ο πληθυσμός, η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση και η ενεργειακή ένταση, όσο και δείκτες που αναδεικνύουν τη σημασία της δομής του στόλου, όπως αυτή προσδιορίζεται από τα μερίδια των οχημάτων ανάλογα με τις τεχνολογικές προδιαγραφές, τον κυβισμό και το καύσιμο με το οποίο λειτουργεί ο κινητήρας.

Προκειμένου, επιπλέον, να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα των εξεταζόμενων πολιτικών και μέτρων, το υπολογιστικό μοντέλο προσαρμόστηκε ούτως ώστε να

αφομοιώνει σε κάθε περίπτωση τον εκάστοτε βαθμό διείσδυσης της εξεταζόμενης παρέμβασης. Με τον τρόπο αυτό, υπολογίστηκαν οι μεταβολές που επιφέρει η εφαρμογή ενός μέτρου μεμονωμένα, καθώς και συνδυασμού μέτρων, συνυπολογίζοντας τυχόν αλληλεπιδράσεις. Αναδείχθηκαν, ως εκ τούτου, οι συνέργειες των μέτρων κατά την παράλληλη προώθησή τους, με στόχο να τονιστεί η ανάγκη διερεύνησης της αποτελεσματικότητας μίας ολοκληρωμένης πολιτικής.

Ανάλυση αποδόμησης εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα για την περίοδο 1990-2005.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του υπολογιστικού μοντέλου, το οποίο διαμορφώθηκε για τις ανάγκες της ανάλυσης αποδόμησης, οι συνολικές εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα αυξήθηκαν κατά 95% την περίοδο 1990-2005, με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 4.6%. Συνεπώς, υπολογίζεται ότι αντιπροσωπεύουν το 49% περίπου των συνολικών εκπομπών από τις οδικές μεταφορές το 2005, όταν το 1990 το αντίστοιχο ποσοστό αυτό περιοριζόταν στο 39%. Τη συντριπτική ευθύνη φέρουν τα βενζινοκίνητα αυτοκίνητα, των οποίων οι εκπομπές αυξήθηκαν κατά 101%, ενώ όσον αφορά στα πετρελαιοκίνητα οι εκπομπές αυξήθηκαν κατά 56%. Με δεδομένο τον περιορισμό που τίθεται στο Πρωτόκολλο του Κιότο, για αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην Ελλάδα κατά 25% την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με το έτος βάσης 1990, αντιλαμβάνεται κανείς εύκολα ότι οι μεταφορές, και ειδικότερα τα επιβατικά αυτοκίνητα, όχι μόνο δυσχεραίνουν την επίτευξη του στόχου της χώρας, αλλά αυξάνουν επιπλέον το βάρος που καλούνται να επωμιστούν οι υπόλοιποι τομείς.

Η ανάλυση αποδόμησης πραγματοποιήθηκε με δύο σύγχρονες μεθοδολογίες, ενώ συμπεριέλαβε ένα μεγάλο εύρος προσδιοριστικών παραγόντων που σχετίζονται με τις εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα. Καθοριστικός παράγοντας της ανοδικής τάσης των μεταβολών αναδείχθηκε η αξιοσημείωτη αύξηση της κατά κεφαλή κατοχής αυτοκινήτων, η επίδραση της οποίας αυξάνεται με το χρόνο. Σε ό,τι αφορά το μέγεθος του κινητήρα, το ποσοστό των αυτοκινήτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού αυξάνεται σταδιακά, επηρεάζοντας ανάλογα την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές CO₂. Η σχετική συνεισφορά του συγκεκριμένου προσδιοριστικού παράγοντα παραμένει σε όλη την περίοδο σε χαμηλά επίπεδα, ενώ το ποσοστό των μικρού κυβισμού αυτοκινήτων εξακολουθεί το 2005 να υπερτερεί των μεγαλύτερου μεγέθους. Υπάρχει, επομένως, ακόμα μεγάλο περιθώριο μελλοντικής αύξησης της

επίδρασης του συγκεκριμένου παράγοντα. Ο παράγοντας της τεχνολογίας συμβάλλει στη συγκράτηση των εκπομπών στο σύνολο της εξεταζόμενης περιόδου, ενώ αισθητή είναι η εξασθένιση της συνεισφοράς της από το 2000 κι έπειτα, γεγονός που οφείλεται στην καθυστέρηση της ανανέωσης του στόλου, καθώς και στις εξελίξεις των τεχνολογικών προδιαγραφών. Η επίδραση του μίγματος καυσίμων λειτουργεί επίσης ως φρένο στην αύξηση των εκπομπών CO₂ στο σύνολο της εξεταζόμενης περιόδου, ενώ εξαρτάται από την ισορροπία μεταξύ της έντασης εκπομπών και των διανυόμενων αποστάσεων που αντιστοιχούν στα βενζινοκίνητα και τα πετρελαιοκίνητα οχήματα. Τέλος, η μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση, η οποία εκ του συνόλου των εξεταζόμενων προσδιοριστικών παραγόντων χαρακτηρίζεται με τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα, εκτιμάται ότι μειώνεται ως συνάρτηση της ραγδαίας αύξησης της κατά κεφαλή ιδιοκτησίας. Η επίδραση της μέσης απόστασης είναι επομένως αναμενόμενα καθοριστική στον περιορισμό της ανοδικής τάσης των εκπομπών, αντισταθμίζοντας σε ένα βαθμό την επιβάρυνση που προκαλεί η αύξηση της κατά κεφαλή κατοχής.

Με βάση το υπολογιστικό μοντέλο εξετάστηκε και η εξέλιξη της μέσης σταθμισμένης ενεργειακής έντασης των αυτοκινήτων, υπό τη μορφή ενεργειακής κατανάλωσης ανά μονάδα διανυόμενης απόστασης. Η τάση της είναι πτωτική, γεγονός που οφείλεται στην τεχνολογική ανανέωση των βενζινοκίνητων αυτοκινήτων, καθώς και στη συγκρατημένη αύξηση του μεριδίου των μεσαίου και μεγάλου κυβισμού οχημάτων. Παρατηρούμε ότι η πτώση είναι ιδιαίτερα οξεία στην αρχή της περιόδου, γεγονός που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στα κίνητρα που δόθηκαν από την πολιτεία, με πολύ θετική ανταπόκριση, για απόσυρση των παλαιάς τεχνολογίας οχημάτων. Η πτωτική πορεία συνεχίζεται πιο συντηρητικά, οδηγώντας σε σχετική σταθεροποίηση του μεγέθους την τελευταία πενταετία, η οποία συνδέεται με την καθυστέρηση ανανέωσης των μικρού κυβισμού οχημάτων, την αισθητή πλέον αύξηση του μεριδίου των μεσαίου κυβισμού οχημάτων και την εξαίρεση ορισμένων νέο-εισερχόμενων τεχνολογικών προδιαγραφών από τον κανόνα της βελτιωμένης απόδοσης, σύμφωνα με τα στοιχεία της βάσης δεδομένων COPERT IV.

Πρόβλεψη εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα για το 2020 – Σενάριο Χωρίς Δράσεις.

Σύμφωνα με το Σενάριο Χωρίς Δράσεις (ΣΧΔ), οι εκπομπές CO₂ αυξάνονται κατά 50% σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, φτάνοντας τους 13,555 kt το 2020. Οι μέσοι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής για τις παραμέτρους που αφορούν στην κατά κεφαλή κατοχή, τον πληθυσμό, το συνολικό πλήθος των επιβατικών αυτοκινήτων και τη μέση ετήσια διανυθείσα απόσταση ανά αυτοκίνητο είναι εμφανώς ηπιότεροι για την περίοδο 2005-2020, σε σύγκριση με την παρελθούσα περίοδο 1990-2005. Όσον αφορά στη μέση ενεργειακή ένταση του στόλου, παρατηρείται στροφή της τάσης από πτωτική σε ανοδική, γεγονός που οφείλεται στις αυξημένες ειδικές καταναλώσεις των νέων βενζινοκινητήρων, καθώς και στην αύξηση του ποσοστού των αυτοκινήτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού, τα οποία υπερτερούν για πρώτη φορά των μικρού κυβισμού αυτοκινήτων. Τέλος, τα ποσοστά των οχημάτων με κινητήρα προδιαγραφών παλαιότερων του 2005 δείχνουν μία σχετική υστέρηση στην ανανέωση του στόλου, ενώ εκτιμάται ότι το 2020 το 15% των αυτοκινήτων θα είναι ηλικίας τουλάχιστον 15 ετών.

