

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

559

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΡΓΑΝΩΣΗ & ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΤΗΣ
ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Π. ΟΡΚΟΠΟΥΛΟΥ

ΑΝΑΘΕΣΗ-ΕΠΙΒΛΕΨΗ:
Δ. ΔΙΑΚΟΥΛΑΚΗ
Αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2003



00149495

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ	
ΑΡ. ΕΙΣ.	49495 + CD
COMP.	76860
ΤΑΞΗ	333. 79 ΟΡΚ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	3
Σκοπός της εργασίας.....	4
Δομή της εργασίας.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ CO₂

1.1 Φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	6
1.2 Συμμετοχή του CO ₂ στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.....	8
1.3 Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου.....	9
1.4 Διεθνείς συμβάσεις για την κλιματική αλλαγή.....	12
1.5 Μέτρα περιορισμού εκπομπών CO ₂	16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂

2.1 Ενέργεια και περιβάλλον.....	18
2.2 Το ελληνικό ενεργειακό σύστημα.....	19
2.3 Εξέλιξη της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης.....	24
2.4 Εξέλιξη των εκπομπών CO ₂ από τον ενεργειακό τομέα.....	31

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ

3.1 Πεδίο εφαρμογής.....	38
3.2 Τεχνικές και μέθοδοι ανάλυσης.....	40
3.3 Ανασκόπηση προγενέστερων μελετών.....	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 Παρουσίαση μεθόδου ανάλυσης.....	50
4.2 Εφαρμογή στο συνολικό ενεργειακό σύστημα.....	59
4.3 Εφαρμογή σε κάθε ενεργειακό τομέα.....	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

5.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	66
5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων για το συνολικό ενεργειακό σύστημα Ελλάδας και ΕΕ.....	73
5.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων για την ηλεκτροπαραγωγή.....	75
5.4 Ανάλυση αποτελεσμάτων για τη βιομηχανία.....	77
5.5 Ανάλυση αποτελεσμάτων για τις οδικές μεταφορές.....	79
5.6 Ανάλυση αποτελεσμάτων για τον τριτογενή τομέα.....	80
5.7 Ανάλυση αποτελεσμάτων για τον αγροτικό τομέα.....	82

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	85
--------------------------	-----------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	89
--------------------------	-----------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. Δεδομένα της ενεργειακής κατανάλωσης σε ηλεκτροπαραγωγή, βιομηχανία, μεταφορές, κτιριακό, αγροτικό τομέα και συνολικά στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα κατά την περίοδο 1990-1999.....	92
B. Εξέλιξη του ΑΕΠ και της ενεργειακής έντασης στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1990-1999.....	95
Γ. Αναλυτική κατανάλωση καυσίμων στην Ελλάδα και στην ΕΕ ανά ενεργειακό τομέα για τα έτη 1990 και 1999.....	96
Δ. Υπολογισμοί εκπομπών CO ₂ από το ελληνικό ενεργειακό σύστημα για την περίοδο 1990-1999.....	99
Ε. Εξέλιξη πληθυσμού και εκπομπών CO ₂ ανά κάτοικο στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1990-1999.....	102
ΣΤ. Επίπεδο παραγωγής και ενεργειακή ένταση των τομέων του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για τα έτη 1990 και 1999.....	103
Z. Καθαρή επίδραση των παραγόντων στη μεταβολή των εκπομπών CO ₂ του συνολικού ενεργειακού συστήματος και κάθε τομέα κατά την περίοδο 1990-1999.....	104

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, με θέμα «Ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων της εξέλιξης των εκπομπών CO₂ του ελληνικού ενεργειακού συστήματος» εκπονήθηκε στα πλαίσια έρευνας στο Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας του ΕΜΠ.

Αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όσους συνέβαλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην επιτυχή ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την κ. Δανάη Διακουλάκη, Αν. Καθηγήτρια του ΕΜΠ, για την ανάθεση και επίβλεψη της εργασίας, τις χρήσιμες συμβουλές της, καθώς και για την καθοδήγηση και τις εύστοχες παρατηρήσεις που προσέφερε, όποτε αυτό ήταν αναγκαίο.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στον κ. Γιώργο Μαυρωτά, Λέκτορα του ΕΜΠ, για την ουσιαστική βοήθειά του και τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε στην προσέγγιση, την κατανόηση και την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Αθήνα, Νοέμβριος 2003

Δ. Π. Ορκόπουλος

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός των παραγόντων που επηρέασαν την εξέλιξη των εκπομπών CO₂ του συνολικού ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας και κάθε ενεργειακού τομέα χωριστά κατά την περίοδο 1990-1999, και η εκτίμηση της σχετικής συμβολής του κάθε παράγοντα στις παρατηρούμενες μεταβολές.

Η μέθοδος ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων, που χρησιμοποιείται, βασίζεται στην προσέγγιση που ανέπτυξε ο Park (1992) και παρέχει τα επιθυμητά αποτελέσματα βασισμένα σε μια σειρά απλών αλγεβρικών υπολογισμών χωρίς να προϋποθέτει την ύπαρξη αναλυτικών δεδομένων για ολόκληρη τη χρονική περίοδο, παρά μόνο για τα δύο ακραία έτη.

Κατά την πρώτη φάση της ανάλυσης, οι μεταβολές των εκπομπών του ελληνικού ενεργειακού συστήματος – που αποτελείται από πέντε βασικούς τομείς: ηλεκτροπαραγωγή, βιομηχανία, μεταφορές, οικιακός-τριτογενής και αγροτικός τομέας – αποδίδονται σε τρεις παράγοντες: την κατανάλωση πρωτογενών μορφών ενέργειας, τη δομή (μερίδιο κατανάλωσης ανά τομέα) του συστήματος και τη διάρθρωση του ενεργειακού μίγματος. Για να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα με το μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η συγκεκριμένη μέθοδος ανάλυσης εφαρμόζεται για την ίδια χρονική περίοδο συνολικά στο ενεργειακό σύστημα των 15 χωρών της ΕΕ.

Κατά τη δεύτερη φάση της ανάλυσης, εξετάζεται κάθε ενεργειακός τομέας ξεχωριστά, και η μεταβολή των αντίστοιχων εκπομπών CO₂ αποδίδεται σε τρεις παράγοντες: την παραγωγή, την ενεργειακή ένταση και το μίγμα καυσίμων. Συγκεκριμένα οι τομείς που μελετώνται είναι οι εξής: α) ηλεκτροπαραγωγή, β) βιομηχανία, γ) οδικές μεταφορές, δ) τριτογενής, ε) αγροτικός τομέας.

ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο **κεφάλαιο 1** αναλύεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου και επισημαίνεται η συμβολή των εκπομπών CO₂ στην ενίσχυσή του. Αναφέρονται, επίσης, οι επιπτώσεις του φαινομένου στο παγκόσμιο κλίμα, καταγράφονται οι σημαντικότερες διεθνείς συμβάσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και προτείνονται μέτρα περιορισμού των εκπομπών CO₂.

Στο **κεφάλαιο 2** γίνεται αναφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την παραγωγή και χρήση ενέργειας, που αποτελεί την κύρια πηγή εκπομπών CO₂. Κατόπιν περιγράφεται αναλυτικά η διάρθρωση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος και παρουσιάζονται οι καταναλώσεις καυσίμων και οι αντίστοιχες εκπομπές CO₂ από κάθε ενεργειακό τομέα την περίοδο 1990-1999.

Στο **κεφάλαιο 3** εξετάζεται το πεδίο εφαρμογής της ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων από τη δεκαετία του '80 και έπειτα. Επίσης, παρουσιάζονται οι διάφορες τεχνικές ανάλυσης που έχουν αναπτυχθεί και γίνεται μια ανασκόπηση των σημαντικότερων προγενέστερων μελετών.

Στο **κεφάλαιο 4** περιγράφεται η μέθοδος ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία και αναλύεται η εφαρμογή της στο συνολικό ενεργειακό σύστημα και σε κάθε τομέα χωριστά.

Στο **κεφάλαιο 5** παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθόδου. Κατόπιν επιχειρείται μια ποιοτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων και αναλύεται διεξοδικά η συμβολή κάθε παράγοντα στις μεταβολές των εκπομπών CO₂ από το σύνολο του ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας – σε σύγκριση με της ΕΕ – και από κάθε εξεταζόμενο ενεργειακό τομέα.

Ακολουθούν στο τέλος τα **συμπεράσματα** της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΙ CO₂

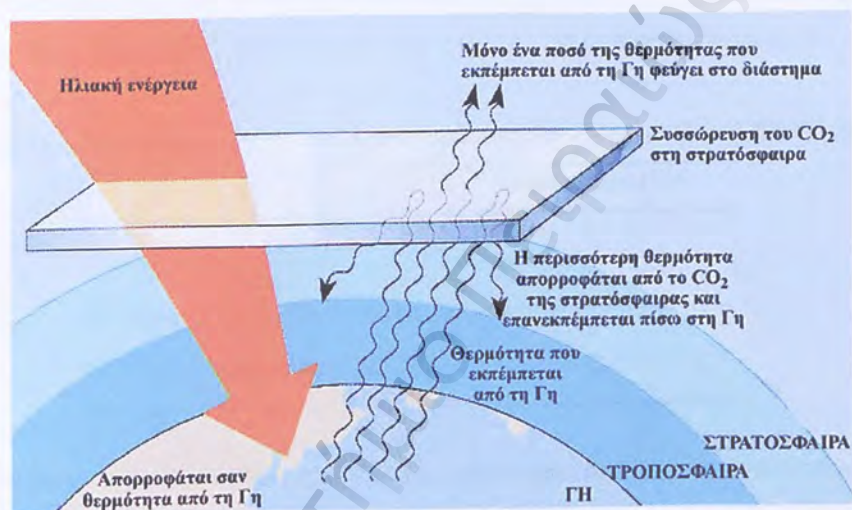
1.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η μόνη σημαντική πηγή ενεργειακής τροφοδοσίας του πλανήτη μας. Η ενέργεια φτάνει στη γη ως υπεριώδης (UV), ορατή και υπέρυθρη (IR) ακτινοβολία, από την οποία είναι γνωστό ότι μόνο το 45% φθάνει στην επιφάνεια της γης, το υπόλοιπο 35% ανακλάται από τα σύννεφα πίσω στο διάστημα ενώ το 20% απορροφάται από την ατμόσφαιρα.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο που οφείλεται στη δράση κάποιων αερίων που υπάρχουν σε μικρές συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα της γης, όπως οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και το όζον (O₃). Τα αέρια αυτά, που ονομάζονται αέρια του θερμοκηπίου (Greenhouse gases-GHG), επιτρέπουν στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος να φτάσει στην επιφάνεια της γης, αλλά συγχρόνως απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης προς το διάστημα και την ξαναστέλνουν προς το έδαφος (Σχήμα 1). Έτσι, ένα μέρος των υπέρυθρων ακτινών παγιδεύεται μέσα στην ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα τη θέρμανση των αερίων μαζών που βρίσκονται κοντά στο έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη ζωής στον πλανήτη, γιατί η μέση θερμοκρασία της κατώτερης τροπόσφαιρας είναι 15⁰C, ενώ χωρίς την ύπαρξη του φυσικού φαινομένου θα ήταν 33⁰C χαμηλότερη [1].

Τα τελευταία χρόνια, οι ανθρώπινες δραστηριότητες επέφεραν αλλαγές στη χημική σύσταση της γήινης ατμόσφαιρας, συμβάλλοντας στη συνεχή αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως του CO₂), καθώς και στην εκπομπή νέων σύνθετων ενώσεων που ουδέποτε υπήρξαν στην

ατμόσφαιρα της γης, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι υδροφθοράνθρακες (HFCs), οι υπερφθοράνθρακες (PFCs) και το εξαφθοριούχο θείο (SF_6). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ενισχυθεί πολύ το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να παρατηρηθεί μια ασυνήθιστη αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας της γης, η οποία αναμένεται να επηρεάσει δυσμενώς τα φυσικά οικοσυστήματα, την υγεία, τους υδατικούς πόρους και βασικούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας [2].



Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Είναι σημαντικό ότι η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης αυξήθηκε κατά $0,6^{\circ}\text{C}$ στη διάρκεια του περασμένου αιώνα και γενικά εκτιμάται ότι η δεκαετία 1990-2000 ήταν η θερμότερη δεκαετία και το 1998 το θερμότερο έτος που έχουν μετρηθεί ποτέ, σύμφωνα με αρχεία μετρήσεων από το 1861. Η ανάλυση στοιχείων για το βόρειο ημισφαίριο της γης δείχνει ότι η άνοδος της θερμοκρασίας κατά τον 20^ο αιώνα ήταν η μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια των τελευταίων 1000 ετών. Αυτές οι επιστημονικές παρατηρήσεις δείχνουν ότι εξελίσσεται μια ανησυχητική 'θέρμανση' του πλανήτη και άλλες αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα που έχουν προβληματίσει τη διεθνή κοινότητα όσον αφορά στις επιπτώσεις που θα έχουν και στον τρόπο αντιμετώπισής τους [3].

1.2 ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΟΥ CO₂ ΣΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Από το σύνολο των αερίων του θερμοκηπίου, το CO₂ είναι εκείνο στο οποίο έχει δοθεί η μεγαλύτερη σημασία, αφού εκτιμάται ότι η συμβολή του στο φαινόμενο της παγκόσμιας 'θέρμανσης' είναι περίπου 64% [2]. Η συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για κάθε αέριο εξαρτάται από τη συγκέντρωσή του στην ατμόσφαιρα, από το συντελεστή μοριακής απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας και από το χρόνο παραμονής του στην ατμόσφαιρα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Συνεισφορά αερίων του θερμοκηπίου στο φαινόμενο (Πηγή: IPCC [4])

Αέριο	Συνεισφορά (%)
CO ₂	64
CH ₄	20
N ₂ O	6
CFCs, HFCs, PFCs, SF ₆	10

Η αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι μια από τις σπουδαιότερες περιβαλλοντικές αλλαγές που βρίσκονται σε εξέλιξη σήμερα και θεωρείται υπεύθυνη για την υπερβολική ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου τις τελευταίες δεκαετίες. Από το 1970 και μετά η αύξηση είναι της τάξης του 3,8% ανά δεκαετία. Πρόκειται για μια ανθρωπογενή διαταραχή που οφείλεται στις αυξημένες εκπομπές CO₂ κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων του ενεργειακού τομέα (παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας), αλλά και από βιομηχανικές διεργασίες (παραγωγή τσιμέντου και ασβέστη) και τη χρήση διαλυτών.

Είναι χαρακτηριστικό ότι οι εκπομπές CO₂ αποτελούν την πλειοψηφία των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αφού ειδικότερα στην Ελλάδα ευθύνονταν για το 80,6% περίπου των συνολικών εκπομπών το έτος 2000 [5].

Στην παρούσα εργασία εστιάζεται το ενδιαφέρον στις εκπομπές CO₂ από τη χρήση καυσίμων, που αποτελεί τη σημαντικότερη ανθρωπογενή πηγή εκπομπών (το 92% των εκπομπών CO₂ στην Ελλάδα προέρχεται από τον ενεργειακό τομέα). Από τη μελέτη της μπορούν να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα για τους παράγοντες αύξησης της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, με δεδομένο ότι η ενεργειακή κατανάλωση θα εξακολουθήσει να αυξάνεται και οι συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου θα γίνονται εντονότερες.

1.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Σύμφωνα με τις έως τώρα επιστημονικές παρατηρήσεις και εκτιμήσεις, η κλιματική αλλαγή που λαμβάνει χώρα τα τελευταία χρόνια κυρίως λόγω της αύξησης του CO₂ και άλλων σύνθετων αερίων στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, αναμένεται να έχει δυσμενείς επιπτώσεις όπως:

- Συνεχή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη.
- Τήξη των παγετώνων και των θαλάσσιων πάγων.
- Άνοδο της στάθμης των θαλασσών και πιθανές πλημμύρες σε παράκτιες περιοχές.
- Μεταβολές στο ρυθμό βροχοπτώσεων που θα προκαλέσει πλημμύρες και ξηρασίες.
- Μεταβολές στην κίνηση των ανέμων.
- Συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων (ειδικότερα υψηλών θερμοκρασιών, καταιγίδων, πλημμύρων) [2].

Η σημασία της θερμοκρασιακής αύξησης κατά 0,6⁰C στη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα είναι πολύ μεγάλη, αν ληφθεί υπόψη ότι η διαφορά της θερμοκρασίας της σημερινής εποχής από τη δεύτερη περίοδο παγετώνων ανέρχεται σε μόλις 3-5⁰C. Με εφαρμογή κατάλληλων μοντέλων προσομοίωσης κλίματος, η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας της γης αναμένεται να ανέβει εξαιτίας του

φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 1°C ως το έτος 2025 και κατά $2\text{-}3^{\circ}\text{C}$ περισσότερο πριν από το τέλος του επόμενου αιώνα, υποθέτοντας διπλασιασμό της συγκέντρωσης του σημαντικότερου αερίου του θερμοκηπίου CO_2 . Οι περιοχές που θα επηρεαστούν περισσότερο είναι αυτές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος, επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας ωθεί το όριο νερού-πάγου προς τους πόλους [1, 6].

Ο υψηλός ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας είναι λογικό να επιφέρει μερική τήξη των ηπειρωτικών και θαλάσσιων πάγων, ορισμένων περιφερειακών ζωνών της Ανταρκτικής και τήξη των πάγων των βουνών στις εύκρατες ζώνες. Όπως προκύπτει από σχετικά μοντέλα πρόβλεψης, σε περίπτωση τετραπλασιασμού της συγκέντρωσης του CO_2 το μόνιμο στρώμα πάγου που καλύπτει τον Αρκτικό ωκεανό θα λιώσει και θα αντικατασταθεί από έναν παρατεταμένο ετήσιο χειμερινό πάγο. Στις μέρες μας υπάρχουν έντονες ενδείξεις ότι το φαινόμενο βρίσκεται εν εξελίξει. Είναι χαρακτηριστικό ότι το 1995 παρατηρήθηκε πως το μεγαλύτερο παγόβουνο όλων των εποχών, εκτάσεως 2700 km^2 αποκολλήθηκε από την Ανταρκτική. Εκτιμάται ότι τη τελευταία 50ετία έχουν διαλυθεί τα πέντε από τα εννέα στρώματα πάγου της Ανταρκτικής, ενώ ανάλογα φαινόμενα συμβαίνουν και στις Άλπεις, όπου το 1992 αποκαλύφθηκε ο περίφημος χιονάνθρωπος που θάφτηκε κάτω από τους πάγους πριν από 5.000 χρόνια [1, 6].

Η τήξη των πάγων είναι αναμενόμενο να προκαλέσει άνοδο της στάθμης των θαλασσών σε παγκόσμια κλίμακα λόγω της διαστολής του νερού. Τον 20^ο αιώνα η στάθμη ήδη αυξήθηκε κατά 12cm με μια απόκλιση $\pm 5\text{cm}$. Δεδομένου ότι περίπου ο μισός πληθυσμός της γης κατοικεί σε παράκτιες περιοχές που απειλούνται με εκτεταμένες πλημμύρες και διαβρώσεις, το φαινόμενο προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία. Μάλιστα μέχρι το 2100, τα μοντέλα πρόβλεψης υπολογίζουν ότι η στάθμη της θάλασσας στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης της Μεσογείου αναμένεται να ανέβει κατά 1m. Η σημασία μιας τέτοιας αύξησης γίνεται κατανοητή αν αναλογιστούμε ότι στην Κρήτη, μια άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά 50cm θα επέφερε απώλεια του μισού πλάτους των

υπαρχόντων παραλίωv τουριστικού ενδιαφέροντος που οδηγεί σε ανυπολόγιστες ζημιές [7].

Ανάλογες μεταβολές, λόγω της κλιματικής αλλαγής, προβλέπονται και στην εμφάνιση των καιρικών φαινομένων. Γενικά τα μοντέλα προβλέπουν ότι η παγκόσμια 'θέρμανση' θα καταλήξει σε πιο ζεστές περιοχές στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη το χειμώνα, και αύξηση της ετήσιας βροχόπτωσης (μετακίνηση κλιματικών ζωνών προς τους πόλους). Στα μέσα πλάτη προβλέπονται ξηρότερα καλοκαίρια, ενώ ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου αναμένεται αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ξηρασιών, που συνεπάγεται αυξανόμενη συχνότητα έλλειψης νερού και υποβάθμιση της ποιότητάς του. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως καύσωνες, καταιγίδες, τυφώνες και πλημμύρες θα πολλαπλασιαστούν, λόγω της διαρκώς αυξανόμενης διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ στεριάς και θάλασσας, και ενδέχεται να πλήξουν ολοένα και περισσότερες περιοχές [6, 7].

Η μετατόπιση των κλιματικών συνόρων θα επηρεάσει αρνητικά πολύτιμα οικοσυστήματα που δεν θα μπορέσουν να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες, ενώ τα ακραία φαινόμενα και ο συνδυασμός αύξησης της θερμοκρασίας και ρύπανσης θέτουν απειλές για τη δημόσια υγεία. Οι κλιματικές αλλαγές αυτού του μεγέθους θα έχουν σοβαρές επιπτώσεις και στη γεωργία, με μετατοπίσεις των καλλιεργήσιμων εκτάσεων προς τα υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη και καταστροφές καλλιεργειών από ξηρασίες και πλημμύρες. Και ενώ η προσαρμοστικότητα στις ανεπτυγμένες χώρες είναι υψηλή, οι περιορισμένες δυνατότητες για τους παραγωγούς στις αναπτυσσόμενες χώρες, σημαίνουν ότι πιθανώς αυτοί θα υποστούν το κύριο βάρος του προβλήματος. Εξάλλου, περιοχές με αρκετά ψυχρό κλίμα πιθανότατα να επωφεληθούν οικονομικά από αυτή την παγκόσμια 'θέρμανση', όμως αυτό δεν μπορεί τελικά να αναιρέσει τα ποικίλα προβλήματα που θα προκύψουν, γι' αυτό και απαιτείται συνεργασία μεταξύ όλων των χωρών για άμεσο περιορισμό των πηγών ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου [7, 8].