Κατά το σχεδιασμό των προβλέψεων δεν λήφθηκε υπόψη η σοβαρή οικονομική κρίση που ξέσπασε στην Ελλάδα, συνέπεια της οποίας ήταν η απότομη πτώση της αγοράς και της χρήσης των αυτοκινήτων. Η ερμηνεία, άλλωστε, τόσο πρόσφατων και υπό εξέλιξη συνθηκών δεν αποτελεί ζητούμενο της παρούσας εργασίας, η οποία πραγματεύεται κυρίως τη μεθοδολογική προσέγγιση του θέματος.

Αξιολόγηση αποτελεσματικότητας πολιτικών και μέτρων.

Οι 15 εξεταζόμενες παρεμβάσεις, στο πλαίσιο της ανάλυσης της αποτελεσματικότητας πολιτικών και μέτρων με στόχο τη συγκράτηση των εκπομπών CO₂ έως το 2020, έχουν ως κεντρικές κατευθύνσεις την επίδραση στα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου και του στόλου συνολικά, στη συμπεριφορά των οδηγών-καταναλωτών και στο μίγμα των καυσίμων. Διακρίνονται δε δύο σενάρια, ελάχιστου και μέγιστου βαθμού διείσδυσης, και συνεπώς επίδρασης, των παρεμβάσεων. Η ανάλυση εστιάζει στην αποτίμηση της επίδρασης κάθε μέτρου εφαρμοζόμενου μεμονωμένα, καθώς και στο συνδυασμό των πολιτικών και μέτρων, εξετάζοντας τόσο τους 'ανά 2' συνδυασμούς, με στόχο τη λεπτομερή παρατήρηση

και ανάδειξη των σημαντικών συνεργειών, όσο και την παράλληλη εφαρμογή του συνόλου των παρεμβάσεων.

Κατά τη διαχείριση των παρεμβάσεων ως μεμονωμένων περιπτώσεων παρατηρούμε ότι οι συνολικές εκπομπές CO₂ και οι προσδιοριστικές παράμετροι επηρεάζονται θετικά από τις πολιτικές και τα μέτρα, με δύο εξαιρέσεις. Συγκεκριμένα, η απόσυρση προκαλεί οριακή αύξηση της ενεργειακής έντασης. Παρόλο που το μερίδιο των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας μειώνεται σημαντικά, οι πολύ υψηλές ειδικές καταναλώσεις ορισμένων νεο-εισερχόμενων οχημάτων δεν επιτρέπουν στην ανανέωση του στόλου να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα. Αναλόγως επηρεάζονται και οι συνολικές εκπομπές CO₂, οι οποίες παρουσιάζουν οριακή επίσης αύξηση σε σχέση με τα επίπεδα του ΣΧΔ. Επιπροσθέτως, το μέτρο της άρσης περιορισμού των πετρελαιοκίνητων οχημάτων βελτιώνει σημαντικά τη μέση ενεργειακή ένταση του στόλου, εφόσον αυξάνονται τα μερίδια των μετά-2005 και μικρού κυβισμού πετρελαιοκίνητων χαμηλής ειδικής κατανάλωσης, αλλά επιφέρει αύξηση των τελικών εκπομπών CO₂ που σχετίζεται με το υψηλό ποσοστό μεγάλου κυβισμού οχημάτων στα πρόσθετα πετρελαιοκίνητα, σύμφωνα με τις παραδοχές των σεναρίων ελάχιστης και μέγιστης επίδρασης. Η ανάλυση ευαισθησίας έδειξε ότι το μερίδιο των μεγάλων πρόσθετων πετρελαιοκίνητων δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 25% προκειμένου να αντισταθμιστεί η επιδείνωση των εκπομπών από την εφαρμογή του συγκεκριμένου μέτρου.

Κατά την εφαρμογή των παρεμβάσεων συνδυασμένων 'ανά 2' παρατηρούνται ως επί το πλείστον αρνητικές συνέργειες, μείωση δηλαδή της αποτελεσματικότητας του ζεύγους σε σύγκριση με το άθροισμα των επιμέρους επιδράσεων που ασκούν οι αντίστοιχες παρεμβάσεις ως μεμονωμένες περιπτώσεις. Υπάρχουν όμως και ορισμένα παραδείγματα ενίσχυσης της αποτελεσματικότητας ενός ζεύγους. Τη σπουδαιότερη θετική συνέργεια παρουσιάζουν τα δύο μέτρα που επιδρούν άμεσα στο μίγμα καυσίμων, η άρση απαγόρευσης των πετρελαιοκίνητων στις πόλεις και η προώθηση των βιοκαυσίμων. Το τελευταίο επιδρά σημαντικά στη βελτίωση του μέσου συντελεστή εκπομπής CO₂ των πετρελαιοκίνητων, στην αύξηση του μεριδίου των οποίων προσδίδεται επομένως μεγάλο πλεονέκτημα. Θετικές συνέργειες, μικρότερης όμως σημασίας, καταγράφονται σε όλους τους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν την απόσυρση, εκ των οποίων οι σημαντικότερες συμπεριλαμβάνουν τις τεχνολογικές

παρεμβάσεις της αυτοκινητοβιομηχανίας για τη βελτίωση της ειδικής κατανάλωσης των οχημάτων, την προώθηση της οικολογικής οδήγησης και τη μείωση του ορίου ταχύτητας.

Συνολικά υπερεισχύουν οι αρνητικές συνέργειες, με αποτέλεσμα το τελικό δυναμικό του συνόλου των μέτρων, ως προς τη μεταβολή των εκπομπών, κατά την παράλληλη εφαρμογή τους να διαμορφώνεται στο -17% για το σενάριο ελάχιστης επίδρασης των μέτρων, ΣΕΕ, και στο -32.9% για το σενάριο μέγιστης επίδρασης, ΣΜΕ. Σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, το ΣΧΔ επιφέρει αύξηση των εκπομπών ύψους 50% το 2020, ενώ οι αντίστοιχες μεταβολές από τα ΣΕΕ και ΣΜΕ περιορίζονται στο 25% και 1% αντίστοιχα. Στην περίπτωση μάλιστα του ΣΜΕ, τα μέτρα συνεισφέρουν σημαντικά στην επίτευξη του στόχου της Ελλάδας, στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Απόφασης 406/2009/EC, να μειώσει μέχρι το 2020 κατά 4%, σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από τους τομείς που δεν συμμετέχουν στην Εμπορία Δικαιωμάτων Εκπομπών, όπως είναι οι μεταφορές εξαιρουμένων των αερομεταφορών, οι κατασκευές, η γεωργία και τα απόβλητα. Από το σύνολο των 15 εξεταζόμενων μέτρων, τα προαποφασισμένα, σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες και την εθελοντική συμβολή της αυτοκινητοβιομηχανίας, συνεισφέρουν περίπου το 1/3 του συνολικού δυναμικού μείωσης των εκπομπών CO₂, γεγονός που δείχνει ότι δεν αρκούν για να επιτευχθεί ο στόχος της χώρας. Είναι, επομένως, απαραίτητη η λήψη πρόσθετων μέτρων ώστε να περικοπούν η ενεργειακή κατανάλωση και οι συνεπαγόμενες εκπομπές CO₂ από τα αυτοκίνητα, τόσο σε μεσοπρόθεσμο όσο και σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

Η εφαρμογή, επιπλέον, της Monte Carlo προσομοίωσης για τη διαχείριση της αβεβαιότητας, η οποία σχετίζεται με το εύρος του βαθμού διείσδυσης των εξεταζόμενων παρεμβάσεων, δείχνει ως πιθανότερη εξέλιξη των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα, για το 2020, την ελεγχόμενη αύξηση αυτών κατά 11%-14% σε σχέση με τα επίπεδα του 2005, ως αποτέλεσμα της παράλληλης εφαρμογής του συνόλου των πολιτικών και μέτρων.

Συγκριτική θεώρηση των βασικών μεθοδολογιών ανάλυσης αποδόμησης.

Η συγκριτική αξιολόγηση περιορίστηκε στις δύο πλέον καθιερωμένες μεθοδολογίες,

τη Log Mean Divisia Index I (LMDI I) και τη Refined Laspeyres Index (RL).

Όσον αφορά στην περίοδο 1990-2005, η εφαρμογή των δύο μεθοδολογιών στις ετήσιες μεταβολές των εκπομπών CO₂ από τα επιβατικά αυτοκίνητα κατέληξε σε κοινά συμπεράσματα, με αμελητέες διαφορές σε ότι αφορά τις συνεισφορές των προσδιοριστικών παραγόντων. Στην περίπτωση της RL, το διαχειριζόμενο υπόλειμμα που προκύπτει από τους συνδυασμούς των επιδράσεων των προσδιοριστικών παραγόντων είναι ελεγχόμενο, με αποτέλεσμα να μην πλήττει την αξιοπιστία της μεθόδου.

Οι περιοδικές αναλύσεις αποδόμησης της περιόδου 1990-2005, αντιθέτως, αναδεικνύουν σοβαρά θέματα αξιοπιστίας των μεθοδολογιών σε ότι αφορά την εφαρμογή τους σε πολύπλοκα μοντέλα, πολλά από τα οποία έχουν ήδη επισημανθεί σε θεωρητικό επίπεδο στην πρόσφατη βιβλιογραφία. Στην περίπτωση της LMDI I μεθοδολογίας, οι αποκλίσεις των περιοδικών αναλύσεων από την ετήσια είναι σημαντικές και εντείνονται όσο μεγαλώνουν τα εξεταζόμενα διαστήματα, ενώ στην RL μεθοδολογία το υπόλειμμα που καλείται να επιμεριστεί στους προσδιοριστικούς παράγοντες είναι αποτρεπτικά μεγάλο. Ειδικά σε ότι αφορά την πιο άρτια επιστημονικά LMDI I μεθοδολογία, οι περιοδικές αναλύσεις, σε αντίθεση με τις ετήσιες, αδυνατούν να παρακολουθήσουν τις διαδρομές των πολλαπλά εξαρτημένων παραμέτρων μέσα στη συνολική περίοδο, ενώ ένα βασικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι τα μοντέλα που αναπτύσσονται στην ανάλυση αποδόμησης μπορούν να αξιοποιηθούν για την πρόβλεψη του υπό διερεύνηση μεγέθους, αρκεί να βασίζονται σε σενάρια εξέλιξης των ερμηνευτικών μεταβλητών, έτσι ώστε να συνυπολογίζεται η διαδρομή τους μέσα στην εξεταζόμενη χρονική περίοδο.

7.2 Συστάσεις για μελλοντική έρευνα

- Η διαδικασία διαμόρφωσης του υπολογιστικού μοντέλου περιορίζεται από την αβεβαιότητα των δεδομένων, η οποία συνδέεται με την ανεπάρκεια σχετικών στατιστικών βάσεων. Θεωρούμε, επομένως, σημαντική την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου και ενιαίου συστήματος καταγραφής των στατιστικών στοιχείων που αφορούν στις μεταφορές, με έμφαση στο μεταφορικό έργο (επιβατοχιλιόμετρα) και τη μετακίνηση (οχηματοχιλιόμετρα) ανά κατηγορία.

- Με την αύξηση της διαθεσιμότητας αναλυτικών στατιστικών στοιχείων, θα είναι δυνατόν να διαμορφωθούν αντίστοιχα υπολογιστικά μοντέλα που θα συμπεριλαμβάνουν εναλλακτικά τις παραμέτρους του βάρους και του μεταφορικού έργου, καθώς και πρόσθετες κατηγορίες οχημάτων εναλλακτικών καυσίμων. Επίσης, το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί εξετάζοντας και τις υπόλοιπες κατηγορίες επιβατικών μεταφορικών μέσων, όπως τα δίκυκλα και τα δημόσια μέσα μεταφοράς.
- Στο πλαίσιο της ανάλυσης των σεναρίων με πολιτικές και μέτρα, θεωρούμε πως υπάρχει χώρος για επιπλέον έρευνα, ειδικά όσον αφορά στην ελαστικότητα των φορολογικών συστημάτων σε σχέση με την κατά κεφαλή κατοχή και τη χρήση των αυτοκινήτων, καθώς και την πραγματική δυνατότητα αύξησης του μεταφορικού έργου των δημόσιων μέσων μεταφοράς.
- Στην παρούσα διατριβή εξετάζεται μόνο η περιβαλλοντική διάσταση του ζητήματος και συγκεκριμένα οι εκπομπές CO₂. Ωστόσο, η αξιολόγηση επιπλέον του κόστους-οφέλους των πολιτικών και μέτρων που στοχεύουν στον περιορισμό του περιβαλλοντικού προβλήματος θα προσθέσει αξία και δυνατότητα πρακτικής εφαρμογής του μοντέλου για τη λήψη πολιτικών αποφάσεων.
- Όσον αφορά στις εφαρμοζόμενες μεθοδολογίες αποδόμησης Refined Laspeyres και LMDI I, θεωρούμε πως πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω το θεωρητικό τους υπόβαθρο και πιο συγκεκριμένα η ευαισθησία τους στην αλληλεπίδραση και τη διάταξη των παραμέτρων, λαμβάνοντας υπόψη τις αδυναμίες που προέκυψαν στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, προκειμένου να διαμορφωθεί μία σαφέστερη άποψη για τα όρια των δυνατοτήτων τους.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π1. Μεταβολή (%) παραμέτρων από τα επίπεδα του ΣΧΔ για το 2020-ΣΕΕ

‘ΣΕΕ’ – μεταβολή από ΣΧΔ (%)	Os	E	D	vkm	F _c	S _{m,b}	T _{old}	f
Μονάδες	V/1000 P	l/100km	km/V	10 ⁹ km	Μερίδιο %	Μερίδιο %	Μερίδιο %	kg CO ₂ /l
ΣΧΔ	576	8.0	11,308	75	98.5	53.2	14.9	2.24
<i>Π1-επίδραση στα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου</i>								
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα		-2.6%						
Αεροδυναμικός σχεδιασμός		-0.5%						
Μείωση βάρους		-1.1%						
Σήμανση ελαστικών		-0.5%						
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών		-0.5%						
Απόσυρση		0.1%					-7.5%	
<i>Π2-επίδραση στη συμπεριφορά των οδηγών</i>								
Προώθηση οικολογικής οδήγησης		-1.0%						
Μείωση ορίου ταχύτητας		-0.6%						
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-0.7%			-0.7%	0.0%			
Αύξηση κόστους καυσίμου	-1.6%		-1.1%	-2.7%	0.0%			
Αστικά διόδια		0.0%	-0.9%	-0.9%	-0.1%		-0.1%	
Έργα υποδομής			-5.1%	-5.1%				
<i>Π3-επίδραση στο μίγμα καυσίμων</i>								
Προώθηση βιοκαυσίμων								-0.8%
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂		-1.0%			-0.5%	-9.2%	-0.5%	
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων		-0.8%				-0.5%	-4.6%	1.3%