1.4 ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΣΥΜΒΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Στις αρχές της περασμένης δεκαετίας, αφού εντεινόταν οι επιστημονικές παρατηρήσεις που έδειχναν ‘θέρμανση’ του πλανήτη και αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα εξαιτίας της αύξησης της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου, ξεκίνησε μια πρωταρχική διεθνής συνεργασία για έλεγχο του φαινομένου. Έτσι, στο Ρίο ντε Τζανέιρο τον Ιούνιο του 1992 υπογράφηκε η Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), από το σύνολο σχεδόν των χωρών του πλανήτη. Η Ελλάδα κύρωσε τη συγκεκριμένη σύμβαση κάνοντάς την νόμο του κράτους (Ν. 2205/94) το 1994 [9].

Ο κατεξοχήν στόχος της σύμβασης ήταν η σταθεροποίηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, σε επίπεδα τέτοια ώστε να προληφθούν οι επικίνδυνες επιπτώσεις στο κλίμα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η σύμβαση αναγνώριζε ότι οι αναπτυγμένες χώρες πρέπει να αναλάβουν τον πρωταρχικό ρόλο στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και τις καλούσε:

⇨ να καταβάλουν κάθε δυνατή προσπάθεια με σκοπό την επαναφορά των εκπομπών του CO₂ και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου, μέχρι το έτος 2000, στα επίπεδα του 1990, μεμονωμένα ή σε συνεργασία με άλλες χώρες,

⇨ να υιοθετήσουν πολιτικές και μέτρα για να μετριάσουν το φαινόμενο, και

⇨ να διασφαλίσουν την μεταφορά τεχνολογίας και οικονομικών πόρων προκειμένου να βοηθήσουν τις αναπτυσσόμενες χώρες να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της κλιματικής μεταβολής και να αναπτυχθούν με βάση την προστασία του περιβάλλοντος, στοχεύοντας στη συγκράτηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου [5].

ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΤΟΥ ΚΥΟΤΟ

Η 3^η Σύνοδος (COP-3) των συμβαλλομένων μερών της σύμβασης UNFCCC του Ρίο ντε Τζανέιρο, που έλαβε χώρα στο Κυότο τον Δεκέμβριο του 1997, ολοκλήρωσε τις διαπραγματεύσεις σχετικά με τον καθορισμό ενός νομικού οργάνου για την κλιματική αλλαγή, του Πρωτοκόλλου του Κυότο. Το Πρωτόκολλο καθορίστηκε για να εξασφαλίζει μια διαδικασία βάσει της οποίας πρέπει να εντατικοποιηθούν μελλοντικές δράσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής μεταβολής. Καθορίζει για πρώτη φορά νομικά δεσμευτικούς στόχους για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και επιβεβαιώνει την ανάγκη συνεργασίας της διεθνούς κοινότητας σε θέματα που αφορούν σε ένα σημαντικότατο περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Το κεντρικό σημείο του Πρωτοκόλλου είναι οι νομικά κατοχυρωμένες δεσμεύσεις των αναπτυγμένων κρατών να ελαττώσουν - μεμονωμένα ή σε συνεργασία με άλλες χώρες - τις εκπομπές 6 αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs και SF₆) αρχικά την περίοδο 2008-2012 σε ποσοστό συνολικά 5,2% από τα επίπεδα του 1990. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) δεσμεύτηκε για μείωση των εκπομπών της κατά 8%, οι ΗΠΑ για 7%, η Ιαπωνία για 6%, ενώ άλλες χώρες όπως η Ρωσία και η Αυστραλία δεσμεύτηκαν να περιορίσουν το ρυθμό αύξησης των εκπομπών τους. Για την επίτευξη των στόχων αυτών, το Πρωτόκολλο προβλέπει τη λειτουργία 5 βασικών μηχανισμών [5]:

- ⇒ προαιρετική υιοθέτηση κοινών πολιτικών και μέτρων
- ⇒ διαπραγμάτευση δικαιωμάτων εκπομπών (Emissions Trading)
- ⇒ εφαρμογή προγραμμάτων από κοινού (Joint Implementation)
- ⇒ δημιουργία ενός μηχανισμού καθαρής ανάπτυξης (Clean Development Mechanism)
- ⇒ προστασία και επαύξηση των δασικών εκτάσεων (προς φυσική απορρόφηση CO₂)

Το Πρωτόκολλο του Κυότο, ως νομικό εργαλείο για τον έλεγχο της κλιματικής μεταβολής, έχει συμφωνηθεί να τεθεί σε ισχύ 90 ημέρες μετά την επικύρωση από τουλάχιστον 55 κράτη-μέλη που να αντιπροσωπεύουν ποσοστό μεγαλύτερο του 55% των συνολικών εκπομπών του 1990. Το πρώτο κριτήριο έχει ήδη ικανοποιηθεί (105 μέλη έχουν επικυρώσει), όμως οι χώρες που επικύρωσαν το πρωτόκολλο ως τώρα αντιπροσωπεύουν το 43,9% των συνολικών εκπομπών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν έχουν επικυρώσει το Πρωτόκολλο δύο χώρες που κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό των συνολικών εκπομπών GHG, οι ΗΠΑ (36,1%) και η Ρωσία (17,4%). Συγκεκριμένα οι ΗΠΑ το Μάρτιο του 2001 δήλωσαν ότι δε θα συμμετέχουν στα συμφωνηθέντα του Πρωτοκόλλου, διότι θεώρησαν ότι θα πληγεί η ανταγωνιστικότητα των βιομηχανιών και η οικονομία της χώρας γενικότερα. Στην 7^η Σύνοδο (COP-7) των μερών της διεθνούς Σύμβασης στο Μαρακές (11/2001), επεξεργάστηκαν οι τελικές λεπτομέρειες της συμφωνίας ώστε να ικανοποιηθούν τελικά οι - αρχικά διστακτικές - Ρωσία και Ιαπωνία. Περιμένοντας έτσι την συμμετοχή κυρίως της Ρωσίας, αναμένεται ότι το Πρωτόκολλο μπορεί να τεθεί σε ισχύ μέσα στο 2003, τη στιγμή που η ΕΕ και η Ελλάδα το έχουν ήδη επικυρώσει στα μέσα του 2002 [3].

ΥΠΟΧΡΕΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΛΑΔΑΣ

Στο πλαίσιο των δεσμεύσεων, που απορρέουν από την επικύρωση του Πρωτοκόλλου του Κυότο, η ΕΕ έχει δεσμευτεί για μείωση των εκπομπών της κατά 8% την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με τις εκπομπές του 1990. Ο διακανονισμός των επιμέρους υποχρεώσεων, στο εσωτερικό της ΕΕ αποτέλεσε το αντικείμενο συμφωνίας, στο Συμβούλιο Υπουργών Περιβάλλοντος τον Ιούνιο του 1998 (burden-sharing agreement). Οι υποχρεώσεις όλων των κρατών-μελών της ΕΕ με βάση τη συμφωνία αυτή παρουσιάζονται στον πίνακα 2 ξεκινώντας από τη χώρα με τη δέσμευση για μεγαλύτερη μείωση και φτάνοντας στο τέλος της λίστας στις χώρες εκείνες (συμπεριλαμβανομένης της Ελλάδας) που λόγω χαμηλών εκπομπών και περιθωρίων οικονομικής ανάπτυξης έχουν το δικαίωμα ελεγχόμενης αύξησης των εκπομπών GHG ως ένα ανώτατο όριο [9]:

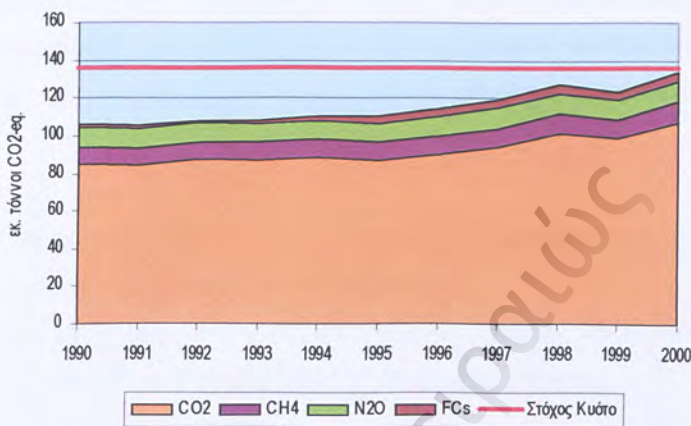
Πίνακας 2: Κατανομή των υποχρεώσεων των κρατών-μελών της ΕΕ για τη μείωση των εκπομπών 6 αερίων στην περίοδο 2008-2012 σε σχέση με το 1990.

ΧΩΡΑ	ΜΕΤΑΒΟΛΗ
<i>Λουξεμβούργο</i>	- 28%
<i>Γερμανία</i>	- 21.5%
<i>Δανία</i>	- 21.5%
<i>Αυστρία</i>	- 13%
<i>Ηνωμένο Βασίλειο</i>	- 12.5%
<i>Βέλγιο</i>	- 7%
<i>Ιταλία</i>	- 6.5%
<i>Ολλανδία</i>	- 6%
<i>Γαλλία</i>	0%
<i>Φιλανδία</i>	0%
<i>Σουηδία</i>	+ 5%
<i>Ιρλανδία</i>	+ 14%
<i>Ισπανία</i>	+ 15%
<i>Ελλάδα</i>	+ 25%
<i>Πορτογαλία</i>	+ 28%

Παρατηρούμε ότι η Ελλάδα έχει ένα περιθώριο αύξησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 25% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 (εξαιρούνται τα αέρια FCs με έτος αναφοράς το 1995). Με βάση όμως τη μεγάλη αύξηση των εκπομπών που έχει καταγραφεί κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90, κυρίως λόγω των εκπομπών CO₂, είναι πλέον ορατή μια σαφής απόκλιση από τους στόχους του Κυότο που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί άμεσα.

Στο Διάγραμμα 1 φαίνεται η εξέλιξη των συνολικών εκπομπών στον ελληνικό χώρο στην περίοδο 1990-2000, που είναι σταθμισμένες ως ισοδύναμες μονάδες βάρους CO₂. Παρατηρείται αύξηση των εκπομπών όλων των αερίων κατά 22%

περίπου, που σημαίνει ότι το περιθώριο αύξησης που προσδιορίζει το πρωτόκολλο του Κυότο έχει περιορισθεί σημαντικά.



Διάγραμμα 1: Εξέλιξη των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το στόχο του Κυότο (πηγή: ΕΚΠΑΑ)

1.5 ΜΕΤΡΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂

Για να επιτύχουν οι χώρες τις μειώσεις εκπομπών που ορίζονται από τις διεθνείς συμβάσεις, θα πρέπει να λάβουν μια σειρά μέτρων περιορισμού τους αφού πρώτα αξιολογήσουν οικονομικά την εφαρμογή τους. Από τα 6 αέρια του θερμοκηπίου, σπουδαιότερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εκπομπές CO₂ εξαιτίας της μεγάλης συμβολής του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Τα κυριότερα μέτρα περιορισμού των εκπομπών CO₂ είναι η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης που επιτυγχάνεται με μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αλλά και καυσίμων με χαμηλό συντελεστή εκπομπής CO₂ [3]. Παρακάτω αναφέρονται οι σημαντικότερες δράσεις-στρατηγικές που έχουν προταθεί για κάθε κρίσιμο τομέα ενεργειακής κατανάλωσης.

➤ **Ηλεκτροπαραγωγή:**

1. Προώθηση εγκατάστασης αιολικών πάρκων, μικρών υδροηλεκτρικών μονάδων, φωτοβολταϊκών και γεωθερμικών συστημάτων.
2. Εγκατάσταση μονάδων βιομάζας και χρήση φυσικού αερίου (με χαμηλό συντελεστή εκπομπής) στις μονάδες βάσης του ηλεκτρικού συστήματος, ώστε να βελτιωθεί το ενεργειακό μίγμα. Εγκατάσταση συστημάτων συμπαραγωγής.

➤ **Βιομηχανία:**

1. Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας που στοχεύουν στη μείωση των απωλειών και στην αξιοποίηση της απορριπτόμενης θερμότητας.
2. Προώθηση υποκατάστασης των κοινών καυσίμων (μαζούτ, ντίζελ) με χρήση φυσικού αερίου και αξιοποίηση της βιομάζας σε θερμικές χρήσεις.
3. Εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών.

➤ **Μεταφορές:**

1. Συστηματική συντήρηση αυτοκινήτων και φορτηγών.
2. Εφαρμογή μέτρων που αφορούν στην προώθηση χρήσης των μαζικών μέτρων μεταφοράς, κυκλοφοριακές ρυθμίσεις και βελτίωση της φωτεινής σηματοδότησης που συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας.
3. Χρήση φυσικού αερίου για την κίνηση των λεωφορείων και μελλοντικά νέων ‘καθαρότερων’ καυσίμων (υδρογόνο, βιοκαύσιμα).

➤ **Οικιακός-τριτογενής τομέας:**

1. Βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων με χρήση μονώσεων και διπλών υαλοστασίων.
2. Χρήση αποδοτικότερων ηλεκτρικών συσκευών, λαμπτήρων χαμηλής κατανάλωσης και αυτοματισμών φωτισμού.
3. Εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών για θέρμανση χώρων και νερού.
4. Συντήρηση και αντικατάσταση παλαιών λεβήτων κεντρικής θέρμανσης
5. Προώθηση της χρήσης φυσικού αερίου για θέρμανση και κλιματισμό [5].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΕΣ CO₂

2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η ενέργεια αποτελεί ένα αναντικατάστατο αγαθό που καλύπτει τόσο πρωταρχικές ανάγκες της κοινωνίας (θέρμανση, κίνηση, φωτισμός κλπ.) όσο και τις ανάγκες της παραγωγής. Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται συνεχώς από τη βιομηχανική επανάσταση. Μέχρι πρόσφατα, το ύψος της ενεργειακής κατανάλωσης μιας χώρας ήταν ενδεικτικό της οικονομικής της μεγέθυνσης και του βιοτικού επιπέδου των πολιτών. Η μεγέθυνση αυτή στηρίχθηκε στην αλόγιστη χρήση συμβατικών καυσίμων (παράγωγα πετρελαίου και άνθρακα), που σε παγκόσμιο επίπεδο καλύπτουν το 85% της ενεργειακής ζήτησης, ενώ στο σύνολο των ανεπτυγμένων χωρών το ποσοστό συμμετοχής τους φθάνει στο 95%.

Η σύνδεση της ενέργειας με το περιβάλλον είναι πολύ στενή και γίνεται ευρύτερα αντιληπτή από τη δεκαετία του '70 και έπειτα, όταν συνειδητοποιείται το πεπερασμένο των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων καθώς και το μεγάλο μερίδιο ευθύνης του ενεργειακού τομέα στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος και ιδιαίτερα της ατμόσφαιρας.

Η έκλυση μεγάλων ποσοτήτων CO₂ από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, ενίσχυσαν υπερβολικά το φαινόμενο του θερμοκηπίου και έχουν συμβάλει στην παρατηρούμενη κλιματική αλλαγή. Σε αυτές τις ανησυχητικές συνθήκες, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας και αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), χωρίς όμως ακόμη να έχει γίνει εφικτή η ευρεία διάδοση αυτών των τεχνολογιών στην αγορά. Σημαντικό εμπόδιο στην κατεύθυνση αυτή είναι ο τρόπος τιμολόγησης της ενέργειας που μέχρι πρόσφατα αγνοούσε το περιβαλλοντικό εξωτερικό κόστος της χρήσης των

συμβατικών καυσίμων, δημιουργώντας άνιστους όρους ανταγωνισμού με τις περιβαλλοντικά φιλικές τεχνολογίες και μορφές ενέργειας [10].

Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι η άμεση ενσωμάτωση της περιβαλλοντικής διάστασης στη διαμόρφωση των ενεργειακών πολιτικών αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την αναστροφή της παρούσας κατάστασης και τη μετάβαση προς την αειφόρο ανάπτυξη. Για να επιτευχθεί ο παραπάνω στόχος θα πρέπει να προηγηθεί μια συστηματική ανάλυση των παραμέτρων του ενεργειακού συστήματος της χώρας, αφού η κατάστασή του δεν καθορίζει απλώς το παρόν επίπεδο ενεργειακής χρήσης, συνεπώς και εκπομπών CO₂, αλλά επηρεάζει και τη δυνατότητα μελλοντικής μείωσης των εκπομπών.

2.2 ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας μπορούμε να πούμε ότι διακρίνεται σε πέντε βασικούς τομείς πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης:

❶ **Ηλεκτροπαραγωγή:** Περιλαμβάνει τις βασικές θερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μονάδες συμπαραγωγής, που καταναλώνουν ως επί το πλείστον λιγνίτη και μικρότερες ποσότητες υγρών καυσίμων (μαζούτ, ντίζελ) και φυσικού αερίου.

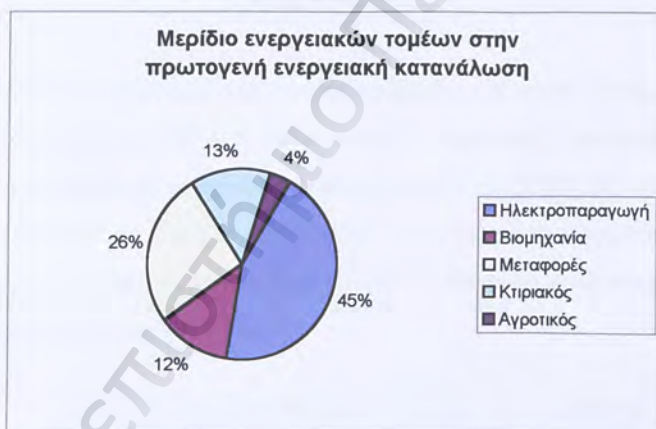
❷ **Βιομηχανία:** Αποτελείται από τους κλάδους μεταποίησης, τις κατασκευές και τα ορυχεία-λατομεία, που καταναλώνουν σχεδόν όλα τα είδη στερεών και υγρών καυσίμων, ενώ τα τελευταία χρόνια αυξάνεται το μερίδιο του φυσικού αερίου.

❸ **Μεταφορές:** Οι μεταφορές επιβατών και εμπορευμάτων, οδικώς, σιδηροδρομικώς, αεροπορικώς και δια θαλάσσης έχουν αρκετά μεγάλο μερίδιο στην κατανάλωση αποκλειστικά υγρών καυσίμων.

④ **Οικιακός-Τριτογενής (Κτιριακός) τομέας:** Η κατανάλωση υγρών καυσίμων, φυσικού αερίου και βιομάζας εξυπηρετεί τις οικιακές ανάγκες, το εμπόριο, τις ιδιωτικές και δημόσιες υπηρεσίες, την υγεία και την εκπαίδευση.

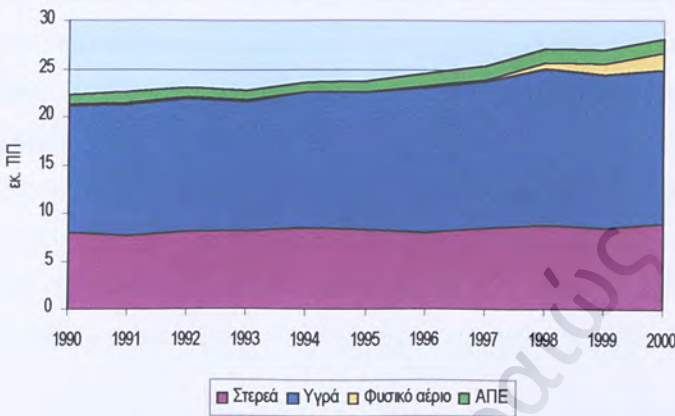
⑤ **Αγροτικός τομέας:** Οι ενεργειακές ανάγκες των γεωργικών και αλιευτικών μηχανημάτων εξυπηρετούνται από υγρά καύσιμα, όπως βενζίνη και ντίζελ.

Το μεγαλύτερο μερίδιο στη συνολική κατανάλωση πρωτογενών μορφών ενέργειας ανήκει στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, με ποσοστό 45% το 1999, ενώ ακολουθούν κατά φθίνουσα σειρά οι μεταφορές, ο κτιριακός τομέας, η βιομηχανία και τέλος με το μικρότερο ποσοστό κατανάλωσης ο αγροτικός τομέας (Διάγραμμα 2).



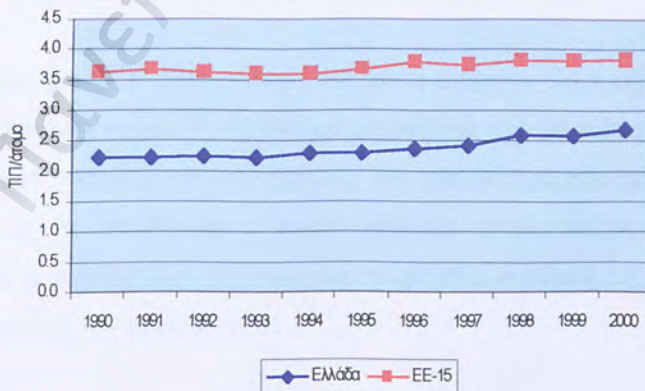
Η πρωτογενής ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς στη διάρκεια της δεκαετίας του '90 και η αύξηση αυτή αφορά κυρίως στα υγρά καύσιμα, των οποίων η συμμετοχή στο ενεργειακό μίγμα βρισκόταν στο 60% μέχρι το 1998, οπότε γίνεται αισθητή η διείσδυση του φυσικού αερίου. Το έτος 2000 το φυσικό αέριο αντιπροσωπεύει πλέον το 6% της συνολικής εγχώριας κατανάλωσης πρωτογενών μορφών ενέργειας [11].

Όπως παρατηρούμε στο Διάγραμμα 3, τα στερεά καύσιμα εμφανίζουν ένα σταθερό ύψος κατανάλωσης, ενώ οι ΑΠΕ δείχνουν μία ελαφρά ανοδική τάση.