Πίνακας Π2. Μεταβολή (%) παραμέτρων από τα επίπεδα του ΣΧΔ για το 2020 - ΣΜΕ

‘ΣΜΕ’ – μεταβολή από ΣΧΔ (%)	Os	E	D	vkm	F _c	S _{m,b}	T _{old}	f
Μονάδες	V/1000 P	l/100km	km/V	10 ⁹ km	Μερίδιο %	Μερίδιο %	Μερίδιο %	kg CO ₂ /l
ΣΧΔ	576	8.0	11,308	75	98.5	53.2	14.9	2.24
<i>Π1-επίδραση στα χαρακτηριστικά του αυτοκινήτου</i>								
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα		-4.4%						
Αεροδυναμικός σχεδιασμός		-2.1%						
Μείωση βάρους		-3.1%						
Σήμανση ελαστικών		-1.3%						
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών		-1.3%						
Απόσυρση		0.2%					-17.4%	
<i>Π2-επίδραση στη συμπεριφορά των οδηγών</i>								
Προώθηση οικολογικής οδήγησης		-2.5%						
Μείωση ορίου ταχύτητας		-1.2%						
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-1.4%			-1.4%	0.0%			
Αύξηση κόστους καυσίμου	-3.3%		-2.2%	-5.4%	-0.1%		-0.1%	
Αστικά διόδια		-0.2%	-1.8%	-1.8%	-0.7%		-0.7%	
Έργα υποδομής			-9.9%	-9.9%				
<i>Π3-επίδραση στο μίγμα καυσίμων</i>								
Προώθηση βιοκαυσίμων								-1.63%
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂		-2.2%	0.1%		-1.8%	-18.5%	-1.8%	
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων		-2.3%				-0.5%	-18.8%	5.27%

Πίνακας Π3. Μεταβολή (%) CO₂ από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ

Συνέργειες (%)	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	-2.59	-3.09	-3.68	-3.08	-3.08	-2.57	-3.58	-3.17	-3.29	-5.26	-3.50	-7.49	-3.38	-3.48	-2.17
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	-3.11	-0.52	-1.64	-1.02	-1.02	-0.46	-1.52	-1.11	-1.24	-3.24	-1.44	-5.53	-1.32	-1.42	-0.05
Μείωση βάρους	-3.72	-1.64	-1.12	-1.62	-1.62	-1.08	-2.12	-1.71	-1.84	-3.83	-2.04	-6.10	-1.92	-2.02	-0.67
Σήμανση ελαστικών	-3.10	-1.02	-1.63	-0.51	-1.01	-0.45	-1.51	-1.10	-1.22	-3.23	-1.43	-5.51	-1.31	-1.40	-0.03
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	-3.10	-1.02	-1.63	-1.01	-0.51	-0.45	-1.51	-1.10	-1.22	-3.23	-1.43	-5.51	-1.31	-1.40	-0.03
Απόσυρση	-2.53	-0.46	-1.06	-0.44	-0.44	0.06	-0.95	-0.54	-0.66	-2.67	-0.86	-4.98	-0.75	-0.84	0.53
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	-3.60	-1.53	-2.13	-1.52	-1.52	-0.95	-1.01	-1.60	-1.73	-3.72	-1.93	-5.99	-1.81	-1.91	-0.54
Μείωση ορίου ταχύτητας	-3.19	-1.12	-1.72	-1.10	-1.10	-0.54	-1.61	-0.60	-1.31	-3.31	-1.52	-5.60	-1.40	-1.50	-0.13
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-3.31	-1.24	-1.84	-1.23	-1.23	-0.66	-1.73	-1.32	-0.72	-3.44	-1.64	-5.72	-1.52	-1.62	-0.21
Αύξηση κόστους καυσίμου	-5.33	-3.25	-3.86	-3.24	-3.24	-2.67	-3.75	-3.33	-3.46	-2.73	-3.63	-7.63	-3.52	-3.61	-2.29
Αστικά διόδια	-3.52	-1.44	-2.05	-1.43	-1.43	-0.86	-1.94	-1.52	-1.64	-3.66	-0.92	-5.91	-1.72	-1.82	-0.54
Έργα υποδομής	-7.63	-5.55	-6.16	-5.54	-5.54	-4.97	-6.05	-5.63	-5.76	-7.77	-5.96	-5.03	-5.82	-5.89	-4.66
Προώθηση βιοκαυσίμων	-3.40	-1.33	-1.93	-1.31	-1.31	-0.75	-1.82	-1.40	-1.53	-3.54	-1.73	-5.84	-0.81	-1.71	-0.98
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-3.49	-1.42	-2.02	-1.41	-1.41	-0.84	-1.91	-1.50	-1.62	-3.63	-1.82	-5.93	-1.71	-0.90	-0.35
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	-2.11	-0.04	-0.65	-0.03	-0.03	0.54	-0.53	-0.12	-0.24	-2.26	-0.45	-4.56	-0.33	-0.42	0.48

Πίνακας Π4. Μεταβολή (%) CO₂ από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ

CO ₂ -ΣΜΕ Άθροισμα μεμονωμέν ων (%)	Συνέργειες (%)														
	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότη τας κινητήρα	-4.32	-6.29	-7.27	-5.53	-5.53	-4.31	-6.74	-5.45	-5.70	-9.52	-6.23	-	-5.88	-6.39	-1.80
Αεροδυναμι κός σχεδιασμός	-6.39	-2.07	-5.11	-3.31	-3.31	-2.00	-4.55	-3.24	-3.49	-7.39	-4.01	-	-3.67	-4.16	0.61
Μείωση βάρους	-7.43	-5.18	-3.11	-4.33	-4.33	-3.06	-5.56	-4.26	-4.51	-8.37	-5.04	-	-4.69	-5.19	-0.51
Σήμανση ελαστικών	-5.58	-3.34	-4.37	-1.26	-2.50	-1.12	-3.73	-2.44	-2.69	-6.63	-3.21	-	-2.87	-3.34	1.54
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	-5.58	-3.34	-4.37	-2.53	-1.26	-1.12	-3.73	-2.44	-2.69	-6.63	-3.21	-	-2.87	-3.34	1.54
Απόσυρση	-4.18	-1.93	-2.97	-1.12	-1.12	0.14	-2.39	-1.09	-1.30	-5.30	-1.83	-9.70	-1.49	-1.96	2.92
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	-6.85	-4.60	-5.64	-3.79	-3.79	-2.39	-2.53	-3.69	-3.93	-7.82	-4.46	-	-4.11	-4.60	0.24
Μείωση ορίου ταχύτητας	-5.51	-3.27	-4.30	-2.46	-2.46	-1.05	-3.72	-1.19	-2.62	-6.56	-3.15	-	-2.80	-3.28	1.54
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-5.76	-3.52	-4.55	-2.71	-2.71	-1.30	-3.97	-2.64	-1.44	-6.80	-3.38	-	-3.04	-3.51	1.43
Αύξηση κόστους καυσίμου	-9.75	-7.51	-8.54	-6.70	-6.70	-5.29	-7.96	-6.63	-6.87	-5.43	-7.30	-	-6.97	-7.42	-3.22
Αστικά διόδια	-6.29	-4.04	-5.08	-3.23	-3.23	-1.83	-4.50	-3.16	-3.41	-7.40	-1.97	-	-3.56	-4.02	0.27
Έργα υποδομής	-	-	-	-	-11.09	-9.68	-	-	-	-	-	-9.82	-	-11.70	-7.62
Προώθηση βιοκαυσίμω ν	-5.95	-3.70	-4.74	-2.89	-2.89	-1.48	-4.15	-2.82	-3.07	-7.06	-3.59	-	-1.63	-3.69	-0.73
Τέλος κυκλοφορία ς βάσει CO ₂	-6.41	-4.17	-5.20	-3.36	-3.36	-1.95	-4.62	-3.29	-3.53	-7.52	-4.06	-	-3.72	-2.09	1.24
Άρση περιορισμού πετρελαιοκί νητων	-1.48	0.76	-0.27	1.57	1.57	2.98	0.31	1.64	1.39	-2.60	0.87	-6.99	1.21	0.75	2.84

Πίνακας Π15. Μεταβολή (%) μέσης ενεργειακής έντασης (E) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ

Συνέργειες (%)	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	-2.61	-3.12	-3.71	-3.10	-3.10	-2.58	-3.60	-3.19	-2.61	-2.62	-2.64	-2.61	-2.61	-3.56	-3.38
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	-3.13	-0.52	-1.65	-1.03	-1.03	-0.46	-1.53	-1.12	-0.52	-0.53	-0.55	-0.52	-0.52	-1.48	-1.29
Μείωση βάρους	-3.74	-1.65	-1.13	-1.63	-1.63	-1.08	-2.13	-1.72	-1.13	-1.14	-1.16	-1.13	-1.13	-2.08	-1.90
Σήμανση ελαστικών	-3.12	-1.03	-1.64	-0.51	-1.01	-0.44	-1.51	-1.10	-0.51	-0.51	-0.53	-0.51	-0.51	-1.46	-1.27
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	-3.12	-1.03	-1.64	-1.01	-0.51	-0.44	-1.51	-1.10	-0.51	-0.51	-0.53	-0.51	-0.51	-1.46	-1.27
Απόσυρση	-2.55	-0.46	-1.07	-0.44	-0.44	0.07	-0.95	-0.54	0.06	0.06	-0.02	0.07	0.07	-0.89	-0.71
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	-3.62	-1.53	-2.14	-1.52	-1.52	-0.95	-1.01	-1.61	-1.01	-1.02	-1.04	-1.01	-1.01	-1.96	-1.77
Μείωση ορίου ταχύτητας	-3.21	-1.12	-1.73	-1.11	-1.11	-0.53	-1.61	-0.60	-0.60	-0.60	-0.63	-0.60	-0.60	-1.56	-1.37
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-2.61	-0.52	-1.13	-0.51	-0.51	0.06	-1.01	-0.60	0.00	-0.01	-0.03	0.00	0.00	-0.96	-0.77
Αύξηση κόστους καυσίμου	-2.62	-0.53	-1.14	-0.51	-0.51	0.06	-1.02	-0.60	-0.01	0.00	-0.03	0.00	0.00	-0.96	-0.77
Αστικά διόδια	-2.64	-0.55	-1.16	-0.53	-0.53	0.04	-1.04	-0.63	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.98	-0.79
Έργα υποδομής	-2.61	-0.52	-1.13	-0.51	-0.51	0.07	-1.01	-0.60	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00	-0.96	-0.77
Προώθηση βιοκαυσίμων	-2.61	-0.52	-1.13	-0.51	-0.51	0.07	-1.01	-0.60	0.00	0.00	-0.03	0.00	0.00	-0.96	-0.77
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-3.57	-1.48	-2.09	-1.46	-1.46	-0.89	-1.97	-1.56	-0.96	-0.96	-0.98	-0.96	-0.96	-0.96	-1.65
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	-3.38	-1.29	-1.90	-1.28	-1.28	-0.70	-1.78	-1.37	-0.77	-0.77	-0.79	-0.77	-0.77	-1.73	-0.77

Πίνακας Π6. Μεταβολή (%) μέσης ενεργειακής έντασης (E) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ

Συνέργειες (%)	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	-4.35	-6.33	-7.32	-5.56	-5.56	-4.33	-6.77	-5.49	-4.36	-4.36	-4.54	-4.35	-4.35	-6.51	-6.69
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	-6.44	-2.09	-5.14	-3.33	-3.33	-2.00	-4.57	-3.26	-2.09	-2.10	-2.27	-2.09	-2.09	-4.26	-4.41
Μείωση βάρους	-7.48	-5.22	-3.13	-4.36	-4.36	-3.08	-5.58	-4.29	-3.14	-3.14	-3.31	-3.13	-3.13	-5.30	-5.47
Σήμανση ελαστικών	-5.62	-3.35	-4.40	-1.27	-2.50	-1.12	-3.73	-2.45	-1.27	-1.27	-1.44	-1.27	-1.27	-3.44	-3.55
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	-5.62	-3.35	-4.40	-2.53	-1.27	-1.12	-3.73	-2.45	-1.27	-1.27	-1.44	-1.27	-1.27	-3.44	-3.55
Απόσυρση	-4.20	-1.94	-2.98	-1.11	-1.11	0.15	-2.38	-1.08	0.15	0.14	-0.02	0.15	0.15	-2.04	-2.21
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	-6.88	-4.62	-5.66	-3.79	-3.79	-2.38	-2.53	-3.70	-2.53	-2.54	-2.70	-2.53	-2.53	-4.69	-4.78
Μείωση ορίου ταχύτητας	-5.55	-3.29	-4.33	-2.46	-2.46	-1.05	-3.73	-1.20	-1.20	-1.21	-1.37	-1.20	-1.20	-3.38	-3.53
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-4.35	-2.09	-3.14	-1.27	-1.27	0.15	-2.53	-1.20	0.00	-0.01	-0.17	0.00	0.00	-2.20	-2.31
Αύξηση κόστους καυσίμου	-4.36	-2.10	-3.14	-1.27	-1.27	0.14	-2.54	-1.21	-0.01	-0.01	-0.18	-0.01	-0.01	-2.21	-2.32
Αστικά διόδια	-4.52	-2.26	-3.30	-1.43	-1.43	-0.02	-2.70	-1.37	-0.17	-0.18	-0.17	-0.17	-0.17	-2.35	-2.48
Έργα υποδομής	-4.35	-2.09	-3.13	-1.27	-1.27	0.15	-2.53	-1.20	0.00	-0.01	-0.17	0.00	0.00	-2.19	-2.31
Προώθηση βιοκαυσίμων	-4.35	-2.09	-3.13	-1.27	-1.27	0.15	-2.53	-1.20	0.00	-0.01	-0.17	0.00	0.00	-2.19	-2.31
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-6.54	-4.27	-5.32	-3.45	-3.45	-2.03	-4.72	-3.39	-2.19	-2.20	-2.35	-2.19	-2.19	-2.19	-3.97
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	-6.66	-4.40	-5.44	-3.58	-3.58	-2.16	-4.84	-3.51	-2.31	-2.32	-2.48	-2.31	-2.31	-4.50	-2.31

Πίνακας Π17. Μεταβολή (%) μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης (D) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ

Συνέργειες (%)															
D-ΣΕΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.09	0.00	0.01	0.03
Αύξηση κόστους καυσίμου	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.10	-1.99	-6.14	-1.10	-1.10	-1.12
Αστικά διόδια	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-2.00	-0.90	-5.95	-0.90	-0.90	-0.98
Έργα υποδομής	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-6.19	-6.00	-5.10	-5.10	-5.10	-5.14
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-1.09	-0.89	-5.09	0.01	0.01	0.01
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.10	-0.90	-5.10	0.00	0.01	0.00

Πίνακας Π8. Μεταβολή (%) μέσης ετήσιας διανυθείσας απόστασης (D) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ

Συνέργειες (%)															
D-ΣΜΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.19	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.07
Αύξηση κόστους καυσίμου	-2.20	-2.20	-2.20	-2.20	-2.20	-2.20	-2.20	-2.20	-2.20	-2.20	-3.96	-	-2.20	-2.20	-2.64
Αστικά διόδια	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-4.00	-1.80	-	-1.80	-1.80	-2.29
Έργα υποδομής	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-	-	-9.94	-9.94	-9.94	-10.19
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	-2.14	-1.75	-9.89	0.05	0.05	0.05
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.20	-1.80	-9.94	0.00	0.05	0.00

Πίνακας Π9. Μεταβολή (%) συνολικών οχηματοχιλιομέτρων (vkm) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ

Συνέργειες (%) vkm-ΣΕΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.80
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-3.43	-1.61	-5.78	-0.72	-0.72	-0.69
Αύξηση κόστους καυσίμου	-2.73	-2.73	-2.73	-2.73	-2.73	-2.73	-2.73	-2.73	-3.45	-2.73	-3.60	-7.69	-2.73	-2.73	-2.75
Αστικά διόδια	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-0.90	-1.62	-3.63	-0.90	-5.95	-0.90	-0.90	-0.98
Έργα υποδομής	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.10	-5.81	-7.82	-6.00	-5.10	-5.10	-5.10	-5.14
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-2.73	-0.90	-5.10	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Π10. Μεταβολή (%) συνολικών οχηματοχιλιομέτρων (vkm) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ