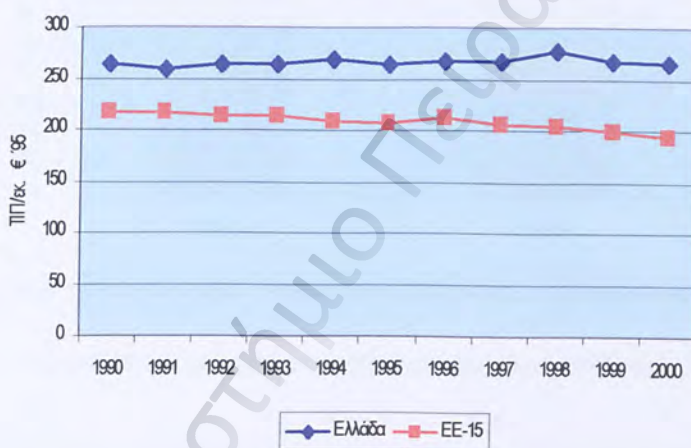
Διάγραμμα 3: Εξέλιξη κατανάλωσης πρωτογενών μορφών ενέργειας στην Ελλάδα (πηγή: ΕΚΠΑΑ)

Η αυξητική τάση στη ζήτηση και την κατανάλωση ενέργειας είναι σε μεγάλο βαθμό δικαιολογημένη, καθώς η κατά κεφαλή ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα είναι ακόμη πολύ χαμηλότερη (περίπου 30% το 2000) από το κοινοτικό μέσο όρο (Διάγραμμα 4). Με την άνοδο του βιοτικού επιπέδου και της σύγκλισης της ελληνικής οικονομίας με την ΕΕ, η διαφορά αυτή αναμένεται να μειωθεί δραστικά τα επόμενα χρόνια.



Διάγραμμα 4: Εξέλιξη ενεργειακής κατανάλωσης ανά άτομο Ελλάδας και ΕΕ (πηγή: ΕΚΠΑΑ)

Η υψηλή όμως ενεργειακή ένταση (ο λόγος της ενεργειακής κατανάλωσης προς το συνολικό ΑΕΠ) της χώρας δείχνει ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια μείωσης της πρωτογενούς ενεργειακής ζήτησης με την ορθολογική χρήση των ενεργειακών πόρων και την προώθηση τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας. Κατά τη τελευταία δεκαετία η απόκλιση της ενεργειακής έντασης από τον μέσο όρο της Ευρώπης, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5, διευρύνεται και το έτος 2000 φθάνει το 37%. Έτσι φανερώνεται καθαρά η μη παραγωγική χρήση της ενέργειας στην ελληνική οικονομία. Καθίσταται, λοιπόν, αναγκαία η εφαρμογή δράσεων για τη μείωση της ενεργειακής έντασης, έτσι ώστε να βελτιωθεί και η οικο-αποδοτικότητα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος [10].

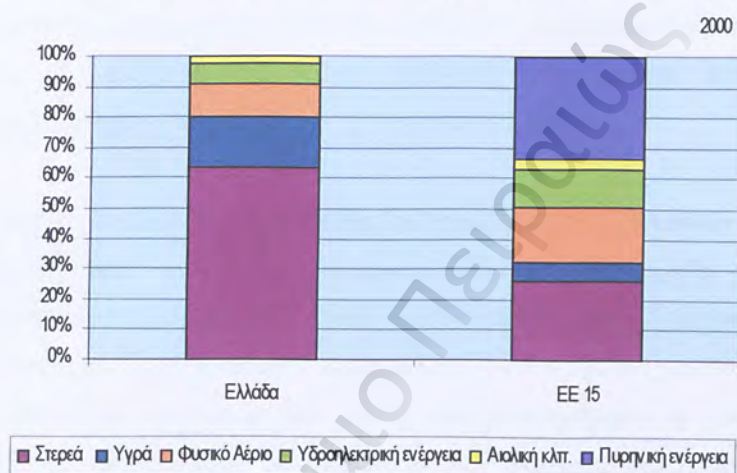


Διάγραμμα 5: Εξέλιξη ενεργειακής έντασης Ελλάδας και ΕΕ (πηγή: ΕΚΠΑΑ)

Στην Ελλάδα, όμως, το ζήτημα δεν είναι πόση ενέργεια αλλά κυρίως τι είδους ενέργεια χρησιμοποιείται. Το πρόβλημα εντοπίζεται στη γενικότερη διάρθρωση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, που χαρακτηρίζεται από μια έντονη προσκόλληση σε συμβατικά καύσιμα (λιγνίτη, ντίζελ, μαζούτ) με υψηλό συντελεστή εκπομπής CO₂, με συνέπεια τη μεγάλη συμβολή του ενεργειακού τομέα στις αέριες εκπομπές CO₂.

□ Στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής ειδικότερα, που κατέχει το μεγαλύτερο μερίδιο πρωτογενούς κατανάλωσης, η επιλογή της εντατικής αξιοποίησης των

εγχώριων αποθεμάτων λιγνίτη, αν και ορθή ως αντίδραση στην εποχή της ενεργειακής κρίσης για την ενίσχυση της αυτονομίας της χώρας, σήμερα – στην εποχή της ενοποίησης των δικτύων, της απελευθέρωσης των αγορών και της προστασίας του περιβάλλοντος – είναι αναγκαίο πια να αναθεωρηθεί. Στο Διάγραμμα 6 φαίνεται η σημαντική διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος της ηλεκτροπαραγωγής από εκείνο της ΕΕ, με κύρια χαρακτηριστικά την κυριαρχία του λιγνίτη στην Ελλάδα και της πυρηνικής ενέργειας στην ΕΕ.



Διάγραμμα 6: Σύνθεση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής το 2000 (πηγή: ΕΚΠΑΑ)

Οι βάσεις για αναθεώρηση και γενική αναδιάρθρωση του ενεργειακού μίγματος έχουν ήδη τεθεί. Οι υποδομές για την ανάπτυξη του φυσικού αερίου έχουν ολοκληρωθεί από το 1998 και το ποσοστό συμμετοχής του, ιδιαίτερα στην ηλεκτροπαραγωγή και στη βιομηχανία γίνεται πλέον υπολογίσιμο. Επίσης, το ιδιαίτερα θετικό θεσμικό πλαίσιο για την ανάπτυξη των ΑΠΕ δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη σημαντική αύξηση του ποσοστού συμμετοχής τους στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Ήδη έχουν αρχίσει να γίνονται ορατά τα αποτελέσματα από το ενδιαφέρον ανεξάρτητων κυρίως παραγωγών για επενδύσεις σε αιολικά πάρκα και μικρά υδροηλεκτρικά. Τέλος, αξιοπρόσεκτη είναι η ανάπτυξη των ηλιακών συλλεκτών, που φέρνει την Ελλάδα στην πρωτοπορία της ΕΕ στον τομέα της ενεργητικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας [10].

2.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Η συστηματική μελέτη της κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα μπορεί να δώσει μια σαφή εικόνα για τους τομείς εκείνους που συμβάλλουν περισσότερο ή λιγότερο στην παρατηρούμενη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης για την περίοδο που εξετάζεται. Επίσης, η ανάλυση της πρωτογενούς κατανάλωσης ανά τύπο καυσίμου διαμορφώνει άμεσα μια εικόνα για τη δομή του ενεργειακού μίγματος στην Ελλάδα, ώστε να εντοπιστούν τα κρίσιμα σημεία που χρειάζονται αναθεώρηση.

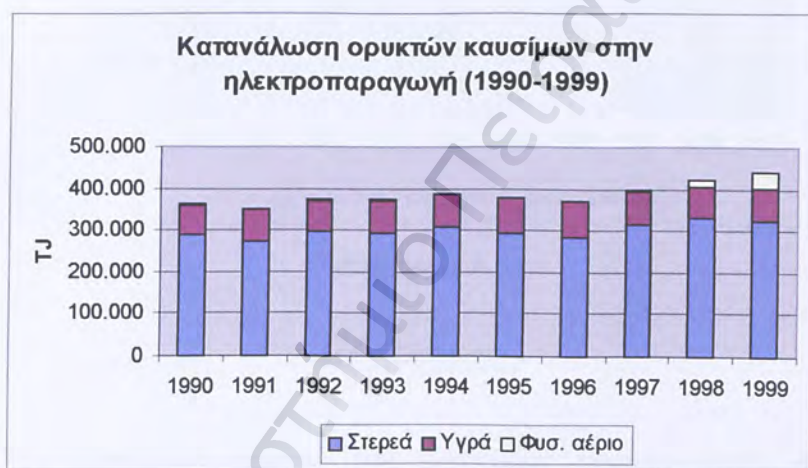
Εξάλλου, από το ύψος κατανάλωσης κάθε καυσίμου, μπορούν να υπολογιστούν με σχετική ακρίβεια οι αντίστοιχες εκπομπές CO₂ και να εκτιμηθεί έτσι η περιβαλλοντική πίεση που εξασκείται από τον ενεργειακό τομέα. Η καταγραφή των καταναλώσεων, ανά ενεργειακό τομέα και συνολικά, επικεντρώνεται στην περίοδο 1990-1999, με βάση την οποία πραγματοποιήθηκε η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων της εξέλιξης των εκπομπών CO₂ από το ενεργειακό σύστημα, που ακολουθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

☛ *Οι υπολογισμοί των καταναλώσεων για κάθε ενεργειακό τομέα έγιναν σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία (Energy Statistics) του διεθνούς Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) για τα 8 επικρατούντα καύσιμα στον ελληνικό χώρο: λιθάνθρακας, λιγνίτης/ γαιάνθρακας, υγραέριο, βενζίνη, πετρέλαιο-ντίζελ, μαζούτ, φυσικό αέριο, βιομάζα.*

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Η κατανάλωση ενέργειας στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής παρουσιάζει μια αυξητική τάση τη δεκαετία 1990-1999, με εξαίρεση κάποιες διακυμάνσεις στα μέσα της. Το έτος 1999 η κατανάλωση έχει αυξηθεί κατά 22% περίπου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, γεγονός που δικαιολογείται από την οικονομική

ανάπτυξη και την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, που επέβαλλαν υψηλούς ρυθμούς αύξησης στη ζήτηση και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κυρίως από τη βιομηχανία και τον οικιακό-τριτογενή τομέα. Στο Διάγραμμα 7 φαίνεται καθαρά η εξάρτηση από τα στερεά καύσιμα (χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά λιγνίτης), το μικρό ποσοστό κατανάλωσης υγρών καυσίμων και η απουσία εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου μέχρι και το 1997. Από το 1998 το φυσικό αέριο αρχίζει να καταλαμβάνει ένα σημαντικό κομμάτι του ενεργειακού ισοζυγίου με αυξητικές τάσεις το 1999, που συμβαδίζει με την έντονη αύξηση της συνολικής κατανάλωσης στην ηλεκτροπαραγωγή από το 1997 και έπειτα.

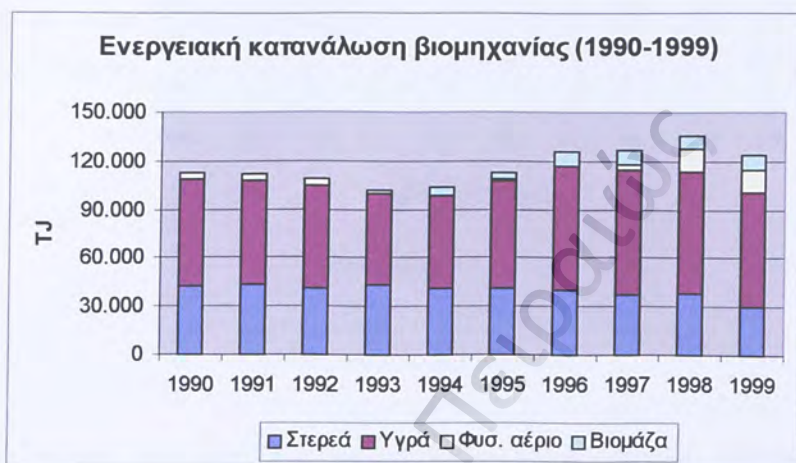


Διάγραμμα 7

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Στο βιομηχανικό τομέα η κατανάλωση καυσίμων ακολουθεί μια πτωτική πορεία στην αρχή της δεκαετίας, μέχρι και το έτος 1993. Από το 1994 και έπειτα η αύξηση της κατανάλωσης, λόγω της οικονομικής ανάπτυξης και αύξησης της παραγωγής, είναι συνεχόμενη και γρήγορη παρουσιάζοντας το μέγιστό της το έτος 1998 (Διάγραμμα 8). Καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου η συνολική αύξηση είναι 10%. Τα υγρά καύσιμα (κυρίως πετρέλαιο και μαζούτ) κατέχουν το μεγαλύτερο μερίδιο στη συνολική κατανάλωση, ενώ ακολουθεί η

κατανάλωση στερεών (κυρίως λιθάνθρακα) που όμως μειώνεται συνεχώς. Η συστηματική κατανάλωση του φυσικού αερίου, όπως και στην ηλεκτροπαραγωγή, αρχίζει μετά το 1997, ενώ παρατηρείται μια σταθερή μικρή εκμετάλλευση της βιομάζας από το 1994 και έπειτα.



Διάγραμμα 8

ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

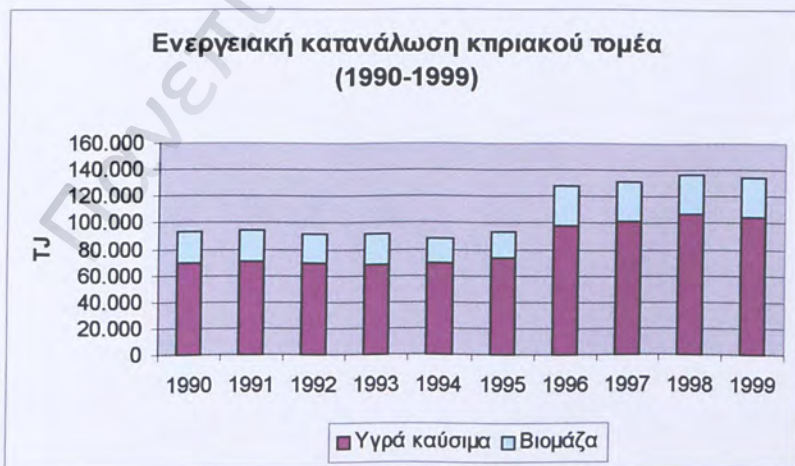
Για τις ενεργειακές ανάγκες των μεταφορών καταναλώνονται σχεδόν αποκλειστικά υγρά καύσιμα (κατά σειρά φθίνουσας κατανάλωσης: βενζίνη, ντίζελ, μαζούτ, υγραέριο). Η κατανάλωση ενέργειας στο συγκεκριμένο τομέα παρουσιάζει μια συνολική αύξηση 36% στο τέλος της εξεταζόμενης περιόδου, ενώ όπως παρατηρούμε στο Διάγραμμα 9 η αύξηση αυτή είναι ιδιαίτερα γρήγορη και συνεχής από την αρχή της δεκαετίας. Η εξέλιξη της κατανάλωσης εξηγείται από τη μεγέθυνση του στόλου των ιδιωτικών αυτοκινήτων και την αλλαγή στον τρόπο ζωής που επέφερε ραγδαία αύξηση στις καθημερινές μετακινήσεις και ιδιαίτερα στη χρήση του αυτοκινήτου τα τελευταία χρόνια. Αν προσθέσουμε και την γενικότερη οικονομική ανάπτυξη που έχει θετικό αντίκτυπο στη μεταφορά των εμπορευμάτων, γίνεται κατανοητή η αυξητική τάση της ενεργειακής ζήτησης στο μεταφορικό τομέα.



Διάγραμμα 9

ΚΤΙΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

Στον οικιακό και τριτογενή τομέα παρατηρείται μεγάλη αύξηση της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης από το 1995 μέχρι το τέλος της δεκαετίας. Ενώ στην αρχή της περιόδου που εξετάζεται επικρατούν σταθεροποιητικές τάσεις, από τα μέσα της και έπειτα η αύξηση είναι απότομη και το 1999 η συνολική αύξηση είναι 45% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.



Διάγραμμα 10

Πρωτεύοντα ρόλο σε αυτήν τη σημαντική αύξηση διαδραματίζει η άνοδος του βιοτικού επιπέδου του μέσου έλληνα που απαιτεί όλο και περισσότερες ανέσεις στο τόπο που κατοικεί και εργάζεται. Τα υγρά καύσιμα – κυρίως το ντίζελ – κατέχουν και σε αυτόν τον ενεργειακό τομέα το μεγαλύτερο μερίδιο κατανάλωσης, αφού εξυπηρετούν κατά κύριο λόγο τις ανάγκες θέρμανσης κατοικιών, καταστημάτων, υπηρεσιών και λοιπών δημόσιων χώρων. Η καύση βιομάζας έχει μια σημαντική και σταθερή ζήτηση, ενώ η κατανάλωση στερεών καυσίμων και φυσικού αερίου είναι αμελητέα. Η χρήση φυσικού αερίου, μετά την ολοκλήρωση του δικτύου διανομής του, αναμένεται να διαδοθεί και στον κτιριακό τομέα.

ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

Ο μοναδικός τομέας που δεν παρουσιάζει αυξητική τάση στην κατανάλωση πρωτογενών μορφών ενέργειας (υγρών καυσίμων) είναι ο αγροτικός. Από το έτος 1991 και έπειτα η κατανάλωση ακολουθεί φθίνουσα πορεία και στα τέλη της περιόδου σταθεροποιείται (Διάγραμμα 11), γεγονός που οφείλεται κυρίως στην έλευση σύγχρονων γεωργικών μηχανημάτων που εξοικονομούν ενέργεια, αλλά και στους χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης του κλάδου.



Διάγραμμα 11

Έτσι, στο σύνολο του ελληνικού ενεργειακού συστήματος η πρωτογενής κατανάλωση υπολογίζεται σε 997.216 TJ το έτος 1999, παρουσιάζοντας συνολική αύξηση 25% από τα επίπεδα κατανάλωσης του 1990 (798.165 TJ). Ο μέσος ρυθμός ετήσιας αύξησης είναι 2,25%, ενώ η μεγαλύτερη ετήσια αύξηση εντοπίζεται στο έτος 1998 (6,9%). Εξάιρεση αποτελεί το 1993, όπου η κατανάλωση εμφανίζεται λίγο μειωμένη σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι συνολικές ετήσιες καταναλώσεις για την περίοδο 1990-1999 και οι αντίστοιχες ετήσιες μεταβολές.

Πίνακας 3: Συνολική κατανάλωση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος

TJ	Συνολική κατανάλωση	Ετήσια μεταβολή
1990	798.165	-
1991	806.917	1,10 %
1992	824.296	2,15 %
1993	818.401	-0,72 %
1994	833.574	1,85 %
1995	841.360	0,93 %
1996	886.944	5,42 %
1997	927.529	4,58 %
1998	991.511	6,90 %
1999	997.216	0,58 %

Στο Διάγραμμα 12 φαίνεται καθαρά ότι το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης προέρχεται από τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Ακολουθεί ο τομέας των μεταφορών με τη δεύτερη μεγαλύτερη κατανάλωση και κατόπιν η βιομηχανία και ο κτιριακός τομέας που μοιράζονται σχεδόν το ίδιο ποσοστό κατανάλωσης επί της συνολικής. Ο αγροτικός τομέας κατέχει το μικρότερο μερίδιο κατανάλωσης καθ' όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. Επίσης, από το διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι τομείς που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συνολική αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης είναι ο κτιριακός και οι μεταφορές που παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους ρυθμούς ετήσιας αύξησης.



Διάγραμμα 12: Εξέλιξη συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης (1990-1999)

Ο λόγος της πρωτογενούς ενεργειακής ζήτησης προς τον πληθυσμό της χώρας ανά έτος, παρέχει ένα μέτρο της μέσης ζήτησης ενεργειακών πόρων. Στην Ελλάδα παρατηρούμε ότι μετά το 1995 η κατανάλωση καυσίμων αυξάνεται δυσανάλογα με τον αριθμό των κατοίκων που κάνουν χρήση της ενέργειας, γεγονός που αποδεικνύει ότι η οικονομική ανάπτυξη και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου αυξάνουν με ταχείς ρυθμούς την κατά κεφαλή ενεργειακή κατανάλωση, ώστε σταδιακά να προσεγγίσει εκείνη των ανεπτυγμένων χωρών της Ευρώπης (Διάγραμμα 13).



Διάγραμμα 13

2.4 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

Οι εκπομπές CO₂ στην Ελλάδα οφείλονται σχεδόν αποκλειστικά στον ενεργειακό τομέα. Από την κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων μπορεί να υπολογιστεί άμεσα το ύψος των εκπομπών CO₂ σε κάθε ενεργειακό κλάδο και συνολικά, με τη βοήθεια κατάλληλων συντελεστών εκπομπής που λαμβάνουμε από σχετική βιβλιογραφία και έχουν διασταυρωθεί με σύγχρονα ελληνικά δεδομένα. Ενδεικτικά στον Πίνακα 4 καταγράφονται οι συντελεστές εκπομπής CO₂ που εφαρμόστηκαν στους υπολογισμούς για τα οχτώ βασικά καύσιμα του ενεργειακού μας συστήματος.