Συνέργειες (%) vkm-ΣΜΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	4.87
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-6.78	-3.21	-	-1.44	-1.44	-1.37
Αύξηση κόστους καυσίμου	-5.42	-5.42	-5.42	-5.42	-5.42	-5.42	-5.42	-5.42	-6.86	-5.42	-7.13	-	-5.42	-5.42	-5.85
Αστικά διόδια	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-1.80	-3.24	-7.22	-1.80	-	-1.80	-1.80	-2.29
Έργα υποδομής	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-9.94	-	-	-	-9.94	-9.94	-9.94	-10.19
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-5.42	-1.80	-9.94	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Π11. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού (Sm,b) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ

Συνέργειες (%) Sm,b-ΣΕΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.49
Αύξηση κόστους καυσίμου	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.49
Αστικά διόδια	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Έργα υποδομής	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.16	-0.50
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-9.16	-8.81
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-9.66	-0.50

Πίνακας Π12. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων μεσαίου και μεγάλου κυβισμού (Sm,b) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ

Συνέργειες (%)	Sm,b-ΣΜΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού εξόδους λιπαντικών	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Προώθηση χαμηλού εξόδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.49
Αύξηση κόστους καυσίμου	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.48
Αστικά διόδια	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-0.07	-18.53	-0.57
Έργα υποδομής	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.07	0.00	0.00	-18.47	-0.50
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-18.47	-18.47	-18.47	-18.47	-18.47	-18.47	-18.47	-18.47	-18.47	-18.47	-18.47	-18.54	-18.47	-18.47	-18.47	-13.51
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.57	-0.50	-0.50	-18.97	-0.50

**Πίνακας Π13. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων τεχνολογίας προ-2005 (Told)
από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ**

Συνέργειες (%)	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού εξόδους λιπαντικών	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Τολδ-ΣΕΕ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Αθροισμα μεμονωμένων (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Προώθηση χαμηλού εξόδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Απόσυρση	-7.47	-7.47	-7.47	-7.47	-7.47	-7.47	-7.47	-7.47	-7.48	-7.50	-7.60	-7.47	-7.47	-7.89	-12.56
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-7.48	-0.01	-0.01	-0.01	-0.04	-0.15	-0.01	-0.01	-0.47	-4.64
Αύξηση κόστους καυσίμου	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-7.50	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.16	-0.03	-0.03	-0.49	-4.66
Αστικά διόδια	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-7.61	-0.14	-0.14	-0.15	-0.16	-0.14	-0.14	-0.14	-0.59	-4.77
Έργα υποδομής	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.47	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.45	-4.63
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-0.45	-7.93	-0.45	-0.45	-0.47	-0.48	-0.59	-0.45	-0.45	-0.45	-5.08
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	-4.63	-4.63	-4.63	-4.63	-4.63	-	-4.63	-4.63	-4.64	-4.65	-4.77	-4.63	-4.63	-5.08	-4.63

**Πίνακας Π14. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων τεχνολογίας προ-2005 (Told)
από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ**

Συνέργειες (%)															
Told-ΣΜΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού εξόδους λιπαντικών	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Προώθηση χαμηλού εξόδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Απόσυρση	-17.4	-17.4	-17.4	-17.43	-17.43	-17.43	-17.43	-17.43	-17.45	-17.48	-18.00	-17.43	-17.43	-18.93	-36.53
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-17.46	-0.02	-0.02	-0.02	-0.07	-0.71	-0.02	-0.02	-1.87	-18.85
Αύξηση κόστους καυσίμου	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-17.49	-0.05	-0.05	-0.07	-0.05	-0.76	-0.05	-0.05	-1.93	-18.88
Αστικά διόδια	-0.68	-0.68	-0.68	-0.68	-0.68	-18.12	-0.68	-0.68	-0.70	-0.73	-0.68	-0.68	-0.68	-2.50	-19.50
Έργα υποδομής	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-17.43	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.68	0.00	0.00	-1.82	-18.82
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-1.82	-1.82	-1.82	-1.82	-1.82	-19.25	-1.82	-1.82	-1.84	-1.87	-2.50	-1.82	-1.82	-1.82	-20.64
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	-18.82	-18.82	-18.82	-18.82	-18.82	-36.25	-18.82	-18.82	-18.84	-18.87	-19.50	-18.82	-18.82	-20.64	-18.82

Πίνακας Π15. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων συμβατικών καυσίμων (Fc) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ

Συνέργειες (%)															
Fc-ΣΕΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.04	-0.15	-0.01	-0.01	-0.47	-0.01
Αύξηση κόστους καυσίμου	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.17	-0.03	-0.03	-0.49	-0.03
Αστικά διόδια	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.14	-0.15	-0.16	-0.14	-0.14	-0.14	-0.59	-0.14
Έργα υποδομής	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46	-0.47	-0.48	-0.59	-0.46	-0.46	-0.46	-0.46
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.03	-0.14	0.00	0.00	-0.46	0.00

Πίνακας Π16. Μεταβολή (%) μεριδίου οχημάτων συμβατικών καυσίμων (Fc) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ

Συνέργειες (%)															
Fc-ΣΜΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.08	-0.72	-0.02	-0.02	-1.88	-0.02
Αύξηση κόστους καυσίμου	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.07	-0.05	-0.76	-0.05	-0.05	-1.94	-0.05
Αστικά διόδια	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.69	-0.71	-0.74	-0.69	-0.69	-0.69	-2.52	-0.69
Έργα υποδομής	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83	-1.85	-1.88	-2.52	-1.83	-1.83	-1.83	-1.83
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.05	-0.69	0.00	0.00	-1.83	0.00

Πίνακας Π17. Μεταβολή (%) κατά κεφαλή κατοχής (Os) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΕΕ

Os-ΣΕΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-2.36	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72	-0.72
Αύξηση κόστους καυσίμου	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-2.37	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65	-1.65
Αστικά διόδια	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Έργα υποδομής	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.72	-1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Πίνακας Π18. Μεταβολή (%) κατά κεφαλή κατοχής (Os) από ζεύγη παρεμβάσεων – ΣΜΕ

Os-ΣΜΕ	Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	Αεροδυναμικός σχεδιασμός	Μείωση βάρους	Σήμανση ελαστικών	Χαμηλού ιξώδους λιπαντικά	Απόσυρση	Προώθηση οικολογικής οδήγησης	Μείωση ορίου ταχύτητας	Αύξηση τέλους ταξινόμησης	Αύξηση κόστους καυσίμου	Αστικά διόδια	Έργα υποδομής	Προώθηση βιοκαυσίμων	Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων
Βελτίωση αποδοτικότητας κινητήρα	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αεροδυναμικός σχεδιασμός	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Μείωση βάρους	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σήμανση ελαστικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Προώθηση χαμηλού ιξώδους λιπαντικών	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Απόσυρση	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Προώθηση οικολογικής οδήγησης	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Μείωση ορίου ταχύτητας	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Αύξηση τέλους ταξινόμησης	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-4.69	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44	-1.44
Αύξηση κόστους καυσίμου	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-4.74	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30	-3.30
Αστικά διόδια	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Έργα υποδομής	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Προώθηση βιοκαυσίμων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Τέλος κυκλοφορίας βάσει CO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Άρση περιορισμού πετρελαιοκίνητων	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.44	-3.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ACEA, 2010. Downloaded at:

<http://www.acea.be/index.php/collection/statistics>

http://www.acea.be/index.php/news/news_detail/consistent_taxation/

A. Greening, L., Greene, D.L., et al., 2000. Energy efficiency and consumption -- the rebound effect -- a survey. *Energy Policy* 28 (6-7), 389-401.

Albrecht, J., François, D., et al., 2002. A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals. *Energy Policy* 30, 727-736.

André, M., 1999. Driving Statistics for the assessment of pollutant emissions from road transport. Meet Project. INRETS-LTE report, France.

Ang, B.W., Liu, F.L., 2007. Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach. *Energy Policy* 35 (1), 238-246.

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

Ang, B.W., 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy:: which is the preferred method?. *Energy Policy* 32 (9), 1131-1139.

Ang, B.W., Liu, F.L., et al., 2003. Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis. *Energy Policy* 31 (14), 1561-1566.

Ang, B.W., Liu, F.L., 2001. A new energy decomposition method: perfect in decomposition and consistent in aggregation. *Energy* 26 (6), 537-548.

Ang, B.W., Zhang, F.Q., 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy* 25 (12), 1149-1176.

Ang, B.W., Zhang, F.Q., et al., 1998. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy* 23 (6), 489-495.

Ang B.W., Choi, K.H., 1997. Decomposition of aggregate energy and gas emission intensities for industry: a refined Divisia index method. *The Energy Journal* 18 (3), 59–73.

Ang, B.W., 1994. Decomposition of industrial energy consumption: the energy intensity approach. *Energy Economics* 16 (3), 163–74.

Ang, B.W., Lee S.Y., 1994. Decomposition of industrial energy consumption: some methodological and application issues. *Energy Economics* 16 (2):83–92.

Banister, D., Stead, D., 2003. Reducing transport intensity. *EJTIR* 2, 161-178.

Bose, R.K., 1998. Automotive energy use and emissions control: a simulation model to analyse transport strategies for Indian metropolises. *Energy Policy* 26 (13), 1001-1016.

Boyd, G.A., McDonald, J.F., et al., 1987. Separating the Changing Composition of U.S. Manufacturing Production from Energy Efficiency Improvements: A Divisia Index Approach. *The Energy Journal* 8 (2), 77-96.

Chatterjee, K., Gordon, A., 2006. Planning for an unpredictable future: Transport in Great Britain in 2030. *Transport Policy* 13 (3), 254-264.

Danielis, R., 1995. Energy use for transport in Italy : Past trends. *Energy Policy*, 23 (9), 799-807.

De Ceuster, G., Bart Van, H., Steven, L., 2006. TREMOVE 2.41 Model, Description of model and baseline version 2.41, downloaded at: <http://www.tremove.org/>

de Haan, P., Peters, A., et al., 2007. Reducing energy consumption in road transport through hybrid vehicles: investigation of rebound effects, and possible effects of tax rebates. *Journal of Cleaner Production*, 15, 1076-1084.

DfT, 2006. *Transport Trends*, 2006 Edition, Uk.

Diakoulaki, D., Mandaraka, M., 2007. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU

- manufacturing sector. *Energy Economics*, 29, 636-664.
- Diakoulaki, D., et al., 2006. A bottom-up decomposition analysis of energy-related CO₂ emissions in Greece. *Energy*, 31, 2638-2651.
- Difiglio, C., Fulton, L., 2000. How to reduce US automobile greenhouse gas emissions. *Energy*, 25 (7), 657-673.
- Doblin, C.P., 1988. Declining energy intensity in the US manufacturing sector. *The Energy Journal* 9 (2), 109– 135.
- EC, 2009. Directive (EC) No 28/2009, on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC.
- EC, 2009. Directive (EC) No 30/2009, amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions.
- EC, 2009. Decision (EC) No 406/2009, on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020.
- EC, 2009. Regulation (EC) No 443/2009. Setting emissions performance standards for new passenger cars of the Community's integrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles.
- EC, 2009. Regulation (EC) No 1222/2009. On the labelling of tyres with respect to fuel efficiency and other essential parameters.
- EEA (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών), 2007. *Ανεπίσημα στοιχεία*.
- EEA, 2010a. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2008 and inventory report 2008. Technical Report, Copenhagen.
- EEA, 2010b. *Transport Indicators*.

Downloaded at: <http://www.eea.europa.eu/themes/transport/indicators>

EEA, 2009. Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009. Copenhagen.

EEA, 2008. Downloaded at:

<http://www.eea.europa.eu/themes/transport/multimedia/curbing-co2-emissions-from-road-transport/view>

EEA, 2002. National and central estimates for air emissions from road transport. Copenhagen.

EEA, 2001. TERM 2001, Indicators tracking transport and environment integration in the European Union.

Eurostat, 2010. EU Energy and Transport in figures. European Commission.

Eurostat, 2009. EU Energy and Transport in figures. European Commission.

Eurostat, 2009. Europe in figures. European Commission.

Eurostat, 2008. Population and social conditions. Statistics in Focus, 72/2008.

Farla J., Blok K., 2000. The use of physical indicators for the monitoring of energy intensity developments in the Netherlands 1980-1995. *Energy*, 25 (7), 609-638.

Fishman, G.S., 1996. Monte Carlo. Concepts, Algorithms and Applications, Springer.

Fontaras, G., Samaras, Z., 2010. On the way to 130 g CO₂ /km – Estimating the future characteristics of the average European passenger car. *Energy Policy* 38 (4), 1826-1833.

Fontaras, G. et al., 2007. Use of a vehicle-modelling tool for predicting CO₂ emissions in the framework of European regulations for light goods vehicles. *Atmospheric Environment*, 41 (14), 3009-3021.

Fontaras, G., Samaras, Z., 2007. A quantitative analysis of the European automakers'

voluntary commitment to reduce CO₂ emissions from new passenger cars based on independent experimental data. *Energy Policy* 35 (4), 2239-2248.

Fosgerau, M., 2004. Dynamic time-series models for Danish car ownership and use. Danish Transport Research Institute.

Global Insight, 2010. Assessment of the effectiveness of scrapping schemes for vehicles.

Grazi, F., van den Bergh, J.C.J.M., 2008. Spatial organization, transport, and climate change: Comparing instruments of spatial planning and policy. *Ecological Economics* 67 (4), 630-639.

Greening, L.A., Ting, M., et al., 1999. Decomposition of aggregate carbon intensity for freight: trends from 10 OECD countries for the period 1971-1993. *Energy Economics* 21 (4), 331-361.

Hayashi, Y., Kato, H., et al., 2001. A model system for the assessment of the effects of car and fuel green taxes on CO₂ emission. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6 (2), 123-139.

Hickman, R., Banister, D., 2007. Looking over the horizon: transport and reduced CO₂ emissions in the UK by 2030. *Transport Policy* 14 (5), 377-387.

Howarth, R.B., Schipper, L., et al., 1991. Manufacturing energy use in eight OECD countries: decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity. *Energy Economics*, 13 (2), 135-142.

JRC, 2008. Environmental improvement of passenger cars. European Commission.

JRC, 2003. Dynamics of the introduction of new passenger car technologies. European Commission.

Kassapis, P., 2008. Green Transport Meeting. IENE.

Kiang, N., Shipper, L., 1996. Energy trends in the Japanese transportation sector. *Transport Policy*, 3 (1-2), 21-35.

- Kirby, H. R., Hutton, B., et al., 2000. Modelling the effects of transport policy levers on fuel efficiency and national fuel consumption. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5 (4), 265-282.
- Koroneos, C., Nanaki, E., 2007. Environmental assessment of the Greek transport sector. *Energy Policy*, 35 (11), 5422-5432.
- Kveiborg, O., Fosgerau, M., 2007. Decomposing the decoupling of Danish road freight traffic growth and economic growth. *Transport Policy*, 14 (1), 39-48.
- Kwon, T.-H., 2006. The determinants of the changes in car fuel efficiency in Great Britain (1978-2000). *Energy Policy* 34 (15), 2405-2412.
- Kwon, T.-H., 2005. Decomposition of factors determining the trend of CO₂ emissions from car travel in Great Britain (1970-2000). *Ecological Economics* 53 (2), 261-275.
- Kwon, T.-H., 2005. A scenario analysis of CO₂ emission trends from car travel: Great Britain 2000-2030. *Transport Policy*, 12 (2), 175-184.
- Lakshmanan, T.R., Han, X., 1997. Factors underlying transportation CO₂ emissions in the USA: a decomposition analysis. *Transportation Research*, 2 (1), 1-15.
- Leonardi, J., Baumgartner, M., 2004. CO₂ efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9 (6), 451-464.
- Liaskas, K., et al., 2000. Decomposition of industrial CO₂ emissions: The case of European Union, *Energy Economics*, 22, 383-394.
- Liu, X.Q., Ang, B.W., et al., 1992. Interfuel substitution and decomposition of changes in industrial energy consumption. *Energy*, 17 (7), 689-696.
- Lu, I.J., 2008. Decomposition and trend analysis of energy consumption and CO₂ emissions from road traffic in Taiwan. Dissertation.
- Lu, I.J., Lin, S.J., et al., 2007. Decomposition and decoupling effects of carbon dioxide emission from highway transportation in Taiwan, Germany, Japan and South