Πίνακας 4: Συντελεστές εκπομπής καυσίμων για τον ελληνικό χώρο

ΚΑΥΣΙΜΟ	Συντελεστής εκπομπής (t CO ₂ / TJ)
λιθάνθρακας	94,6
λιγνίτης	124
υγραέριο	63,1
βενζίνη	69,3
πετρέλαιο-ντίζελ	74,1
μαζούτ	77,4
φυσικό αέριο	56,1
βιομάζα	0

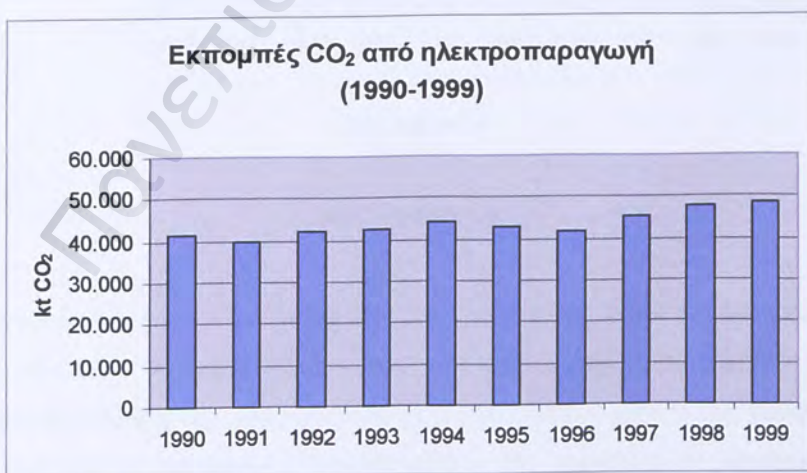
Παρατηρούμε ότι τα στερεά καύσιμα – λιθάνθρακας και λιγνίτης – παρουσιάζουν το μεγαλύτερο συντελεστή εκπομπής, ιδιαίτερα ο ελληνικός λιγνίτης που κατά την καύση του εκπέμπονται 124 τόνοι CO₂ ανά TJ που καταναλώνεται. Τα υγρά καύσιμα εμφανίζουν επίσης σχετικά υψηλό συντελεστή, ενώ το φιλικότερο περιβαλλοντικά συμβατικό καύσιμο είναι το φυσικό αέριο που εκπέμπει τις μικρότερες ποσότητες CO₂, γι' αυτό και στην Ελλάδα επιδιώκεται η διάδοση της χρήσης του στη βιομηχανία και τον κτιριακό

τομέα. Τέλος, θεωρούμε ότι η βιομάζα έχει μηδενικό συντελεστή διότι η ποσότητα CO₂ που απελευθερώνεται κατά την καύση της έχει προηγουμένως δεσμευθεί κατά το σχηματισμό της.

Παρακάτω δίνονται οι εκπομπές CO₂ από κάθε ενεργειακό τομέα και στο τέλος συγκεντρωτικά για το σύνολο του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για την περίοδο 1990-1999, με βάση την οποία θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων των συνολικών εκπομπών CO₂ που ακολουθεί στο Κεφάλαιο 4.

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

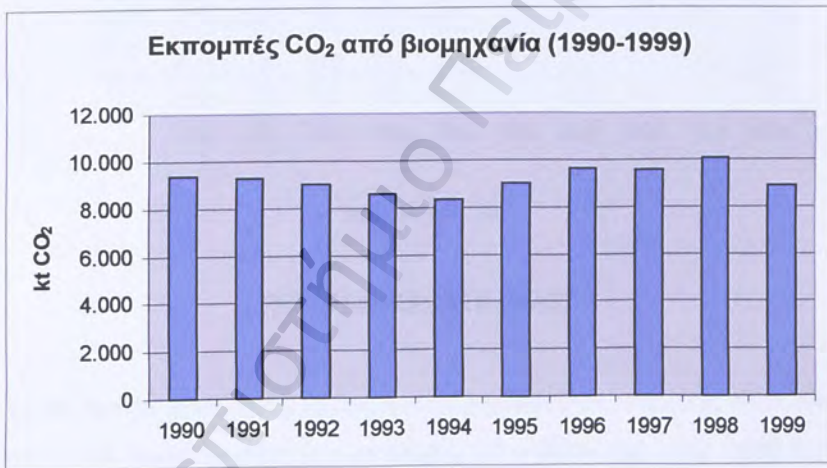
Οι εκπομπές CO₂ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής ακολουθούν, όπως είναι αναμενόμενο, την αυξητική τάση της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης, όμως με μικρότερο ρυθμό αύξησης προς το τέλος της δεκαετίας, που βελτιώνεται κάπως το ενεργειακό μίγμα με την είσοδο του φυσικού αερίου. Έτσι, με εξαίρεση τα έτη 1991, 1995 και 1996, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου οι εκπομπές αυξάνονται και το έτος 1999 εμφανίζονται κατά 17% αυξημένες σε σχέση με το έτος βάσης 1990.



Διάγραμμα 14

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Η μερική διαφοροποίηση του μίγματος καυσίμων στο βιομηχανικό τομέα φαίνεται προς δρα ανασταλτικά στις εκπομπές CO₂ που δεν ακολουθούν τη μικρή αυξητική τάση της κατανάλωσης πρωτογενών μορφών ενέργειας. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 15 το ύψος των εκπομπών παρουσιάζει αρκετές διακυμάνσεις μέχρι το τέλος της περιόδου όπου έχουμε τελικά μια συνολική μικρή μείωση κατά 5%. Αυτό οφείλεται κυρίως στη σημαντική μείωση της κατανάλωσης το έτος 1999, ενώ καθοριστικό ρόλο φαίνεται να παίζει η σταδιακή είσοδος του φυσικού αερίου και της βιομάζας και η μείωση του μεριδίου των στερεών καυσίμων.

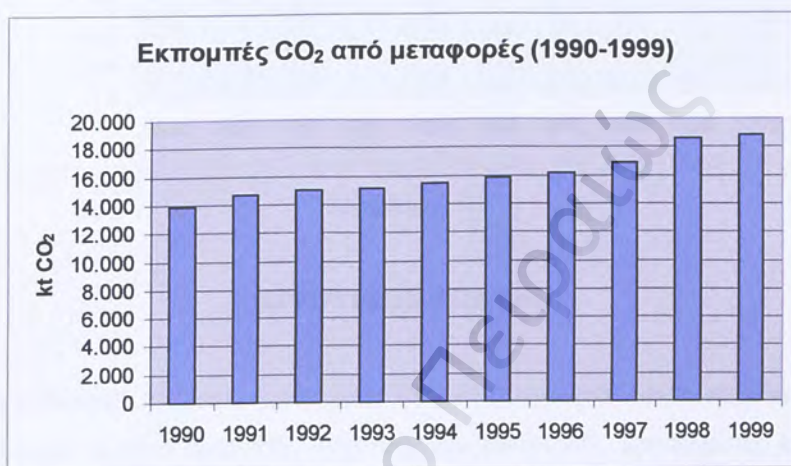


Διάγραμμα 15

ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Η συνολική αύξηση των εκπομπών στις μεταφορές κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '90 υπολογίστηκε ότι είναι 36%, όσο είναι περίπου και η αντίστοιχη αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι, προφανώς, δεν έγινε καμία ουσιαστική διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος του τομέα, που να αποσυνδέσει κάπως την πορεία των εκπομπών CO₂ από αυτήν της

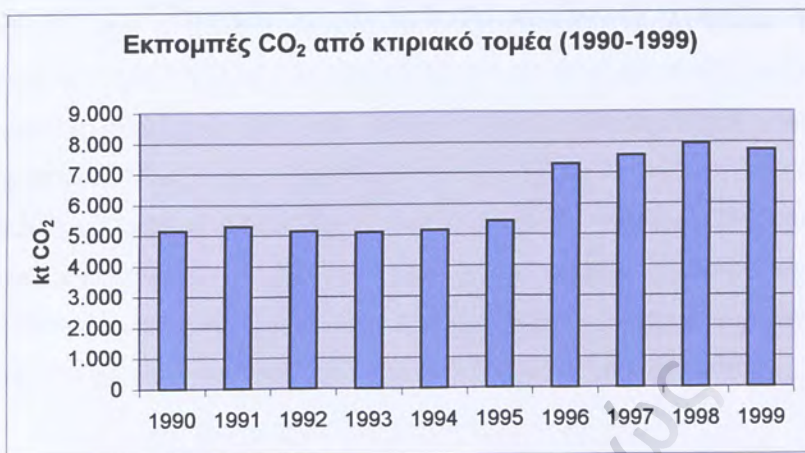
κατανάλωσης. Όπως είναι φυσικό, η βενζίνη και το ντίζελ, με παρόμοιους συντελεστές εκπομπής, εξακολουθούν μέχρι το τέλος της περιόδου να κατέχουν το μεγάλο μερίδιο της κατανάλωσης των μεταφορών. Στο Διάγραμμα 16 εικονίζεται η συνεχόμενη και ομαλή αύξηση των εκπομπών, που μετά το 1998 ξεπερνά τους 18.000 kt CO₂.



Διάγραμμα 16

ΚΤΙΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

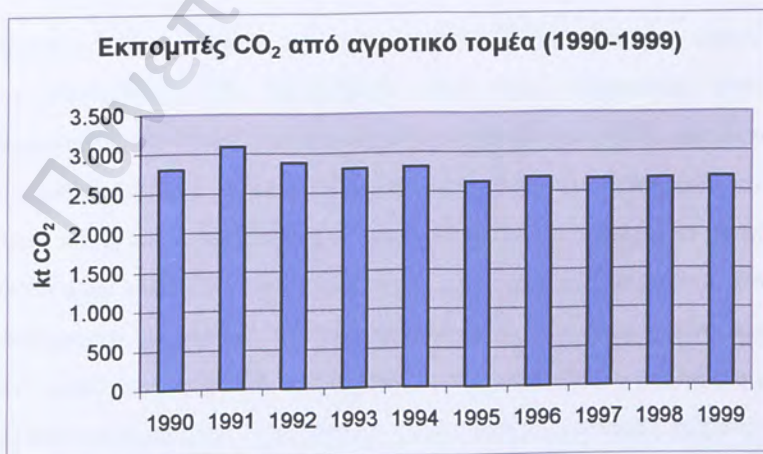
Στα πέντε πρώτα χρόνια της εξεταζόμενης περιόδου οι εκπομπές στον οικιακό και τριτογενή τομέα παραμένουν σταθερές, λίγο πάνω από τους 5.000 kt CO₂. Από το 1995 και έπειτα, όμως, παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση των εκπομπών, που ακολουθεί την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης (Διάγραμμα 17). Η συνολική αύξηση ξεπερνάει το 50% και ουσιαστικά οφείλεται στην απότομη αύξηση της κατανάλωσης του ντίζελ, κυρίως στον οικιακό χώρο, που εκτόξευσε τις εκπομπές CO₂ κατά την τετραετία 1996-1999. Έτσι, με την απουσία ακόμα της συστηματικής εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου, φαίνεται τελικά ότι το μίγμα καυσίμων στον κτιριακό τομέα κάθε άλλο παρά βελτιώθηκε στη δεκαετία του '90.



Διάγραμμα 17

ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

Όπως είναι αναμενόμενο, οι εκπομπές CO₂ στον αγροτικό τομέα παρουσιάζουν μια ελαφρά πτώση κατά 5% στην περίοδο 1990-1999, βρισκόμενες έτσι σε πλήρη αντιστοιχία με την πορεία της ενεργειακής κατανάλωσης. Όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 18, οι εκπομπές ακολουθούν μια φθίνουσα πορεία μετά το 1991, ενώ από τα μέσα της δεκαετίας και έπειτα σταθεροποιούνται. Η διάρθρωση του ενεργειακού μίγματος δεν παρουσιάζει ουσιαστικές διαφορές.



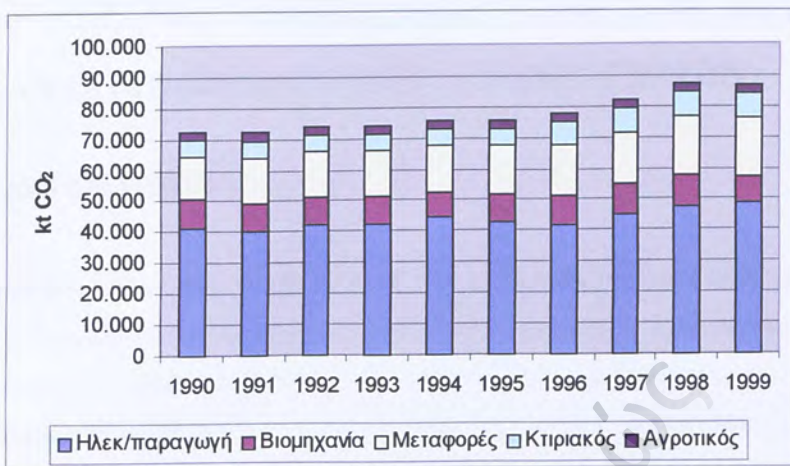
Διάγραμμα 18

Στο σύνολο του ελληνικού ενεργειακού συστήματος οι εκπομπές CO₂ υπολογίζονται σε 86.577kt CO₂ το έτος 1999, παρουσιάζοντας συνολική αύξηση 19,4% από τα επίπεδα εκπομπών του 1990 (72.496kt). Ο μέσος ρυθμός ετήσιας αύξησης είναι 1,79%, ενώ η μεγαλύτερη ετήσια αύξηση εντοπίζεται στο έτος 1998 (6,32%). Εξαιρέση αποτελούν τα έτη 1991, 1993, 1995 και 1999 όπου η ποσότητα των εκπομπών εμφανίζεται ελάχιστα μειωμένη σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο έτος. Στον Πίνακα 4 καταγράφονται οι συνολικές ετήσιες εκπομπές για την περίοδο 1990-1999 και οι αντίστοιχες ετήσιες μεταβολές.

Πίνακας 5: Συνολικές εκπομπές CO₂ από το ενεργειακό σύστημα της χώρας

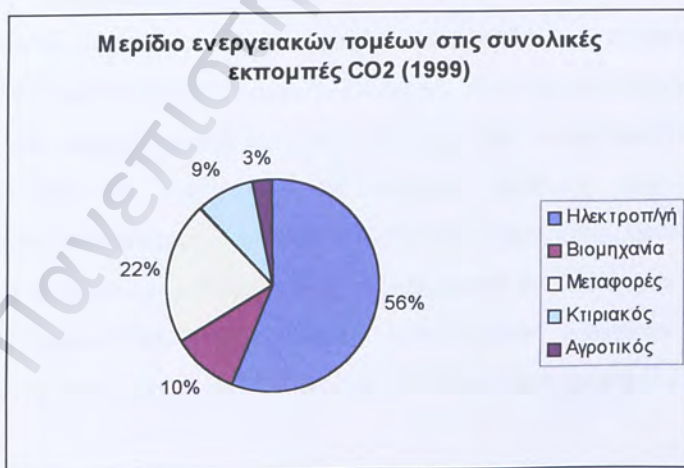
kt CO ₂	Συνολικές εκπομπές	Ετήσια μεταβολή
1990	72.496	-
1991	72.413	-0,11 %
1992	74.277	2,57 %
1993	74.182	-0,13 %
1994	75.912	2,33 %
1995	75.741	-0,23 %
1996	77.627	2,49 %
1997	81.886	5,49 %
1998	87.058	6,32 %
1999	86.577	-0,55 %

Στο Διάγραμμα 19 φαίνεται ότι το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος των συνολικών εκπομπών CO₂ προέρχεται από τους θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (56% επί των συνολικών εκπομπών το 1999). Ακολουθεί ο τομέας των μεταφορών με τη δεύτερη μεγαλύτερη ποσότητα εκπομπών, κατόπιν η βιομηχανία και ο κτιριακός τομέας. Ο αγροτικός τομέας κατέχει το μικρότερο μερίδιο εκπομπών καθ' όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. Επίσης, από το διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι τομείς που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη συνολική αύξηση των εκπομπών είναι ο κτιριακός και οι μεταφορές που παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους ρυθμούς ετήσιας αύξησης.



Διάγραμμα 19

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ενδεικτικά το ποσοστό εκπομπών κάθε τομέα ενεργειακής κατανάλωσης επί των συνολικών ετήσιων εκπομπών CO₂ για το έτος 1999. Επισημαίνεται ότι ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής και οι μεταφορές ευθύνονται μαζί για το 78% των συνολικών ετήσιων εκπομπών, ενώ οι άλλοι τρεις ενεργειακοί τομείς μοιράζονται το υπόλοιπο 22%.



Διάγραμμα 20

3.1 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Μετά από την ενεργειακή κρίση του 1973/74, οι περισσότερες αναπτυγμένες χώρες προσπάθησαν να ελαχιστοποιήσουν την ενεργειακή τους εξάρτηση, επιδιώκοντας τη μείωση της σχετικής οικονομικής επιβάρυνσης και την εξοικονόμηση των λιγοστών ενεργειακών πόρων. Αυτές οι προσπάθειες είχαν ως κύριο σκοπό την προώθηση μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας και είναι χαρακτηριστικό ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, επιτεύχθηκε μια σημαντική μείωση της ενεργειακής έντασης των χωρών αυτών. Εντούτοις, η μεταβολή της ενεργειακής χρήσης που παρατηρήθηκε, επηρεάστηκε και από άλλους παράγοντες που σχετίζονται με το ρυθμό και τον προσανατολισμό της γενικότερης οικονομικής ανάπτυξης στις χώρες αυτές.

Από τη δεκαετία του '80, η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων, ή ανάλυση αποσύνθεσης (decomposition analysis) όπως εναλλακτικά αποδίδεται, χρησιμοποιήθηκε εκτενώς σε μία προσπάθεια να εξηγηθούν οι μηχανισμοί που επηρεάζουν την κατανάλωση ενέργειας. Ο σκοπός ήταν να προσδιοριστούν οι παράγοντες οι οποίοι προκαλούν τις αλλαγές που παρατηρούνται στην κατανάλωση και να υπολογιστεί η σχετική συμβολή του καθενός, χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα στατιστικά στοιχεία ενεργειακής κατανάλωσης. Κατά αυτόν τον τρόπο, τα αποτελέσματα που εξάγονται βοηθούν στην εκτίμηση μελλοντικών τάσεων και στο σχεδιασμό κατάλληλων πολιτικών για την αποσύνδεση της οικονομικής ανάπτυξης από την ενεργειακή χρήση [12].

Οι τεχνικές ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων εφαρμόστηκαν αρχικά στον βιομηχανικό τομέα που αποτελούσε την κύρια κατευθυντήρια δύναμη της οικονομικής ανάπτυξης και έναν από τους σημαντικότερους τομείς τελικής ενεργειακής ζήτησης. Επιπλέον, η βιομηχανία είναι από τη φύση της πιο

ευαίσθητη στις τιμές της ενέργειας και τις τεχνικές αλλαγές. Σε πρόσφατες μελέτες, βεβαίως, οι τεχνικές ανάλυσης έχουν επεκταθεί και σε άλλους τομείς ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ αντικείμενο εφαρμογής έχει αποτελέσει και το σύνολο του ενεργειακού συστήματος.

Σε όλες τις σχετικές μελέτες η ανάλυση έχει εστιάσει σε τέσσερις διαφορετικούς παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στις μεταβολές της ενεργειακής κατανάλωσης. Αυτοί αναφέρονται: (α) στη *συνολική παραγωγή*, (β) στις *δομικές αλλαγές* που αναφέρονται σε μετατοπίσεις μεταξύ διαφορετικών τομέων κατανάλωσης ενέργειας, (γ) στην *ενεργειακή ένταση* που απεικονίζει τις μεταβολές των τιμών και τις επενδύσεις σε τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας και (δ) στο *ενεργειακό μίγμα* που προσδιορίζει το μερίδιο κατανάλωσης για κάθε καύσιμο ή άλλη πηγή ενέργειας. Επιπλέον, οι περισσότερες από αυτές τις μεθόδους είναι σε θέση να προσδιορίσουν τη συνδυασμένη επίδραση και των τεσσάρων παραγόντων.

Στη δεκαετία του '90, η αυξανόμενη υποβάθμιση του περιβάλλοντος που παρατηρήθηκε σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο μετατόπισε την ανησυχία των αναλυτών και των φορέων που χαράσσουν πολιτικές προς τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της ενεργειακής χρήσης. Συγκεκριμένα, έχει πλέον αναγνωριστεί ότι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης δεν αρκεί για την εξασφάλιση οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας. Κατά συνέπεια, η ποιοτική διάσταση της ενεργειακής χρήσης γίνεται όλο και περισσότερο σημαντική. Μια πηγή σημαντικής περιβαλλοντικής ανησυχίας είναι το παγκόσμιο φαινόμενο θέρμανσης της γης λόγω της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, και το νέο ερώτημα που τίθεται είναι πώς μπορούν να διαχωριστούν οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου τόσο από την οικονομική ανάπτυξη όσο και από την κατανάλωση ενέργειας [13].

Σαν απάντηση στις νέες ανάγκες χάραξης περιβαλλοντικών πολιτικών, η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων έχει επεκταθεί προκειμένου να

προσδιοριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν τις μεταβολές στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και ειδικότερα στο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που είναι ο σημαντικότερος συνεισφέρων παράγων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κατά την εφαρμογή των σχετικών αναλύσεων, οι εκπομπές των αερίων που οφείλονται στην ενεργειακή χρήση, υπολογίζονται από τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμων, χρησιμοποιώντας κατάλληλους συντελεστές εκπομπής.

3.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Κάθε μελέτη ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων ακολουθεί κανονικά μια διαδικασία τεσσάρων βημάτων:

1. συλλογή ενός συνόλου ενεργειακών, οικονομικών και άλλων δεδομένων για την περίοδο που εξετάζεται,
2. επιλογή ή ανάπτυξη μιας μεθόδου αποσύνθεσης με βάση το αντικείμενο μελέτης και τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα,
3. εφαρμογή της μεθόδου που επιλέχθηκε ή αναπτύχθηκε στα δεδομένα, ώστε να προκύψουν τα απαιτούμενα αποτελέσματα,
4. χρήση αυτών των αποτελεσμάτων για την ερμηνεία των παρατηρούμενων μεταβολών και τον προσδιορισμό των συμβαλλόμενων παραγόντων.

Οι ευρύτερα εφαρμοσμένες τεχνικές ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο γενικές κατηγορίες:

❶ *Τεχνικές βασισμένες σε ανάλυση εισροών-εκροών*: Είναι σε θέση να αναγνωρίσουν την επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας των τεχνολογικών αλλαγών και των δομικών μετατοπίσεων στο μακροοικονομικό περιβάλλον. Παρά τις απλουστευτικές υποθέσεις τους, οι τεχνικές που βασίζονται σε εισροές-εκροές έχουν ένα έγκυρο θεωρητικό υπόβαθρο και παρέχουν μια λεπτομερή εικόνα για τη σχέση μεταξύ ενεργειακής χρήσης και μακροοικονομικών μεταβλητών. Το κύριο μειονέκτημά τους είναι ότι δεν

επιτρέπουν τις διεθνείς συγκρίσεις δεδομένου ότι οι πίνακες εισροών-εκροών διαφορετικών χωρών είναι δύσκολα συγκρίσιμοι ο ένας με τον άλλον [14].