- Korea. *Energy Policy*, 35 (6), 3226-3235.
- Mandell, S., 2009. Policies towards a more efficient car fleet. *Energy Policy*, 37 (12), 5184-5191.
- Mavrotas, G., Florios, K., Vlachou, D. 2010. Energy planning of a hospital using Mathematical Programming and Monte Carlo simulation for dealing with uncertainty in the economic parameters”, *Energy Conversion and Management* 51, 722-731.
- Metz, D., 2008. *The Limits to Travel*. Earthscan Editions. UK.
- Meyer, I., Leimbach, M., et al., 2007. International passenger transport and climate change: A sector analysis in car demand and associated CO₂ emissions from 2000 to 2050. *Energy Policy*, 35 (12), 6332-6345.
- Meyer, I., Wessely, S., 2009. Fuel efficiency of the Austrian passenger vehicle fleet-- Analysis of trends in the technological profile and related impacts on CO₂ emissions. *Energy Policy*, 37 (10), 3779-3789.
- Michaelis, L., Davidson, O., 1996. GHG mitigation in the transport sector. *Energy Policy* 24 (10-11), 969-984.
- Nicolas, J.-P., David, D., 2009. Passenger transport and CO₂ emissions: What does the French transport survey tell us?. *Atmospheric Environment*, 43 (5), 1015-1020.
- Ntziachristos, L., Samaras, Z., 2000. COPERT III Computer program to calculate emissions from road transport. Technical Report, EEA, Copenhagen.
- Odysee, 2007. Energy efficiency trends for transport in the EU-15. Enerdata. Downloaded at: http://www.odyssee-indicators.org/reports/sectors_transport.php
- Papagiannaki, K., Diakoulaki, D., 2009. Decomposition analysis of CO₂ emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark. *Energy Policy* 37 (8), 3259-3267.
- Paravantis, J.A., Georgakellos, D.A., 2007. Trends in energy consumption and carbon dioxide emissions of passenger cars and buses. *Technological Forecasting and Social*

Change 74 (5), 682-707.

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

Peake, S., 1994. *Transport in Transition: Lessons from the History of Energy*. Earthscan, London.

Preston, J., 2001. Integrating transport with socio-economic activity – a research agenda for the new millennium. *Journal of Transport Geography* 9 (1), 13-24.

Ryan, L., Ferreira, S., et al., 2009. The impact of fiscal and other measures on new passenger car sales and CO₂ emissions intensity: Evidence from Europe. *Energy Economics* 31 (3), 365-374.

ΣΕΑΑ. Downloaded at: <http://www.seaa.gr/common/statistics.asp?language=english>

Schipper, L., Scholl, L., et al., 1997. Energy use and carbon emissions from freight in 10 industrialised countries: an analysis of trends from 1973 to 1992. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2 (1), 57-76.

Schipper, L., Tax, W., 1994. New car test and actual fuel economy: yet another gap. *Transport Policy* 1 (2), 257-265.

Schipper, L., Steiner, R., et al., 1992. Energy use in passenger transport in OECD countries: changes since 1970. *Transportation* 19, 25-42.

Scholl, L., Schipper, L., et al., 1996. CO₂ emissions from passenger transport: a comparison of international trends from 1973 to 1992. *Energy Policy* 24 (1), 17-30.

Shapley, L., 1953. A value for n-person games. In: *Contributions to the theory of games*, Vol. 2. Kuhn, H.W., Tucker, A.W. (Eds.), Princeton University, Princeton, NJ.

Stead, D., 2001. Transport intensity in Europe-indicators and trends. *Transport policy* 8 (1), 29-46.

Sun, J.W., 1998. Changes in energy consumption and energy intensity: a complete

decomposition model. *Energy Economics* 20 (1), 85-100.

Tapio, P., et al., 2007. Energy and transport in comparison: immaterialisation, dematerialisation and decarbonization in the EU15 between 1970 and 2000. *Energy Policy* 35 (1), 433-451.

TfL, 2008. Central London Congestion Charging. Impacts monitoring. Transport for London.

The Society of Motor Manufacturers and Traders. New car CO₂ report, 2009.

Timilsina, G.R., Shrestha, A., 2009. Why Have CO₂ Emissions Increased in the Transport Sector in Asia? Underlying Factors and Policy Options. The World Bank. Development Research Group. Environment and Energy Team

Timmermans, J.-M., Matheys, J., 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.

TNO, 2006. Review and analysis of the reduction potential and costs of technological and other measures to reduce CO₂ emissions from passenger cars. Netherlands.

Törnqvist, L., Vartia, P. et al., 1985. How should relative changes be measured?, *Amer. Statistician*, 39, 43–46.

Törnqvist, L., 1935. A memorandum concerning the calculation of Bank of Finland consumption price index, unpublished memo, Bank of Finland, Helsinki.

Undata, 2010. Downloaded at: <http://unstats.un.org/unsd/snaama/selCountry.asp>

Van den Brink, R.M.M., Van Wee, B., 2001. Why has car-fleet specific fuel consumption not shown any decrease since 1990? Quantitative analysis of Dutch passenger car-fleet specific fuel consumption. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6 (2), 75-93.

Vose, D., 2006. *Risk Analysis: A Quantitative Guide*. 2nd edition. John Willey and sons.

Yannis, G., Golias, J., Spyropoulou, I., Papadimitriou, E., 2007. Mobility patterns of motorcycle and moped riders in Greece. Proceedings of the 86th TRB Annual Meeting, Washington.

YPIEKA, 2010. National Inventory for greenhouse and other gases for the years 1990-2008. Athens.

YPIEKA, 2009. National Inventory for greenhouse and other gases for the years 1990-2007. Athens.

YPIEKA, 2008. National Inventory for greenhouse and other gases for the years 1990-2006. Athens.

YPIEKA, 2007. National Inventory for greenhouse and other gases for the years 1990-2005. Athens.

Zachariadis, T., 2006. On the baseline evolution of the automobile fuel economy in Europe. *Energy Policy* 34 (14), 1773-1785.

Zachariadis, T., Samaras, Z., 2001. Validation of road transport statistics through energy efficiency calculations. *Energy* 26 (5), 467-491.

Zachariadis, T., Ntziachristis, L., et al., 2001. The effect of age and technological change on motor vehicle emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 6 (3). 221-227

Zachariadis, T., Samaras, Z., et al., 1995. Dynamic modeling of vehicle populations: An engineering approach for emissions calculations. *Technological Forecasting and Social Change*, 50 (2), 135-149.

Zervas, E., Lazarou, C., 2008. Influence of European passenger cars weight to exhaust CO₂ emissions. *Energy Policy*, 36 (1), 248-257.

Zhang, F.Q., Ang, B.W., 2001. Methodological issues in cross country/region decomposition of energy and environment indicators. *Energy Economics* 23 (2), 179-190.

Δημοσιεύσεις με αφορμή τη διδακτορική διατριβή

- ↪ Papagiannaki, K., Diakoulaki, D. (2009) “**Decomposition analysis of CO2 emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark**”. Energy Policy 37 (8), 3259-3267
- ↪ Papagiannaki, K., Diakoulaki, D. ‘**Decomposition analysis of CO2 emissions from passenger cars: The cases of Greece and Denmark**’. International Conference on Policy Modeling – EcoMod2008
- ↪ Papagiannaki, K., Diakoulaki, D. ‘**Decomposition Analysis of CO2 emissions from passenger cars in Greece**’. 10th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation – AATT2008
- ↪ K.Papagiannaki, G.Leontarakis, D.Diakoulaki. ‘**Decomposition analysis of CO2 emissions from road transport in EU15**’. 11th International Conference on Environmental Science and Technology – CEST2007
- ↪ Papagiannaki, K., Diakoulaki, D. ‘**Assessing the effectiveness of policies and measures on mitigating CO2 emissions from passenger cars in Greece**’. Transport Policy – **στάδιο διορθώσεων**