② *Τεχνικές αποσύνθεσης που βασίζονται είτε σε απλές αλγεβρικές μεθόδους είτε σε δείκτες:* Αν και πολύ απλούστερες από τις τεχνικές που βασίζονται σε εισροές-εκροές και έχοντας αποτύχει στην εξέταση σημαντικών μακροοικονομικών παραμέτρων, οι συγκεκριμένες μέθοδοι επιτυγχάνουν να προσδιορίσουν τους κρισιμότερους παράγοντες που επηρεάζουν τις αλλαγές στην ενεργειακή κατανάλωση. Επιπλέον, λόγω της απλότητάς τους, η συλλογή δεδομένων και η υπολογισμοί διεξάγονται με ευκολία, ενώ είναι σημαντικό ότι επιτρέπουν τις συγκρίσεις μεταξύ χωρών [12].

Φαίνεται, λοιπόν, ότι οι τεχνικές της δεύτερης κατηγορίας, λόγω των συγκεκριμένων πλεονεκτημάτων, παρουσιάζουν έντονο ενδιαφέρον και με βάση αυτές έχουν πραγματοποιηθεί οι περισσότερες σύγχρονες μελέτες, ειδικά εκείνες που περιλαμβάνουν διακρατικές συγκρίσεις. Επισημαίνεται ότι και η μέθοδος αποσύνθεσης που εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία βασίζεται σε μια τεχνική αλγεβρικών υπολογισμών που προτάθηκε το 1992 από τον Park. Παρακάτω γίνεται μια αναφορά των σημαντικότερων σχετικών προσεγγίσεων που αναπτύχθηκαν.

Η πρώτη αλγεβρική μέθοδος ανάλυσης αναπτύχθηκε από τους Hankinson και Rhys (1983), που την εφάρμοσαν για την ανάλυση των τάσεων κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας στη βιομηχανία [15]. Κατόπιν οι Reitler, Rudolph και Schaefer (1987) πρότειναν μια νέα μέθοδο (την ονομαζόμενη RRS) για την ανάλυση των μεταβολών της ενεργειακής κατανάλωσης στο βιομηχανικό τομέα, που τροποποιούσε και βελτιώνει κατά κάποιον τρόπο την προγενέστερη προσπάθεια των Hankinson και Rhys [16]. Είναι γεγονός, όμως, ότι η συγκεκριμένη μέθοδος προκάλεσε κάποια εύλογα ερωτηματικά κατά την εφαρμογή της. Καταρχήν, όπως έδειξαν μεταγενέστερες μελέτες, η έννοια της ξεχωριστής επίδρασης κάποιου δεδομένου παράγοντα αποδίδεται καλύτερα με

την επίδραση μιας μεταβολής του παράγοντα από την περίοδο βάσης, *ceteris paribus*, ενώ η RRS μέθοδος λαμβάνει τη μέση τιμή του παράγοντα μεταξύ της περιόδου βάσης και της τελικής περιόδου. Δεύτερον, και σημαντικότερο, η RRS μέθοδος απέτυχε στο να εισάγει με σαφήνεια τη δομική αλλαγή ως μεταβλητή στην αλγεβρική εξίσωση. Έχοντας υπόψη τα συγκεκριμένα ζητήματα, ο Se-Hark Park (1992) ανέπτυξε στη συνέχεια μια συνεπέστερη λογικά μέθοδο για την ανάλυση της βιομηχανικής ενεργειακής κατανάλωσης. Εφαρμόζοντας, μάλιστα, τη μέθοδο αυτή για τα ίδια απλά αριθμητικά δεδομένα που είχαν χρησιμοποιηθεί και στη μελέτη RRS έδειξε ότι οι δύο μέθοδοι παρέχουν έντονα διαφορετικά αποτελέσματα [17].

Ιδιαίτερα δημοφιλείς είναι οι τεχνικές αποσύνθεσης της δεύτερης κατηγορίας που βασίζονται σε δείκτες, αφού πολλοί ενεργειακοί αναλυτές έχουν προτείνει και εφαρμόσει σχετικές μεθόδους. Οι Boyd et al. (1988) παρουσίασαν την προσέγγιση δεικτών Divisia, χρησιμοποιώντας την για την ανάλυση των μεταβολών της ενεργειακής έντασης και συγκρίνοντας την αποτελεσματικότητά της σε σχέση με άλλες εφαρμοσμένες μεθόδους [18]. Κατόπιν οι Howarth et al. (1991) τυποποίησαν την προσέγγιση δεικτών Laspeyres, που αποτελούσε το πρότυπο ανάλυσης σε πρωταρχικές έρευνες που δημοσιεύτηκαν πριν το 1985, ώστε να εφαρμοστεί για την αποσύνθεση των επιδράσεων της παραγωγής, της δομής και της ενεργειακής έντασης στις μεταβολές της ενεργειακής χρήσης στον τομέα μεταποίησης οχτώ χωρών του ΟΟΣΑ.

Για την εκτίμηση της συμβολής της ενεργειακής έντασης, παραδείγματος χάρη, στη συνολική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης, θεωρείται ότι οι άλλοι δύο παράγοντες παραμένουν στα επίπεδα της περιόδου βάσης και υπολογίζεται η διαφορά της κατανάλωσης που προκύπτει από τη μεταβολή της ενεργειακής έντασης. Ομοίως, εκτιμάται και η συμβολή των υπολοίπων παραγόντων. Αν υπάρχει διαφορά μεταξύ του αθροίσματος των επιδράσεων των τριών παραγόντων και της συνολικής μεταβολής της ενεργειακής κατανάλωσης, αποδίδεται ως όρος υπολείμματος [19].

Είναι γεγονός ότι την τελευταία δεκαετία οι προσεγγίσεις Divisia και Laspeyres αποτελούν τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες μεθόδους ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι τα αποτελέσματα που λαμβάνονται κατά την εφαρμογή τους στο ίδιο ενεργειακό σύστημα μοιάζουν εντυπωσιακά. Αξιοσημείωτες διαφορές υπάρχουν μόνο στη δυσμενή περίπτωση κατά την οποία οι υπολειμματικοί όροι που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου αποσύνθεσης είναι σημαντικοί, ιδιαίτερα στην προσέγγιση Laspeyres, όπου ο σχετικός κίνδυνος είναι μεγαλύτερος επειδή, σε αντίθεση με την προσέγγιση Divisia, οι τιμές είναι σταθεροποιημένες [20].

Γενικά, η ύπαρξη του υπολείμματος αποτελεί κοινό πρόβλημα των μεθόδων ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων. Στις περισσότερες μελέτες που έχουν γίνει, οι υπολειμματικοί όροι παραλείπονται και δεν λαμβάνονται υπόψη στα αποτελέσματα της αποσύνθεσης, γεγονός που σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί σε αρκετά μεγάλο υπολογιστικό σφάλμα. Σε κάποιες άλλες μελέτες, με κυριότερη εκείνη του Park (1992), αποδίδονται ως όροι αλληλεπίδρασης των παραγόντων και εξετάζονται αθροιστικά στα αποτελέσματα της ανάλυσης, ως ένας συνολικός όρος αλληλεπιδράσεων που κατέχει συγκεκριμένο ποσοστό συμβολής. Όμως και πάλι αφήνονται πολλά ερωτηματικά για την πλήρη ερμηνεία της επίδρασής τους.

Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε από σχετική μελέτη του Sun (1998) για τις αλλαγές στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας, στην οποία προτείνεται μια νέα μέθοδος ανάλυσης που χαρακτηριστικά ονομάστηκε 'πλήρης ανάλυση αποσύνθεσης' (complete decomposition analysis). Βασισμένη κυρίως στην προσέγγιση Laspeyres, αυτή η νέα τεχνική παρακάμπτει το πρόβλημα εμφάνισης υπολειμματικών όρων στην τελική εξίσωση, κατανέμοντάς τους ισόποσα στις επιδράσεις κάθε μεμονωμένου παράγοντα. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύχθηκε ένα αξιόπιστο και ακριβές μοντέλο ανάλυσης, που κατόπιν υιοθέτησαν αρκετοί αναλυτές και αποτελεί ίσως τη σημαντικότερη εξέλιξη στις νεότερες μελέτες ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων [21].

3.3 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΓΕΝΕΣΤΕΡΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Οι Ang και Zhang (2000) δημοσίευσαν μια ανασκόπηση όλων των ενεργειακών και περιβαλλοντικών μελετών ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων που έγιναν από το 1978 έως το 1999. Από τη συγκεκριμένη προσπάθεια, προέκυψε ότι πραγματοποιήθηκαν συνολικά 124 σχετικές μελέτες που διαφοροποιούνται ως προς την επιλεγμένη μέθοδο αποσύνθεσης, τον τομέα εφαρμογής (ενεργειακή κατανάλωση / εκπομπές αερίων θερμοκηπίου), την περιοχή και το επίπεδο διαχωρισμού του ενεργειακού τομέα που εξετάζεται.

Παρατηρήθηκε ότι έχουν πραγματοποιηθεί περισσότερες μελέτες που αφορούν στις μεταβολές της ενεργειακής κατανάλωσης – ιδιαίτερα του βιομηχανικού τομέα – από ότι εκείνες που διαπραγματεύονται τις αλλαγές στις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου, αφού η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων επεκτάθηκε σχετικά πρόσφατα σε αυτό το πεδίο εφαρμογής. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι την περίοδο 1992-1999 οι μελέτες σχετικά με τις εκπομπές αερίων, κυρίως CO₂, αυξήθηκαν αλματωδώς, κατέχοντας σημαντικό μερίδιο, της τάξης του 34% του συνόλου των μελετών. Αυτό αποδεικνύει το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της χρήσης ενέργειας και την έντονη ανησυχία για την πορεία της παρατηρούμενης κλιματικής αλλαγής [20].

Όσον αφορά στις διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν στις δημοσιευμένες μελέτες, διαπιστώθηκε ότι δημοφιλέστερη είναι η προσέγγιση Laspeyres, αν και το μερίδιό της στις πρόσφατες μελέτες έχει μειωθεί αισθητά. Έτσι, για τις μελέτες που δημοσιεύτηκαν στη διάρκεια της περιόδου 1992-1999, η προσέγγιση δεικτών Laspeyres κατέχει μερίδιο 45%, η προσέγγιση Divisia 28% και όλες οι υπόλοιπες 27%.

Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι τα αποτελέσματα των μελετών παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες ανάλογα με τη χώρα που εφαρμόζονται. Όμως, παρά τις

αναμενόμενες διαφορές που οφείλονται σε διαφορετικές μεθοδολογίες, χρονικά διαστήματα, χώρες και ενεργειακούς τομείς που εξετάζονται, όλες οι μελέτες συγκλίνουν σε μερικά κοινά βασικά συμπεράσματα. Για τις βιομηχανοποιημένες χώρες, η πτώση της ενεργειακής έντασης ανά τομέα φαίνεται πως αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα που συμβάλει στη μείωση της συνολικής ενεργειακής έντασης αλλά και της έντασης εκπομπών CO₂. Στις χώρες αυτές, δηλαδή, σημειώθηκε μια σημαντική αύξηση της παραγωγής, η οποία συνοδεύτηκε από μείωση της ολικής ενεργειακής κατανάλωσης. Συγκριτικά με τη συμβολή της ενεργειακής έντασης, η επίδραση των δομικών αλλαγών στις περισσότερες μελέτες έχει βρεθεί ότι είναι λιγότερο σημαντική. Στις αναπτυσσόμενες χώρες τα αποτελέσματα ποικίλουν και η γενικότερη εικόνα είναι ότι υπάρχει ισχυρή θετική σχέση μεταξύ της παραγωγής και της χρήσης ενέργειας [20].

Στις περισσότερες μελέτες που διαπραγματεύονται τις μεταβολές στην ενεργειακή κατανάλωση του βιομηχανικού τομέα, τα αποτελέσματα είναι συγκεκριμένα και κοινά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εργασία διακρατικής σύγκρισης των Park et al (1993), όπου διευκρινίζεται ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν επιτύχει σε μεγάλο βαθμό την αποσύζευξη της βιομηχανικής παραγωγής και της χρήσης ενέργειας, ενώ οι βελτιωμένες ενεργειακές εντάσεις και μετατοπίσεις στους λιγότερους ενεργειακά εντατικούς κλάδους φαίνονται να είναι οι κύριοι παράγοντες που εξηγούν τις αλλαγές στην κατανάλωση ενέργειας. Αυτό δικαιολογείται από τη δυνατότητα εφαρμογής μέτρων συντήρησης και τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας. Αντίθετα, με λίγες εξαιρέσεις, η παραδοσιακή σύνδεση μεταξύ της βιομηχανικής παραγωγής και της ενεργειακής κατανάλωσης είναι ακόμα παρούσα στις λιγότερο αναπτυσσόμενες οικονομίες, λόγω της ενεργειοβόρας φάσης εκβιομηχάνισης και γενικότερης ανάπτυξης που περνούν [22].

Από το σύνολο των μελετών με αντικείμενο την ανάλυση των εκπομπών CO₂ που οφείλονται στη χρήση ενέργειας, σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι συγκρίσεις μεταξύ χωρών, περιοχών και ενεργειακών τομέων.

Στο Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας του ΕΜΠ εφαρμόστηκε η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων προκειμένου να αναγνωριστούν οι παράγοντες που επηρέασαν τις μεταβολές του επιπέδου των βιομηχανικών εκπομπών CO₂ (Κ. Λιάσκας, Γ. Μαυρωτάς, Μ. Μανδαράκα, Δ. Διακουλάκη). Σκοπός ήταν να γίνει μια επέκταση της αλγεβρικής μεθόδου αποσύνθεσης του Park (1992) ώστε να εφαρμοστεί για μια διακρατική σύγκριση των παραγόντων που συνέβαλαν στην εξέλιξη των βιομηχανικών εκπομπών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε αφορούσε στη χρονική περίοδο 1973-1993 (διαιρεμένη σε δύο διαστήματα) και σε 13 χώρες της ΕΕ. Η Ιρλανδία εξαιρέθηκε λόγω ελλείπων στοιχείων, ενώ το Λουξεμβούργο αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση, καθώς ένας βιομηχανικός τομέας κυριαρχεί σε ολόκληρο το ενεργειακό του σύστημα.

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η μελέτη αυτή παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού διαπιστώθηκε ότι η αποσύνδεση της ενεργειακής κατανάλωσης από τη βιομηχανική παραγωγή που έχει επιτευχθεί στις αναπτυγμένες χώρες μεταφράζεται και σε αποσύνδεση των εκπομπών CO₂. Οι εκπομπές από τον παραγωγικό τομέα μειώθηκαν ή σταθεροποιήθηκαν παρά τη συνεχή ανάπτυξη της βιομηχανικής παραγωγής, με λίγες εξαιρέσεις που αφορούν κυρίως στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες της ΕΕ, όπως η Ελλάδα και η Πορτογαλία. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μείωση των εκπομπών CO₂ που παρατηρήθηκε στις περισσότερες χώρες της ΕΕ κατά τη δεκαετία του '70 ήταν κατά κύριο λόγο αποτέλεσμα των μέτρων που ελήφθησαν μετά την ενεργειακή κρίση για την βελτίωση των ενεργειακών εντάσεων. Με την πτώση των τιμών ενέργειας, μετά τη δεύτερη πετρελαϊκή κρίση, η σχετική σημασία της επίδρασης της ενεργειακής έντασης παρουσίασε μια τάση μείωσης, καθώς μετριάστηκαν οι προσπάθειες εξοικονόμησης ενέργειας. Ένας άλλος παράγοντας που φάνηκε από τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης ανάλυσης ότι συνέβαλε όλο και περισσότερο στη μείωση των εκπομπών CO₂ είναι η αλλαγή του μίγματος καυσίμων, η οποία στόχευε όχι μόνο στη μικρότερη εξάρτηση από το πετρέλαιο, αλλά και στο χειρισμό των δυσμενών περιβαλλοντικών επιπτώσεων της χρήσης

ενέργειας. Η σημαντικότερη αλλαγή του μίγματος καυσίμων που πραγματοποιήθηκε στον βιομηχανικό τομέα της ΕΕ κατά την εξεταζόμενη περίοδο είναι η ταχεία διεύρυνση του φυσικού αερίου, στο οποίο αντιστοιχούν χαμηλοί συντελεστές εκπομπής CO₂ [13].

Στο ίδιο εργαστήριο του ΕΜΠ εφαρμόστηκε η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων ώστε να αναγνωριστούν οι παράγοντες που πιθανώς επηρέασαν τις μεταβολές των εκπομπών CO₂ τόσο του συνόλου του ελληνικού μεταποιητικού τομέα όσο και τριών μεμονωμένων βιομηχανικών κλάδων (Γ. Μαυρωτάς, Σ. Παυλίδου, Β. Χόντου, Δ. Διακουλάκη). Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για τη δεκαετία 1985-1995, καθώς και για δύο επιμέρους χρονικά διαστήματα (1985-1988, 1988-1995). Τα κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή των κλάδων (τροφιμών, μετάλλων, μη μεταλλικών ορυκτών) ήταν η συμβολή τους στην βιομηχανική παραγωγή και στις εκπομπές CO₂ της ελληνικής βιομηχανίας.

Η συγκεκριμένη μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, αντίθετα με ότι διαπιστώθηκε για τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες, η μείωση της ενεργειακής έντασης στην ελληνική βιομηχανία δεν ήταν αρκετή για να εξασφαλίσει τον μετριασμό των εκπομπών CO₂. Στην πραγματικότητα, στους περισσότερους βιομηχανικούς κλάδους που εξετάστηκαν και στον μεταποιητικό τομέα συνολικά, τα οφέλη που προέρχονται από τις βελτιωμένες ενεργειακές εντάσεις έχουν αντισταθμιστεί από τα αποτελέσματα των δομικών αλλαγών και της αλλαγής του μίγματος καυσίμων, που έχουν συμβάλει στην αύξηση των εκπομπών CO₂. Έτσι, καθίσταται σαφές ότι η μείωση που παρατηρήθηκε στις βιομηχανικές εκπομπές οφείλεται ουσιαστικά στην κρίση που διήρθε ο μεταποιητικός τομέας στην Ελλάδα κατά τη δεκαετία του '80. Οπότε η βιομηχανική ανάπτυξη που αναμένεται να λάβει χώρα στα επόμενα χρόνια, είναι αυτονόητο ότι θα μεταφραστεί σε μια αύξηση των εκπομπών CO₂, αν δεν προωθηθούν περαιτέρω μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας και ενίσχυσης της ανάπτυξης των καθαρότερων πηγών ενέργειας στο μίγμα καυσίμων [12].

Οι Sun και Malaska (1998) χρησιμοποίησαν την τροποποιημένη προσέγγιση Laspeyres για τον προσδιορισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τις μεταβολές της έντασης εκπομπών CO₂ από την ενεργειακή χρήση σε 24 αναπτυσσόμενες χώρες. Η μελέτη έγινε για την περίοδο 1980-1994 και τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ένταση εκπομπών μειώθηκε στις περισσότερες χώρες, ενώ ο ρυθμός μείωσης ήταν διπλάσιος τα πρώτα 7 έτη σε σύγκριση με τα επόμενα. Αυτή η μείωση αποδόθηκε κυρίως στην επίδραση της βελτίωσης των ενεργειακών εντάσεων και λιγότερο στη χρήση καυσίμων με μικρότερο συντελεστή εκπομπής. Εντούτοις, σε ορισμένες χώρες, όπως η Ελλάδα, η Πορτογαλία, η Τουρκία και η Νέα Ζηλανδία, παρατηρήθηκε αύξηση της έντασης εκπομπών CO₂, λόγω κυρίως της αντίστοιχης αύξησης των ενεργειακών εντάσεων [23].

Σε μια μελέτη των Ang και Zhang (1999) έγινε χρήση της προσέγγισης Divisia με σκοπό τη σύγκριση των συνολικών εκπομπών CO₂ το έτος 1993 από τον ενεργειακό τομέα τριών περιοχών του κόσμου που διαχωρίστηκαν ως εξής: χώρες του ΟΟΣΑ, πρώην Σοβιετική Ένωση/ κεντρική-ανατολική Ευρώπη και υπόλοιπες αναπτυσσόμενες χώρες. Από την έρευνα προέκυψε ότι οι κατά κεφαλή εκπομπές από τις χώρες του ΟΟΣΑ ήταν υψηλότερες των εκπομπών από τις δύο άλλες περιοχές, γεγονός που αποδόθηκε κυρίως στο υψηλότερο εισόδημα, ενώ η βελτιωμένη ενεργειακή ένταση στις χώρες του ΟΟΣΑ μετρίασε αρκετά τη διαφορά σε σχέση με τις εκπομπές από την κεντρική-ανατολική Ευρώπη [24]. Η ίδια μελέτη πραγματοποιήθηκε από τους Zhang και Ang (2001), εφαρμόζοντας τη τροποποιημένη από τον Sun (1998) τεχνική Laspeyres, καταλήγοντας σε παρόμοια ποιοτικά αποτελέσματα, με περισσότερη ακρίβεια όμως λόγω της εξάλειψης των υπολειμματικών όρων [25].

Οι Kaivo-oja και Luukkanen (2003) εφάρμοσαν την ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων μελετώντας τις μεταβολές της έντασης εκπομπών CO₂ από συνολικό ενεργειακό σύστημα των χωρών της ΕΕ για τις χρονικές περιόδους 1960-1973 και 1973-1998. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι υπάρχουν αρκετά διαφορετικές τάσεις μεταξύ των χωρών της ΕΕ όσον αφορά στη δομή

και ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα. Αυτό οφείλεται κυρίως στη διαφορετική φάση οικονομικής και βιομηχανικής ανάπτυξης στην οποία βρίσκονται οι μεγάλες ευρωπαϊκές χώρες (Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Βρετανία) σε σχέση με τις λιγότερο αναπτυγμένες, όπως η Ελλάδα, η Ιρλανδία, η Πορτογαλία και η Ισπανία. Ειδικότερα στην Ελλάδα, τόσο η ενεργειακή ένταση όσο και η ένταση εκπομπών CO₂ αυξήθηκαν σημαντικά κατά την διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. Αυτό δείχνει ότι καταναλώθηκε περισσότερη ενέργεια και εκλύθηκαν μεγαλύτερα ποσά CO₂ για την παραγωγή του ίδιου ποσού ΑΕΠ. Είναι χαρακτηριστικό πως από τη δεκαετία του '60 έως τη μέση της δεκαετίας του '90 δεν υπάρχει ένδειξη ουσιαστικής αλλαγής του μίγματος καυσίμων, ενώ η παραγωγή ενέργειας βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση άνθρακα και πετρελαίου, δηλώνοντας έτσι την ισχυρή προσκόλληση και εξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα με υψηλό συντελεστή εκπομπής. Εντούτοις, προς το τέλος της δεκαετίας του 1990 παρατηρείται μια μικρή βελτίωση του ενεργειακού μίγματος και μια προσπάθεια περιορισμού της χρήσης στερεών καυσίμων που οδηγεί σε μια ελαφρά πτώση της έντασης των εκπομπών [26].

Τέλος, σε μια πρόσφατη μελέτη των Paul και Bhattacharya (2003) επιχειρείται η αναγνώριση των παραγόντων που έχουν επηρεάσει τις μεταβολές στο επίπεδο εκπομπών CO₂ από το ενεργειακό σύστημα της Ινδίας, η οποία αποτελεί ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα αναπτυσσόμενης χώρας. Η ανάλυση στηρίχθηκε στην ανάπτυξη της μεθόδου του Sun (1998) και αναφέρεται στην περίοδο 1980-1996. Εξετάστηκε τόσο το συνολικό ενεργειακό σύστημα όσο και μεμονωμένοι ενεργειακοί τομείς, όπως ο αγροτικός, η βιομηχανία και οι μεταφορές. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η οικονομική ανάπτυξη είχε τη μεγαλύτερη δυσμενή επίδραση στην αύξηση των εκπομπών σε όλους τους τομείς. Αντιθέτως, η βελτίωση της ενεργειακής και του μίγματος καυσίμων, ιδιαίτερα στους τομείς της βιομηχανίας και των μεταφορών, συνέβαλαν στη συγκράτηση της περαιτέρω αύξησης των εκπομπών [27].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η μέθοδος ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων, που παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο, θα εφαρμοστεί για την αναγνώριση των παραγόντων που επηρεάζουν την εξέλιξη των εκπομπών CO₂ του ελληνικού ενεργειακού συστήματος και για την εκτίμηση της σχετικής συμβολής του καθενός στις παρατηρούμενες μεταβολές. Εφαρμόστηκε στο Εργαστήριο Βιομηχανικής και Ενεργειακής Οικονομίας του ΕΜΠ και βασίζεται σε μια σειρά απλών αλγεβρικών υπολογισμών που αντλήθηκαν από τη μέθοδο του Park, κάνοντας χρήση των ίδιων, κατά το δυνατόν, συμβόλων.

Η πρώτη φάση της ανάλυσης έχει ως αντικείμενο το σύνολο του ενεργειακού συστήματος στην Ελλάδα που αποτελείται από πέντε βασικούς τομείς πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης:

- Ηλεκτροπαραγωγή
- Βιομηχανία
- Μεταφορές
- Οικιακός-Τριτογενής (Κτιριακός) τομέας
- Αγροτικός τομέας

Από τα στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης των καυσίμων που χρησιμοποιούνται στους παραπάνω ενεργειακούς τομείς, υπολογίζονται οι αντίστοιχες εκπομπές CO₂ από κάθε τομέα και κατόπιν συνολικά, με τη βοήθεια κατάλληλων συντελεστών εκπομπής. Έτσι, υπολογίζεται η μεταβολή των συνολικών

εκπομπών από το ενεργειακό σύστημα κατά τη διάρκεια της περιόδου που εξετάζεται, σύμφωνα με την παρακάτω αλγεβρική μέθοδο:

Οι συνολικές εκπομπές CO₂ (C_t) από το ενεργειακό σύστημα της χώρας την περίοδο t είναι:

$$C_t = \sum_{i=1}^m C_{it} \quad (1)$$

όπου C_{it}: οι εκπομπές CO₂ του i ενεργειακού τομέα την περίοδο t

m: ο αριθμός των ενεργειακών τομέων

Η μεταβολή των συνολικών εκπομπών CO₂ μεταξύ μιας περιόδου βάσης (t=0) και μιας μεταγενέστερης περιόδου (t=n) ορίζεται ως:

$$\Delta C = C_n - C_0 = \sum_{i=1}^m C_{in} - \sum_{i=1}^m C_{i0} \quad (2)$$

Οι εκπομπές CO₂ (C_{it}) κάθε τομέα υπολογίζονται με βάση την ενεργειακή κατανάλωση λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές εκπομπής που χαρακτηρίζουν κάθε καύσιμο σύμφωνα με την εξίσωση:

$$C_{it} = E_{it} \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_{it}^j \quad (3)$$

όπου E_{it}: η ενεργειακή κατανάλωση του i ενεργειακού τομέα την περίοδο t

ef^j: ο συντελεστής εκπομπής του καυσίμου j

s_{it}^j: το μερίδιο του καυσίμου j στην ενεργειακή κατανάλωση του i τομέα την περίοδο t

F: ο αριθμός διαφορετικών καυσίμων

$$(2) (3) \Rightarrow \Delta C = \sum_{i=1}^m E_{in} \cdot \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_{in}^j - \sum_{i=1}^m E_{i0} \cdot \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_{i0}^j \quad (4)$$

Το μερίδιο κάθε τομέα (α_{it}) στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση την περίοδο t είναι:

$$\alpha_{it} = E_{it} / E_t \Rightarrow E_{it} = \alpha_{it} \cdot E_t \quad (5)$$

όπου E_t : η συνολική ενεργειακή κατανάλωση την περίοδο t

$$(4) (5) \Rightarrow \Delta C = E_n \sum_{i=1}^m a_{in} \cdot \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_{in}^j - E_0 \sum_{i=1}^m a_{i0} \cdot \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_{i0}^j \quad (6)$$

Από την τελευταία εξίσωση φαίνεται ότι η μεταβολή των συνολικών εκπομπών CO_2 είναι συνάρτηση τριών μεταβλητών: της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης (E_t), του μεριδίου κάθε τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση (α_{it}) και των μεριδίων των καυσίμων στην κατανάλωση κάθε τομέα (s_{it}^j). Εφαρμόζοντας τον συνολικό διαφορικό τύπο η εξίσωση μπορεί να αποσυντεθεί ως εξής:

$$\begin{aligned} \Delta C &= (E_n - E_0) \sum_{i=1}^m a_{i0} \cdot \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_{i0}^j && \text{επίδραση ενεργειακής κατανάλωσης} \\ &+ E_0 \sum_{i=1}^m (a_{in} - a_{i0}) \cdot \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_{i0}^j && \text{επίδραση δομής} \\ &+ E_0 \sum_{i=1}^m a_{i0} \cdot \sum_{j=1}^F ef^j (s_{in}^j - s_{i0}^j) && \text{επίδραση μίγματος καυσίμων} \\ &+ (E_n - E_0) \sum_{i=1}^m (a_{in} - a_{i0}) \cdot \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_{i0}^j \\ &+ (E_n - E_0) \sum_{i=1}^m a_{i0} \cdot \sum_{j=1}^F ef^j (s_{in}^j - s_{i0}^j) \\ &+ E_0 \sum_{i=1}^m (a_{in} - a_{i0}) \cdot \sum_{j=1}^F ef^j (s_{in}^j - s_{i0}^j) \\ &+ (E_n - E_0) \sum_{i=1}^m (a_{in} - a_{i0}) \cdot \sum_{j=1}^F ef^j (s_{in}^j - s_{i0}^j) \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \text{Όροι αλληλεπίδρασης} \quad (7)$$

Από την εξίσωση (7) προκύπτουν επτά όροι, από τους οποίους οι τρεις πρώτοι εκφράζουν την μεμονωμένη επίδραση των τριών μεταβλητών στη συνολική μεταβολή των εκπομπών, δηλαδή της κατανάλωσης ενέργειας, της δομής του ενεργειακού συστήματος και του μίγματος καυσίμου αντίστοιχα. Οι υπόλοιποι όροι αλληλεπίδρασης περιλαμβάνουν 4 συνδυαστικούς όρους των τριών μεταβλητών, από τους οποίους οι 3 πρώτοι εκφράζουν τη συνδυασμένη επίδραση δύο μεταβλητών ενώ ο τελευταίος την επίδραση και των τριών μαζί.

Συνομογραφικά οι όροι που εκφράζουν την επίδραση της κατανάλωσης, της δομής και του μίγματος καυσίμων συμβολίζονται ως $(\Delta E \alpha_0 s_0)$, $(E_0 \Delta \alpha s_0)$ και $(E_0 \alpha_0 \Delta s)$ αντίστοιχα. Ομοίως συμβολίζονται και οι 4 όροι αλληλεπίδρασης: $(\Delta E \Delta \alpha s_0)$, $(\Delta E \alpha_0 \Delta s)$, $(E_0 \Delta \alpha \Delta s)$, $(\Delta E \Delta \alpha \Delta s)$, οπότε η εξίσωση (7) μπορεί να γραφεί ως:

$$\begin{aligned} \Delta C = & \Delta E \alpha_0 s_0 + E_0 \Delta \alpha s_0 + E_0 \alpha_0 \Delta s \\ & + \Delta E \Delta \alpha s_0 + \Delta E \alpha_0 \Delta s + E_0 \Delta \alpha \Delta s + \Delta E \Delta \alpha \Delta s \quad (8) \end{aligned}$$

Υπό συνθήκες *ceteris paribus* (όλες οι μεταβλητές παραμένουν αμετάβλητες εκτός από μία κάθε φορά) οι 3 πρώτοι όροι της εξίσωσης (8) εκφράζουν τη μεταβολή των εκπομπών CO₂ που αποδίδεται στη συγκεκριμένη μεταβλητή αντίστοιχα, με δεδομένο ότι δεν αλλάζουν οι υπόλοιπες [12].

Επειδή η ερμηνεία των όρων αλληλεπίδρασης κατά τον ίδιο τρόπο δεν ενδείκνυται λόγω της πολυπλοκότητάς τους, στις περισσότερες μελέτες αντιμετωπίζονται ως ένας συνολικός υπολειμματικός όρος (residual) που του αποδίδεται ένα ποσοστό συμβολής στην ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων της μεταβολής των εκπομπών CO₂. Αυτό αποτελεί πρόβλημα σε περιπτώσεις που το ποσοστό επίδρασης των υπολειμματικών όρων εμφανίζεται μεγάλο. Στην παρούσα εργασία το συγκεκριμένο πρόβλημα παρακάμπτεται, με την κατανομή των όρων αλληλεπίδρασης ισόποσα στους τρεις πρώτους όρους μεμονωμένης επίδρασης κάθε μεταβλητής, έτσι ώστε στην τελική εξίσωση να μην εμφανίζεται

υπόλειμμα. Τη μέθοδο αυτή παρουσίασε πρώτος ο Sun (1998) σε ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων της εξέλιξης της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και της ενεργειακής έντασης, ενώ κατόπιν την υιοθέτησαν αρκετοί αναλυτές, όπως οι Zhang και Ang (2001) σε διακρατικές συγκρίσεις ανάλυσης περιβαλλοντικών δεικτών και οι Paul και Bhattacharya (2003) σε ανάλυση της εξέλιξης των εκπομπών CO₂ από τον ενεργειακό τομέα της Ινδίας [21, 25, 27].

Έτσι η εξίσωση (8) που δίνει τη μεταβολή των συνολικών εκπομπών CO₂ μπορεί να μετασχηματιστεί ως εξής:

$$\begin{aligned} \Delta C = & \\ = & \Delta E \alpha_0 s_0 + \frac{1}{2} (\Delta E \Delta \alpha s_0 + \Delta E \alpha_0 \Delta s) + \frac{1}{3} \Delta E \Delta \alpha \Delta s \quad \text{επίδραση κατανάλωσης} \\ + & E_0 \Delta \alpha s_0 + \frac{1}{2} (\Delta E \Delta \alpha s_0 + E_0 \Delta \alpha \Delta s) + \frac{1}{3} \Delta E \Delta \alpha \Delta s \quad \text{επίδραση δομής} \\ + & E_0 \alpha_0 \Delta s + \frac{1}{2} (\Delta E \alpha_0 \Delta s + E_0 \Delta \alpha \Delta s) + \frac{1}{3} \Delta E \Delta \alpha \Delta s \quad \text{επίδραση εν. μίγματος} \end{aligned} \quad (9)$$

Στην εξίσωση (9) δεν υπάρχουν υπολειμματικοί όροι. Οι τρεις πρώτοι όροι εκφράζουν την επίδραση της ενεργειακής κατανάλωσης (ΔE) στη μεταβολή των εκπομπών, οι τρεις επόμενοι την επίδραση της δομής ($\Delta \alpha$) του ενεργειακού συστήματος (μερίδιο κατανάλωσης κάθε τομέα) και τρεις τελευταίοι την επίδραση της σύνθεσης του ενεργειακού μίγματος (Δs).

□ Κατά τη δεύτερη φάση ανάλυσης, εξετάζεται κάθε ενεργειακός τομέας ξεχωριστά. Η μεταβολή των εκπομπών CO₂ κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω αλγεβρική μέθοδο:

Οι εκπομπές CO₂ από κάθε ενεργειακό τομέα (C_i) υπολογίζονται με βάση την ενεργειακή κατανάλωση λαμβάνοντας υπόψη τους συντελεστές εκπομπής που χαρακτηρίζουν κάθε καύσιμο:

$$C_t = E_t \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_t^j \quad (10)$$

όπου E_t : η ενεργειακή κατανάλωση του ενεργειακού τομέα την περίοδο t

ef^j : ο συντελεστής εκπομπής του καυσίμου j

s_t^j : το μερίδιο του καυσίμου j στην ενεργειακή κατανάλωση του τομέα την περίοδο t

F : ο αριθμός διαφορετικών καυσίμων

Η μεταβολή των εκπομπών CO_2 του ενεργειακού τομέα που εξετάζεται, μεταξύ μιας περιόδου βάσης ($t=0$) και μιας μεταγενέστερης περιόδου ($t=n$), ορίζεται ως:

$$\Delta C = C_n - C_0 = E_n \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_n^j - E_0 \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_0^j \quad (11)$$

Η ενεργειακή ένταση κάθε τομέα την περίοδο t είναι:

$$e_t = E_t / P_t \Rightarrow E_t = P_t \cdot e_t \quad (12)$$

όπου P_t : η παραγωγή (output) του τομέα την περίοδο t

$$(11) (12) \Rightarrow \Delta C = P_n e_n \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_n^j - P_0 e_0 \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_0^j \quad (13)$$

Από την εξίσωση (13) φαίνεται ότι η μεταβολή των εκπομπών CO_2 για κάθε ενεργειακό τομέα είναι συνάρτηση τριών μεταβλητών: της παραγωγής του τομέα (P_t), της ενεργειακής έντασης (e_t), δηλαδή του λόγου της κατανάλωσης προς την παραγωγή κάθε τομέα και, τέλος, των μεριδίων των καυσίμων στην ενεργειακή κατανάλωση του τομέα (s_t^j). Εφαρμόζοντας το συνολικό διαφορικό τύπο η εξίσωση μπορεί να αποσυντεθεί ως εξής:

$$\begin{aligned}
\Delta C &= (P_n - P_0) e_0 \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_0^j && \text{επίδραση παραγωγής} \\
&+ P_0 (e_n - e_0) \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_0^j && \text{επίδραση ενεργειακής έντασης} \\
&+ P_0 e_0 \sum_{j=1}^F ef^j (s_n^j - s_0^j) && \text{επίδραση μίγματος καυσίμων} \\
&+ (P_n - P_0) (e_n - e_0) \sum_{j=1}^F ef^j \cdot s_j^0 \\
&+ (P_n - P_0) e_0 \sum_{j=1}^F ef^j (s_n^j - s_0^j) \\
&+ P_0 (e_n - e_0) \sum_{j=1}^F ef^j (s_n^j - s_0^j) \\
&+ (P_n - P_0) (e_n - e_0) \sum_{j=1}^F ef^j (s_n^j - s_0^j)
\end{aligned}$$

Όροι αλληλεπίδρασης

(14)

Όπως και στην πρώτη μέθοδο ανάλυσης, από την εξίσωση (14) προκύπτουν επτά όροι, από τους οποίους οι 3 πρώτοι εκφράζουν την μεμονωμένη επίδραση κάθε μεταβλητής στη μεταβολή των εκπομπών CO₂ του τομέα, δηλαδή της παραγωγής, της ενεργειακής έντασης και του μίγματος καυσίμου αντίστοιχα. Οι υπόλοιποι είναι όροι αλληλεπίδρασης που θα ενσωματωθούν στους πρώτους όρους σύμφωνα με την τεχνική που περιγράφηκε παραπάνω, ώστε να κατά την ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων να μην εμφανίζεται υπόλειμμα.

Συνομογραφικά, οι όροι που εκφράζουν την επίδραση της παραγωγής, της ενεργειακής έντασης και του μίγματος καυσίμων συμβολίζονται ως $(\Delta P \ e_0 \ s_0)$, $(P_0 \ \Delta e \ s_0)$ και $(P_0 \ e_0 \ \Delta s)$ αντίστοιχα. Ομοίως συμβολίζονται και οι 4 όροι αλληλεπίδρασης: $(\Delta P \ \Delta e \ s_0)$, $(\Delta P \ e_0 \ \Delta s)$, $(P_0 \ \Delta e \ \Delta s)$, $(\Delta P \ \Delta e \ \Delta s)$, οπότε η εξίσωση (14) μπορεί να γραφεί ως:

$$\Delta C = \Delta P e_0 s_0 + P_0 \Delta e s_0 + P_0 e_0 \Delta s + \Delta P \Delta e s_0 + \Delta P e_0 \Delta s + P_0 \Delta e \Delta s + \Delta P \Delta e \Delta s \quad (15)$$

Παρακάμπτοντας το πρόβλημα εμφάνισης υπολειμματικών όρων η εξίσωση (15) μετασχηματίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \Delta C = & \\ = & \Delta P e_0 s_0 + \frac{1}{2} (\Delta P \Delta e s_0 + \Delta P e_0 \Delta s) + \frac{1}{3} \Delta P \Delta e \Delta s \quad \text{επίδραση παραγωγής} \\ & + P_0 \Delta e s_0 + \frac{1}{2} (\Delta P \Delta e s_0 + P_0 \Delta e \Delta s) + \frac{1}{3} \Delta P \Delta e \Delta s \quad \text{επίδραση εν. έντασης} \\ & + P_0 e_0 \Delta s + \frac{1}{2} (\Delta P e_0 \Delta s + P_0 \Delta e \Delta s) + \frac{1}{3} \Delta P \Delta e \Delta s \quad \text{επίδραση εν. μίγματος} \end{aligned} \quad (16)$$

Έτσι, κατά τις δύο φάσεις ανάλυσης, του συνολικού ενεργειακού συστήματος και κάθε τομέα ξεχωριστά, οι παρατηρούμενες αλλαγές αποδίδονται στους εξής παράγοντες:

- **Κατανάλωση ενέργειας:** Η επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα στις εκπομπές CO₂ είναι άμεση. Όσο αυξάνεται η κατανάλωση ενός καυσίμου τόσο αυξάνονται οι αντίστοιχες εκπομπές και το αντίστροφο. Το ύψος της πρωτογενούς ενεργειακής κατανάλωσης επηρεάζεται γενικά από την οικονομική ανάπτυξη, το βιοτικό επίπεδο και τις τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας που εφαρμόζονται σε κάθε χώρα.
- **Επίπεδο παραγωγής:** Οι εκπομπές CO₂ επηρεάζονται σημαντικά από το επίπεδο παραγωγής κάθε ενεργειακού τομέα, που αποδίδεται συχνότερα ως ποσοστό επί του Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ). Καθορίζεται κυρίως από την ανάπτυξη και τις μεταβολές της κατανάλωσης των παραγόμενων αγαθών. Αύξηση της παραγωγής αναμένεται να αυξήσει τις εκπομπές CO₂ αν οι υπόλοιπες παράμετροι διατηρηθούν σταθερές.

- **Ενεργειακή ένταση:** Η μεταβολή του λόγου της κατανάλωσης ενέργειας προς το ύψος της παραγωγής είναι λογικό να επηρεάζει τις διακυμάνσεις των εκπομπών CO₂ σε κάθε ενεργειακό τομέα. Μπορεί να οφείλεται σε πλήθος παραγόντων, όπως η ορθολογική χρήση και η εξοικονόμηση ενέργειας, οι επενδύσεις σε ενεργειακά αποδοτικότερο εξοπλισμό και τα βελτιωμένα ενεργειακά μίγματα.

- **Δομική αλλαγή:** Αφορά στο σύνολο του ενεργειακού συστήματος και ορίζεται ως η αλλαγή στην κατανομή της συνολικής κατανάλωσης μεταξύ των ενεργειακών τομέων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μετατοπίσεις προς περισσότερο ή λιγότερο ενεργειοβόρους τομείς, επειδή κατά αυτόν τον τρόπο επηρεάζεται και το ύψος των εκπομπών CO₂.

- **Ενεργειακό μίγμα:** Οι μεταβολές στη σύσταση των μιγμάτων καυσίμων των τομέων και του ενεργειακού συστήματος συνολικά έχουν την ιδιαιτερότητα ότι οδηγούν σε μεταβολή των εκπομπών CO₂ ακόμα και αν η κατανάλωση ενέργειας παραμένει σταθερή. Αυτό συμβαίνει διότι κάθε καύσιμο έχει διαφορετικό συντελεστή εκπομπής, οπότε είναι περιβαλλοντικά ωφέλιμο να αυξάνεται το μερίδιο των ‘καθαρότερων’ καυσίμων στο ενεργειακό μίγμα. Στην αντίθετη περίπτωση, η προσκόλληση στα συμβατικά καύσιμα επιδρά αρνητικά στις εκπομπές CO₂.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν και κάποιοι περιορισμοί που υπάρχουν στην εφαρμογή των δύο αλγεβρικών μεθόδων που παρουσιάστηκαν. Καταρχήν η εκτίμηση στερείται αιτιωδών σχέσεων. Η τεχνική ανάλυσης είναι χρήσιμη για την ποσοτική αποσύνθεση της μεταβολής που πραγματοποιήθηκε στις εκπομπές CO₂ στους επιδρώντες παράγοντες, όμως αποτυγχάνει στο να προσφέρει ποιοτικές ερμηνείες, όπως γιατί ένας δεδομένος παράγοντας, για παράδειγμα η επίδραση της δομικής αλλαγής, είναι εκείνος που βασικά εξηγεί τις μεταβολές των εκπομπών που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια κάποιας περιόδου. Πάντως η τεχνική βοηθάει στον εντοπισμό των περιοχών όπου θα έπρεπε να αναζητηθούν

οι απαντήσεις. Δεύτερον, επισημαίνεται ότι η τεχνική που εφαρμόζεται δεν ισχύει για οικονομετρικές προβολές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την ανάλυση προηγούμενων επιδόσεων. Τρίτον, τα συμπεράσματα που εξάγονται από την ανάλυση ισχύουν μόνο για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο που εξετάστηκε, το επίπεδο διαχωρισμού και τα συγκεκριμένα ενεργειακά μίγματα που χρησιμοποιήθηκαν. Μια άλλη ομάδα αυτών των παραμέτρων θα οδηγούσε σε διαφορετικά αποτελέσματα και συμπεράσματα [17].

4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων εφαρμόζεται καταρχήν στην εξέλιξη των εκπομπών CO₂ του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για την περίοδο 1990-1999, σύμφωνα με την εξίσωση (9) της προηγούμενης παραγράφου.

Δεδομένα – παραδοχές ανάλυσης:

Από ενεργειακά δεδομένα του ΟΟΣΑ (Energy Statistics) για το έτος βάσης 1990 και το έτος λήξης 1999 της περιόδου, συλλέγονται οι καταναλώσεις καυσίμων από τους πέντε ενεργειακούς τομείς: ηλεκτροπαραγωγή, βιομηχανία, μεταφορές, κτιριακός, αγροτικός τομέας. Στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής εντάσσονται οι θερμικοί σταθμοί και οι μονάδες συμπαραγωγής. Ο τομέας της βιομηχανίας περιλαμβάνει τους κλάδους μεταποίησης, κατασκευών και τα ορυχεία – λατομεία. Στις μεταφορές δεν συγκαταλέγονται οι καταναλώσεις καυσίμων από τη διεθνή και εγχώρια αεροπλοΐα, διότι οι εκπομπές CO₂ από τα αεροπορικά μέσα δεν εντοπίζονται στα όρια μιας χώρας γι' αυτό και δεν συνυπολογίζονται στις περισσότερες διεθνείς συμβάσεις. Τέλος, επισημαίνεται ότι ο οικιακός τομέας και ο τριτογενής εξετάζονται μαζί ως κτιριακός.

Η ανάλυση περιλαμβάνει τις καταναλώσεις, σε μονάδες TJ, των 8 επικρατούντων καυσίμων στον ελληνικό χώρο, αφού τα υπόλοιπα καύσιμα

παρουσιάζουν αμελητέες καταναλώσεις και επιλέχθηκε χάριν απλότητας να μην συμπεριληφθούν στους υπολογισμούς. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται κατά κόρον για τις εγχώριες ενεργειακές ανάγκες και συμπεριλήφθηκαν τελικά στους υπολογισμούς είναι τα εξής:

Λιθάνθρακας (*Steam coal*)

Πετρέλαιο-ντίζελ (*Diesel*)

Λιγνίτης (*Lignite*)

Μαζούτ (*Heavy fuel oil*)

Υγραέριο (*LPG*)

Φυσικό αέριο (*Natural gas*)

Βενζίνη (*Motor gasoline*)

Βιομάζα (*Solid biomass*)

Οι συνολικές εκπομπές CO₂ υπολογίζονται σε kt από τις καταναλώσεις των παραπάνω καυσίμων, χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους συντελεστές εκπομπής (t CO₂ / TJ) που δίνονται στον πίνακα 4 της παραγράφου 2.4.

► Σημειώνεται ότι, επειδή ο τομέας της ηλεκτροπαραγωγής εξετάζεται μαζί με τους υπόλοιπους, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τους άλλους τομείς δεν περιλαμβάνεται στους υπολογισμούς. Έτσι, οι εκπομπές CO₂ από τη χρήση ηλεκτρισμού υπολογίζονται κατευθείαν από τις καταναλώσεις καυσίμων των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής και δεν είναι αναγκαίο να υπολογιστεί ειδικός συντελεστής εκπομπής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Για να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα με το μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η συγκεκριμένη μέθοδος ανάλυσης εφαρμόζεται για την ίδια χρονική περίοδο (1990-1999) και με βάση στοιχεία αθροιστικής κατανάλωσης καυσίμων του ΟΟΣΑ, συνολικά για τον ενεργειακό τομέα των 15 χωρών της ΕΕ. Και σε αυτή την περίπτωση ισχύουν οι ίδιες παραδοχές όσον αφορά στη δομή του ευρωπαϊκού ενεργειακού συστήματος (5 βασικοί ενεργειακοί τομείς με διάρθρωση ακριβώς όπως και στο ελληνικό σύστημα). Επειδή, όμως, στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται περισσότερα είδη καυσίμων απ' ό,τι μεμονωμένα στην Ελλάδα, στους υπολογισμούς συμπεριλήφθησαν αναγκαστικά 14 καύσιμα,

οι καταναλώσεις των οποίων παρέχονται σε ktοε. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται κατά την ανάλυση και ενδεικτικά οι συντελεστές εκπομπής τους σε ktCO₂ / ktοε, βάσει των οποίων υπολογίζεται η μεταβολή των συνολικών εκπομπών CO₂ στην ΕΕ το 1999 σε σχέση με τα επίπεδα του έτους βάσης 1990.

Πίνακας 6: Συντελεστές εκπομπής καυσίμων για το ενεργειακό σύστημα της ΕΕ (πηγή: ΟΟΣΑ)

ΚΑΥΣΙΜΟ	Συντελεστής εκπομπής (kt CO ₂ / ktοε)
Κοκ άνθρακα (Coking coal)	4,5645
Πισσώδης άνθρακας / Ανθρακίτης	3,9363
Υπο-πισσώδης άνθρακας	4,3970
Λιγνίτης / γαιάνθρακας	4,3970
Τύρφη (Peat)	4,1076
Κοκ υψικαμίνου (Oven coke)	1,9263
Patent fuel / ΒΚΒ	4,1876
Αέριο (κυρίως φυσικό αέριο)	2,3451
Υγραέριο (LPG)	2,7219
Βενζίνη (Motor gasoline)	3,0140
Πετρέλαιο (Diesel)	3,0988
Μαζούτ (Heavy fuel oil)	3,2663
Νάφθα (Naphtha)	3,0140
Πετρελαϊκό κοκ (Petroleum coke)	4,1457

Ο συντελεστής εκπομπής των αερίων καυσίμων έχει υπολογιστεί συνολικά για το φυσικό αέριο (που έχει το μεγαλύτερο μερίδιο κατανάλωσης) και τα υπόλοιπα αέρια υψικαμίνου κ.ά. (Works/Oven/Furnace gas). Σημειώνεται επίσης ότι ο συντελεστής εκπομπής της τύρφης διαφοροποιείται στον κτιριακό και αγροτικό τομέα (1,1366 ktCO₂ / ktοε) όπου χρησιμοποιείται καλύτερης ποιότητας καύσιμο.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΚΑΘΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

Η δεύτερη φάση της ανάλυσης περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της συμβολής του επιπέδου της παραγωγής, της ενεργειακής έντασης και του μίγματος καυσίμων στη μεταβολή των εκπομπών CO₂ από κάθε ενεργειακό τομέα στην Ελλάδα, για την περίοδο 1990-1999. Οι υπολογισμοί γίνονται με βάση την εξίσωση (16) της παραγράφου 4.1. Τα δεδομένα και οι παραδοχές της εφαρμογής της ανάλυσης σε κάθε τομέα ξεχωριστά παρουσιάζονται παρακάτω.

ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, οι θερμικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και οι μονάδες συμπαραγωγής στην Ελλάδα καταναλώνουν λιθάνθρακα, λιγνίτη, ντίζελ, μαζούτ και φυσικό αέριο. Τα στοιχεία κατανάλωσης λαμβάνονται σε μονάδες TJ από τα στατιστικά δεδομένα του ΟΟΣΑ. Έτσι, οι εκπομπές CO₂ από την ηλεκτροπαραγωγή υπολογίζονται σε kt για το έτος βάσης 1990 και το 1999, από τις καταναλώσεις των παραπάνω καυσίμων, χρησιμοποιώντας τους αντίστοιχους συντελεστές εκπομπής (ktCO₂/TJ), ώστε να εκτιμηθεί η συνολική μεταβολή στο τέλος της περιόδου.

Οι παραγόμενες GWh ανά έτος ορίζουν το επίπεδο παραγωγής του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, οπότε η ενεργειακή ένταση δίνεται σε μονάδες καταναλισκόμενων TJ ανά παραγόμενη GWh. Το έτος 1999 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έφτασε τις 49.619 GWh ενώ το έτος βάσης 1990 ήταν στα επίπεδα των 35.000 GWh, παρουσιάζοντας έτσι συνολική αύξηση περίπου 42%.

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Στον τομέα της βιομηχανίας χρησιμοποιούνται όλα τα καύσιμα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος εκτός από τη βενζίνη. Περιλαμβάνονται οι κλάδοι μεταλλουργικών προϊόντων, τροφίμων, ποτών και καπνού, χημικών προϊόντων,

μεταφορικών μέσων, προϊόντων από μη μεταλλικά ορυκτά, μηχανών – ηλεκτρικών συσκευών, χαρτιού και εκτυπώσεων, ξύλου και επίπλων, υφαντικών ειδών, που ανήκουν στον γενικότερο τομέα μεταποίησης, αλλά και ο κλάδος των κατασκευών και τα ορυχεία – λατομεία.

Για τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμων και τον υπολογισμό των αντίστοιχων εκπομπών CO₂ ισχύει ότι αναφέρθηκε για την ηλεκτροπαραγωγή. Η παραγωγή του βιομηχανικού τομέα αποδίδεται μέσω του ΑΕΠ (Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος). Σε σταθερές τιμές του 1990 το συνολικό ΑΕΠ στην Ελλάδα έφτασε τα 78.622 εκατομμύρια € το έτος 1999, ενώ το έτος βάσης της εξεταζόμενης περιόδου ήταν 65.255 εκατομμύρια €. Το μερίδιο της βιομηχανικής παραγωγής στο συνολικό ΑΕΠ ήταν 26,28% το 1990 (17.149 εκατομμύρια €) και 20,18% το 1999 (15.866 εκατομμύρια €) σύμφωνα με στοιχεία της ΕΣΥΕ. Έτσι, η ενεργειακή ένταση υπολογίζεται κατά την ανάλυση σε μονάδες καταναλισκόμενων TJ ανά εκατομμύριο € που παράγεται.

ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Η ανάλυση προσδιοριστικών παραγόντων είναι δύσκολο να εφαρμοστεί στο σύνολο του τομέα, διότι δεν μπορεί να οριστεί μια κοινή μονάδα υπολογισμού της παραγωγής (output) των οδικών, σιδηροδρομικών και θαλάσσιων μεταφορών. Έτσι, η ανάλυση επικεντρώνεται στις οδικές μεταφορές, που διακρίνονται σε μεταφορές επιβατών και εμπορευμάτων. Κατά την περίοδο 1990-1999, οι ενεργειακές ανάγκες των οδικών μεταφορών στην Ελλάδα ικανοποιούνται με την κατανάλωση βενζίνης, ντίζελ και μικρών ποσοτήτων υγραερίου. Από τα δεδομένα κατανάλωσης υπολογίζονται οι αντίστοιχες εκπομπές CO₂ και η συνολική μεταβολή τους στο τέλος της περιόδου.

Η ‘παραγωγή’ των μεταφορών επιβατών αποδίδεται σε επιβατο-χιλιόμετρα (passenger km - pkm) ανά έτος, ενώ εκείνη των εμπορευμάτων σε τονο-χιλιόμετρα (tkm) ανά έτος. Για να υπάρχει μια κοινή μονάδα υπολογισμού

πρέπει να συσχετιστούν τα rkm με τα tkm. Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας επιχειρείται μια ενεργειακή αντιστοίχιση των δυο παραπάνω μεγεθών. Από την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την πορεία της ενεργειακής κατανάλωσης στην ΕΕ, λαμβάνονται οι ενεργειακές εντάσεις των οδικών μεταφορών επιβατών και εμπορευμάτων. Έτσι, έχουμε ότι για το έτος βάσης 1990 στην ΕΕ καταναλώνονται κατά μέσο όρο 36,4 toe/Mpkm και 78 toe/Mtkm αντίστοιχα. Οπότε, 1 rkm ισοδυναμεί ενεργειακά με 0,47 tkm. Η αντίστοιχη ισοδυναμία για το έτος 1999 υπολογίζεται σε 0,50 tkm/rkm. Για τις ανάγκες της ανάλυσης, κάνουμε την παραδοχή ότι οι συγκεκριμένες τιμές ισχύουν και για την Ελλάδα [28].

Σύμφωνα με στατιστικά δεδομένα της Eurostat για την οδική μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων στην Ελλάδα έχουμε:

$$\begin{array}{l|l} \text{1990: } 48.800 \text{ Mpkm} & (48.800 \text{ Mpkm} \cdot 0,47 \text{ Mtkm/Mpkm}) + 10.900 \text{ Mtkm} \\ 10.900 \text{ Mtkm} & = 33.836 \text{ Mtkm μεταφορικού έργου} \end{array}$$

$$\begin{array}{l|l} \text{1999: } 73.000 \text{ Mpkm} & (73.000 \text{ Mpkm} \cdot 0,50 \text{ Mtkm/Mpkm}) + 17.700 \text{ Mtkm} \\ 17.700 \text{ Mtkm} & = 54.200 \text{ Mtkm μεταφορικού έργου} \end{array}$$

Ως tkm μεταφορικού έργου ορίζεται το ενεργειακά σταθμισμένο άθροισμα rkm και tkm.

ΚΤΙΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

Η ανάλυση εστιάζεται στις εκπομπές CO₂ από τον τριτογενή τομέα αποκλειστικά, διότι στον οικιακό τομέα δεν στάθηκε δυνατόν να οριστεί μια λειτουργική μονάδα που να αποδίδει το επίπεδο παραγωγής (output) του τομέα και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την ανάλυση αποσύνθεσης. Στον τριτογενή τομέα περιλαμβάνονται οι δημόσιες υπηρεσίες, οι τράπεζες-ασφάλειες, το εμπόριο, ο τομέας υγείας και εκπαίδευσης και οι λοιπές

υπηρεσίες. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΟΟΣΑ, τα καύσιμα που καταναλώνονται στους παραπάνω κλάδους κατά την περίοδο 1990-1999 είναι το υγραέριο, το ντίζελ, και μικρές ποσότητες μαζούτ, φυσικού αερίου (στο τέλος της δεκαετίας) και βιομάζας.

Η παραγωγή του τριτογενή τομέα αποδίδεται μέσω του ποσοστού του επί του συνολικού ΑΕΠ της χώρας. Έτσι, σε σταθερές τιμές του 1990, η παραγωγή ανέρχεται σε 23.949 εκατομμύρια € (36,7% του ΑΕΠ) το έτος βάσης 1990 και σε 36.386 εκατομμύρια € (46,3% του ΑΕΠ) το 1999. Η ενεργειακή ένταση, όπως και στο βιομηχανικό τομέα, υπολογίζεται σε μονάδες καταναλισκόμενων ΤJ ανά εκατομμύριο € που παράγεται.

ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

Στον αγροτικό τομέα συγκαταλέγονται οι δραστηριότητες γεωργίας, κτηνοτροφίας και αλιείας. Η κατανάλωση καυσίμων στην περίοδο 1990-1999 περιλαμβάνει κυρίως καύση ντίζελ και βενζίνης ενώ χρησιμοποιούνται ακόμη μικρές ποσότητες λιγνίτη και μαζούτ. Από τα δεδομένα κατανάλωσης υπολογίζονται οι αντίστοιχες εκπομπές CO₂ και η συνολική μεταβολή τους στο τέλος της περιόδου. Το ποσοστό του αγροτικού τομέα στο συνολικό ΑΕΠ, ορίζει το επίπεδο παραγωγής που, σε σταθερές τιμές του 1990, ανέρχεται σε 7.152 εκατομμύρια € (10,9% του ΑΕΠ) το 1990 και σε 7.312 εκατομμύρια € (9,3% του ΑΕΠ) το 1999.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

5.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Καταρχήν παρουσιάζεται η συνολική μεταβολή των εκπομπών CO₂, όπως υπολογίστηκε από την κατανάλωση καυσίμων με βάση τη διαδικασία που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 7, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1990-1999, οι εκπομπές CO₂ από το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας και του συνόλου των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης σημείωσαν αύξηση κατά 19,4% και 10,9% αντίστοιχα.

Πίνακας 7: Συνολική μεταβολή εκπομπών CO₂ σε Ελλάδα και ΕΕ

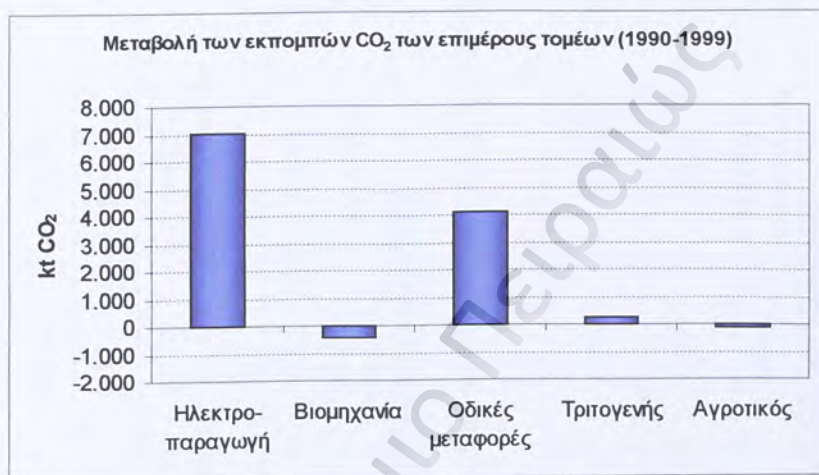
kt CO ₂	Ελλάδα	ΕΕ
1990	72.496	5.280.655
1999	86.577	5.854.759
Συνολική μεταβολή	14.082 (19,4%)	574.103 (10,9%)

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μεταβολές των εκπομπών CO₂ για τους επιμέρους ενεργειακούς τομείς που εξετάζονται. Η ηλεκτροπαραγωγή και οι οδικές μεταφορές είναι οι τομείς που παρουσιάζουν σημαντική αυξημένες ποσότητες εκπομπών στο τέλος της περιόδου.

Πίνακας 8: Μεταβολή των εκπομπών CO₂ των ενεργειακών τομέων στην Ελλάδα

kt CO ₂	Ηλεκτρο-παραγωγή	Βιομηχανία	Οδικές μεταφορές	Τριτογενής τομέας	Αγροτικός τομέας
1990	41.366	9.332	11.830	506	2.802
1999	48.423	8.895	15.947	765	2.674
Συνολική μεταβολή	7.057 (17,1%)	-437 (-4,7%)	4.118 (34,8%)	259 (51,1%)	-127 (-4,5%)

Ο τριτογενής τομέας εμφανίζει τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση, όμως, λόγω του ότι δεν εξετάζεται μαζί και ο οικιακός τομέας, η μεταβολή των εκπομπών δεν είναι τελικά τόσο σημαντική ποσοτικά σε σχέση με την αντίστοιχη της ηλεκτροπαραγωγής και των οδικών μεταφορών, όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 21. Η βιομηχανία και ο αγροτικός τομέας, τέλος, παρουσιάζουν μια μικρή μείωση των εκπομπών CO₂ σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.



Διάγραμμα 21

Η εφαρμογή της μεθόδου αποσύνθεσης, στο συνολικό ενεργειακό σύστημα Ελλάδας και ΕΕ αλλά και στους επιμέρους ενεργειακούς τομείς, έδωσε τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στους πίνακες 9 και 10. Το θετικό πρόσημο δηλώνει ότι συγκεκριμένος παράγοντας προκαλεί την αύξηση των εκπομπών CO₂, ενώ το αρνητικό ότι ευνοεί τη μείωση τους. Η συμβολή του κάθε παράγοντα εκφράζεται επί τοις εκατό, ενώ στις τρεις τελευταίες στήλες κάθε πίνακα φαίνεται το άθροισμα των θετικών και των αρνητικών επιδράσεων (αυτών δηλαδή που προκαλούν αύξηση ή μείωση των εκπομπών αντίστοιχα). Έτσι, θετική συνολική επίδραση αντιστοιχεί σε αύξηση των εκπομπών, ενώ όταν αυτή είναι αρνητική, οι εκπομπές μειώνονται. Μάλιστα, όσο υψηλότερη είναι η τιμή της συνολικής επίδρασης, τόσο σημαντικότερη είναι η συμβολή των παραγόντων που προκάλεσαν τη συγκεκριμένη μεταβολή των εκπομπών.

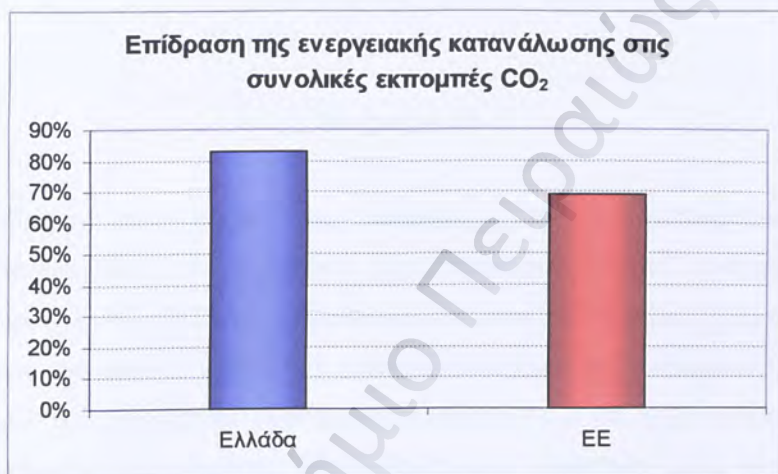
Πίνακας 9: Αποτελέσματα της ανάλυσης στο συνολικό ενεργειακό σύστημα

	Αποσύνθεση (επί τοις εκατό)						
	ΔCO ₂ (kt)	Κατανάλωση ενέργειας	Δομή	Ενεργειακό μήγμα	Θετική επίδραση	Αρνητική επίδραση	Συνολική επίδραση
1990-1999							
Σύνολο ενεργειακού συστ. (Ελλάδα)	14.082	83,1%	-3,6%	-13,3%	83,1%	-16,9%	66,2%
Σύνολο ενεργειακού συστ. (ΕΕ)	574.103	68,9%	2,4%	-28,7%	71,3%	-28,7%	42,5%

Πίνακας 10: Αποτελέσματα της ανάλυσης στους επιμέρους ενεργειακούς τομείς

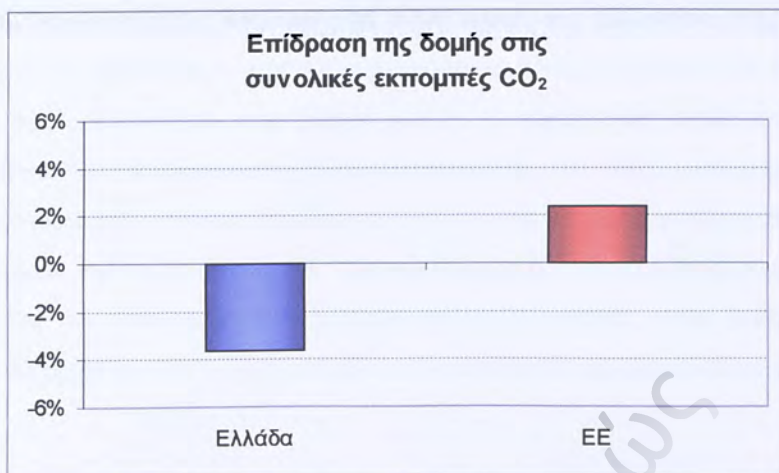
	Αποσύνθεση (επί τοις εκατό)						
	ΔCO ₂ (kt)	Παράγωγή	Ενεργειακή ένταση	Ενεργειακό μήγμα	Θετική επίδραση	Αρνητική επίδραση	Συνολική επίδραση
1990-1999							
Ηλεκτροπαραγωγή (Ελλάδα)	7.057	64,4%	-28,1%	-7,5%	64,4%	-35,6%	28,9%
Βιομηχανία (Ελλάδα)	-437	-19,7%	43,9%	-36,3%	43,9%	-56,1%	-12,1%
Οδικές μεταφορές (Ελλάδα)	4.118	72,6%	-27,2%	0,2%	72,8%	-27,2%	45,6%
Τριτογενής τομέας (Ελλάδα)	259	43,5 %	-28,8%	27,7%	71,2%	-28,8%	42,4%
Αγροτικός τομέας (Ελλάδα)	-127	22,6%	-73,8%	3,6%	26,2%	-73,8%	-47,6%

Στο Διάγραμμα 22 φαίνεται η συμβολή της επίδρασης της ενεργειακής κατανάλωσης στη μεταβολή των συνολικών εκπομπών CO₂ από το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας και της ΕΕ. Παρατηρούμε ότι η μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας προκάλεσε την αύξηση των εκπομπών κατά τη διάρκεια της περιόδου που εξετάζεται, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην ΕΕ γενικότερα. Η σχετική επίδραση της κατανάλωσης στις εκπομπές εμφανίζεται μεγαλύτερη στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα καθώς ξεπερνά το 80%.



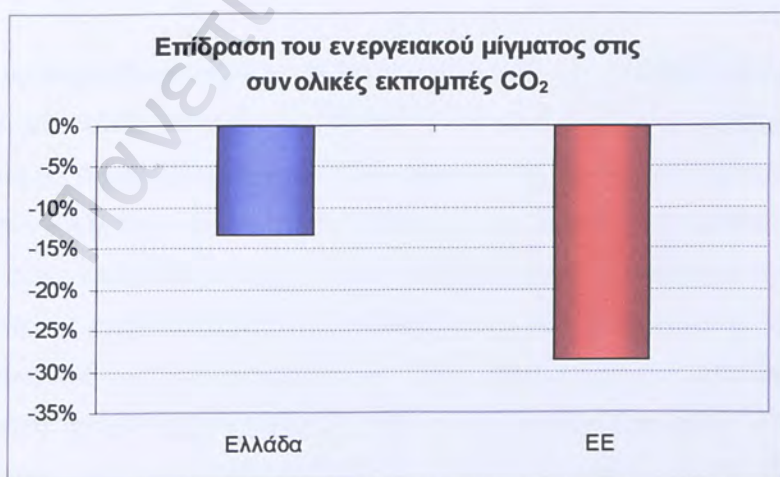
Διάγραμμα 22

Ο παράγοντας της δομικής αλλαγής του ενεργειακού συστήματος ευνόησε τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1990-1999, ενώ προκάλεσε την αύξηση των αντίστοιχων εκπομπών στην ΕΕ. Όπως φαίνεται όμως στο Διάγραμμα 23, η σχετική επίδραση της δομής είναι αρκετά χαμηλή και στις δύο περιπτώσεις, καθώς δεν ξεπέρασε το 4% κατά απόλυτη τιμή, που σημαίνει ότι η συμβολή του συγκεκριμένου παράγοντα στη συνολική μεταβολή των εκπομπών δεν είναι τόσο σημαντική όσο της ενεργειακής κατανάλωσης και του ενεργειακού μίγματος που εξετάζεται παρακάτω.



Διάγραμμα 23

Η επίδραση που είχαν στις εκπομπές CO₂ οι μετατοπίσεις που πραγματοποιήθηκαν στο ενεργειακό μίγμα παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 24. Παρατηρούμε ότι, τόσο στην Ελλάδα όσο και στην ΕΕ, η αλλαγή του μίγματος καυσίμων την περίοδο 1990-1999 ενόησε τη μείωση των εκπομπών CO₂ από το σύνολο του ενεργειακού συστήματος. Ιδιαίτερα στην ΕΕ, η σχετική επίδραση της βελτίωσης του μίγματος στην εξέλιξη των εκπομπών είναι υψηλότερη προσεγγίζοντας το 30%.



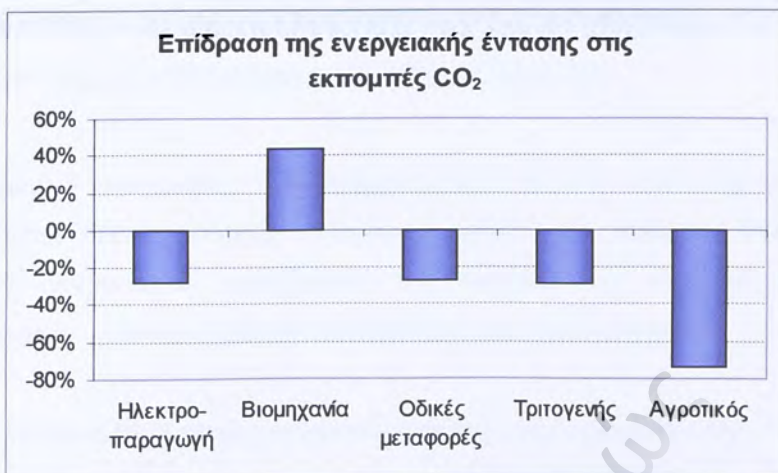
Διάγραμμα 24

Από την εφαρμογή της ανάλυσης σε κάθε τομέα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, προκύπτει η συμβολή της παραγωγής στις εκπομπές CO₂ από κάθε τομέα, που απεικονίζεται στο Διάγραμμα 25. Ο παράγοντας αυτός προκάλεσε την αύξηση των εκπομπών στην ηλεκτροπαραγωγή, στις οδικές μεταφορές, στον τριτογενή και στον αγροτικό τομέα, ενώ ευνόησε τη μείωση των εκπομπών μόνο στον τομέα της βιομηχανίας. Η σχετική συμβολή του στις παρατηρούμενες μεταβολές των εκπομπών είναι υψηλότερη στις μεταφορές, όπου ξεπέρασε το 70%, ενώ βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα και στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.



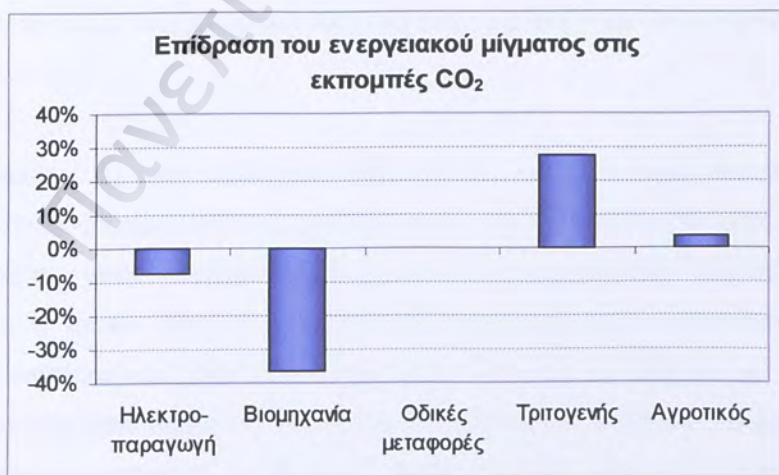
Διάγραμμα 25

Στο Διάγραμμα 26 φαίνεται η επίδραση της ενεργειακής έντασης στις εκπομπές κάθε τομέα κατά την περίοδο 1990-1999. Ο συγκεκριμένος παράγοντας, σε αντίθεση με την επίδραση του επιπέδου παραγωγής, προκάλεσε την αύξηση των εκπομπών CO₂ στον τομέα της βιομηχανίας, ενώ ευνόησε τη μείωσή τους σε όλους τους υπόλοιπους τομείς. Κατά απόλυτη τιμή, η υψηλότερη σχετική συμβολή της ενεργειακής έντασης εμφανίζεται στην μεταβολή των εκπομπών του αγροτικού τομέα, πλησιάζοντας το 75%. Σημαντική ήταν η επίδραση του παράγοντα αυτού και στην εξέλιξη των βιομηχανικών εκπομπών, ενώ στους υπόλοιπους τομείς η σχετική επίδρασή του βρίσκεται περίπου στο ίδιο επίπεδο.



Διάγραμμα 26

Οι αλλαγές που έγιναν στο *μίγμα καυσίμων* της ηλεκτροπαραγωγής και της βιομηχανίας ευνόησαν τη μείωση των εκπομπών CO₂ σε αυτούς τους τομείς κατά την περίοδο που εξετάζεται. Αντιθέτως, όπως διακρίνεται στο Διάγραμμα 27, η επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα στον τριτογενή και αγροτικό τομέα ήταν αντίστροφη, προκάλεσε δηλαδή την αύξηση των εκπομπών, ενώ χαρακτηρίζεται αμελητέα η συμβολή του στην εξέλιξη των εκπομπών του τομέα των οδικών μεταφορών.



Διάγραμμα 27

5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΛΑΔΑΣ ΚΑΙ ΕΕ

Στον Πίνακα 9 καταγράφονται οι καθαρές επιδράσεις των τριών παραγόντων (κατανάλωση, δομική αλλαγή, ενεργειακό μίγμα) στις εκπομπές CO₂ του συνολικού ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας και της ΕΕ, όπως υπολογίστηκαν με βάση τη μέθοδο αποσύνθεσης που εφαρμόστηκε.

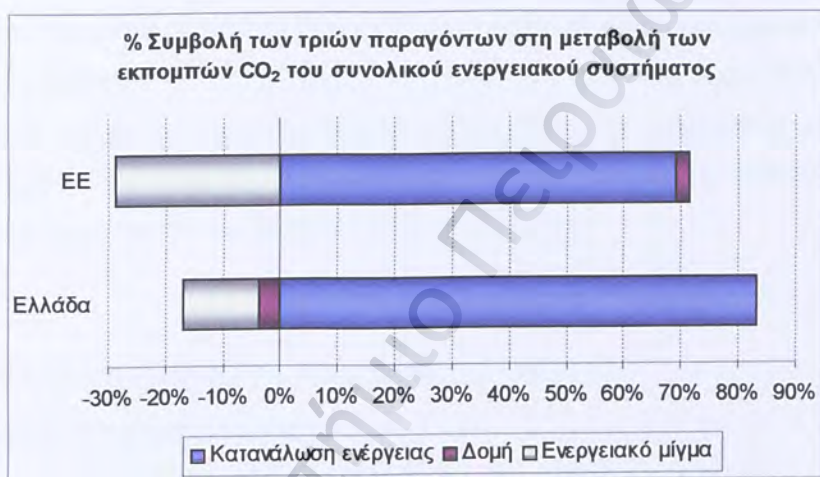
Πίνακας 11: Καθαρές επιδράσεις στις συνολικές εκπομπές CO₂

kt CO ₂	ΔCO ₂	Καθαρές επιδράσεις		
		Κατανάλωση	Δομή	Ενεργ. μίγμα
Ελλάδα (1990-1999)	14.082	17.671	-766	-2.823
ΕΕ (1990-1999)	574.103	930.089	31.838	-387.824

Η καθαρή επίδραση του κάθε παράγοντα δείχνει προς ποια κατεύθυνση και κατά πόσους kt θα είχαν μεταβληθεί οι εκπομπές, αν μεταξύ της αρχικής και της τελικής περιόδου είχε αλλάξει μόνο ο συγκεκριμένος παράγοντας. Δεδομένου ότι οι όροι αλληλεπίδρασης έχουν κατανεμηθεί ισόποσα στις επιδράσεις κάθε παράγοντα (§4.1), το άθροισμα των καθαρών επιδράσεων δίνει την τελική μεταβολή των εκπομπών CO₂. Με βάση τις καθαρές επιδράσεις προκύπτει το ύψος της σχετικής συμβολής των παραγόντων, που φαίνεται παραστατικά στο Διάγραμμα 28.

Οι εκπομπές CO₂ που οφείλονται στο σύνολο του ελληνικού ενεργειακού συστήματος αυξήθηκαν κατά περισσότερο από 14000kt τη δεκαετία 1990-1999. Στην αύξηση αυτή συνέβαλε καθοριστικά η μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας, η οποία, λόγω της οικονομικής ανάπτυξης και της ανόδου του βιοτικού επιπέδου, αυξήθηκε συνολικά κατά 25% από τα επίπεδα του έτους βάσης και επηρέασε άμεσα την ποσότητα των εκπομπών. Αντίθετα, οι αλλαγές στη δομή του ενεργειακού συστήματος (μερίδιο κατανάλωσης τομέων) και πολύ περισσότερο οι μετατοπίσεις που έγιναν στο μίγμα καυσίμων επέδρασαν

ανασταλτικά στην αύξηση των εκπομπών. Αυτό σημαίνει ότι, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας, υπήρξε μια μικρή βελτίωση του ενεργειακού μίγματος, με την εκμετάλλευση καυσίμων με μικρότερο συντελεστή εκπομπής CO₂ (περιορισμός μεριδίου στερεών καυσίμων, σταδιακή είσοδος φυσικού αερίου και βιομάζας) και μια αναδιάρθρωση της κατανομής της κατανάλωσης μεταξύ των ενεργειακών τομέων, που φαίνεται να συγκρατούν κάπως την αύξηση των εκπομπών, που σε διαφορετική περίπτωση θα ήταν ακόμα μεγαλύτερη λόγω της ισχυρής επίδρασης της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης.



Διάγραμμα 28

Οι εκπομπές CO₂ από το συνολικό ενεργειακό σύστημα της ΕΕ σημείωσαν αύξηση πάνω από 574000kt την περίοδο που εξετάζεται. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αποδίδουν το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της αύξησης αυτής, όπως και στην Ελλάδα, στη μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης, ενώ και η δομική αλλαγή του συστήματος ευνόησε σε ένα μικρό ποσοστό την αύξηση των εκπομπών. Οι μετατοπίσεις των ενεργειακών μιγμάτων έδρασαν προς την αντίθετη κατεύθυνση, μετριάζοντας αρκετά την αύξηση που παρατηρήθηκε. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 28, η σχετική συμβολή της βελτίωσης του μίγματος στην ΕΕ είναι κατά πολύ υψηλότερη της αντίστοιχης στην Ελλάδα, που σημαίνει ότι στις χώρες της ΕΕ τη δεκαετία του '90, προωθήθηκε με

γρηγορότερους ρυθμούς η σταδιακή υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με περιβαλλοντικά φιλικότερα, απ' ότι μεμονωμένα στην Ελλάδα.

Τελικά, ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας φάνηκε ότι ήταν η αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης, που έδρασε καταλυτικά τόσο στον ελληνικό χώρο όσο και στο σύνολο των χωρών της ΕΕ, προκαλώντας την αντίστοιχη αύξηση των εκπομπών CO₂, έχοντας υψηλό μερίδιο σχετικής συμβολής που στην Ελλάδα ξεπέρασε το 80%. Η βελτίωση του ενεργειακού μίγματος ήταν ο κύριος ανασταλτικός παράγοντας της εξέλιξης των εκπομπών και στις δυο περιπτώσεις, ενώ η σχετική επίδραση της δομή του ενεργειακού συστήματος ήταν χαμηλή και συνέβαλε λιγότερο είτε στην αύξηση είτε στη μείωση των εκπομπών. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα ποσοτικά αποτελέσματα της ανάλυσης συμφωνούν με τις ποιοτικές παρατηρήσεις που έγιναν στην §2.4 σχετικά με τους παράγοντες που επηρέασαν την εξέλιξη των εκπομπών CO₂ στην Ελλάδα.

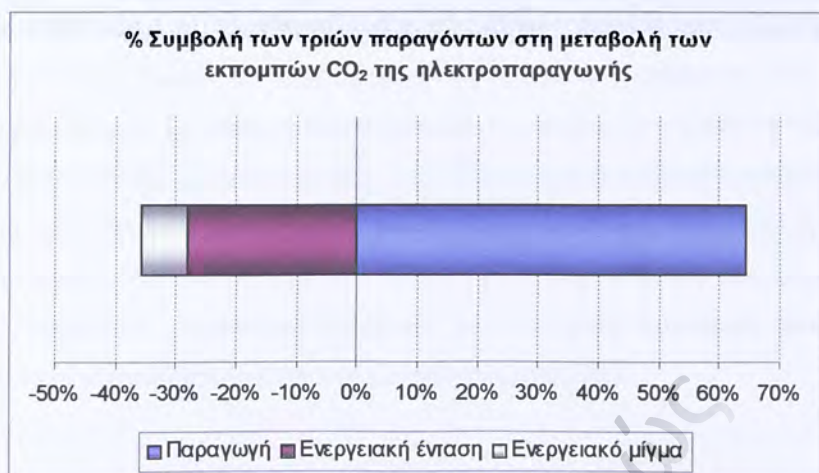
5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

Οι καθαρές επιδράσεις της παραγωγής, της ενεργειακής έντασης και του ενεργειακού μίγματος στις εκπομπές του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής την περίοδο 1990-1999 δίνονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Καθαρές επιδράσεις στις εκπομπές CO₂ της ηλεκτροπαραγωγής

kt CO ₂	ΔCO ₂	Καθαρές επιδράσεις		
		Παραγωγή	Ενεργ. ένταση	Ενεργ. μίγμα
Ηλεκτροπαραγωγή (1990-1999)	7.057	15.754	-6.868	-1.829

Στο Διάγραμμα 29 απεικονίζεται η σχετική συμβολή των τριών παραγόντων, που προέκυψε από τα παραπάνω αποτελέσματα της μεθόδου αποσύνθεσης.



Διάγραμμα 29

Οι εκπομπές CO₂ από την ηλεκτροπαραγωγή αυξήθηκαν συνολικά κατά 7057kt στο τέλος της περιόδου. Την αύξηση αυτή ευνόησε αποκλειστικά η μεταβολή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία, ακολουθώντας τη ζήτηση, αυξήθηκε κατά 42% από τα επίπεδα του έτους βάσης – από τις 35000GWh το 1990 ξεπέρασε τις 49500GWh το 1999 – και επηρέασε την ανοδική εξέλιξη των εκπομπών. Η οικονομική ανάπτυξη και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου (χρήση περισσότερων ηλεκτρικών συσκευών / κλιματιστικών) συνέβαλαν καθοριστικά στην αύξηση της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια από τα μέσα της δεκαετίας και έπειτα, κυρίως στη βιομηχανία και στον οικιακό-τριτογενή τομέα. Αυτό ισοδυναμεί με άνοδο της παραγωγής και συνεπώς αύξηση της κατανάλωσης καυσίμων στις συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.

Αντιθέτως με τις απαιτήσεις παραγωγής, η ενεργειακή ένταση μειώθηκε την περίοδο που εξετάζεται – από τα 10,33TJ/GWh το 1990 έπεσε στα 8,88TJ/GWh το 1999 – και έτσι αποτέλεσε ανασταλτικό παράγοντα της αύξησης των εκπομπών, αφού η ενεργειακή κατανάλωση συγκρατήθηκε έως ένα βαθμό και δεν ακολούθησε το ρυθμό ανόδου της παραγωγής. Αυτό οφείλεται στην αποδοτικότερη χρήση και την εξοικονόμηση των πρωτογενών μορφών ενέργειας.

Ομοίως, η βελτίωση του ενεργειακού μίγματος έδρασε ενάντια στην αύξηση των εκπομπών CO₂, όμως, με σαφώς μικρότερη σχετική επίδραση από την ενεργειακή ένταση. Σε αυτό συνέβαλε κυρίως η είσοδος του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή προς το τέλος της δεκαετίας και η ελαφρά πτώση του μεριδίου των στερεών και υγρών καυσίμων στη συνολική κατανάλωση. Τα επόμενα χρόνια, με την ολοένα και αυξανόμενη εκμετάλλευση του φυσικού αερίου, αναμένεται περαιτέρω βελτίωση του μίγματος καυσίμων που θα συμβάλει πολύ περισσότερο στον περιορισμό των εκπομπών.

5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ

Στον Πίνακα 13 καταγράφονται οι καθαρές επιδράσεις των παραγόντων που επηρέασαν τις εκπομπές CO₂ της βιομηχανίας. Από τις τιμές αυτές προέκυψαν οι σχετικές επιδράσεις που παρουσιάζονται στο Διάγραμμα 30.

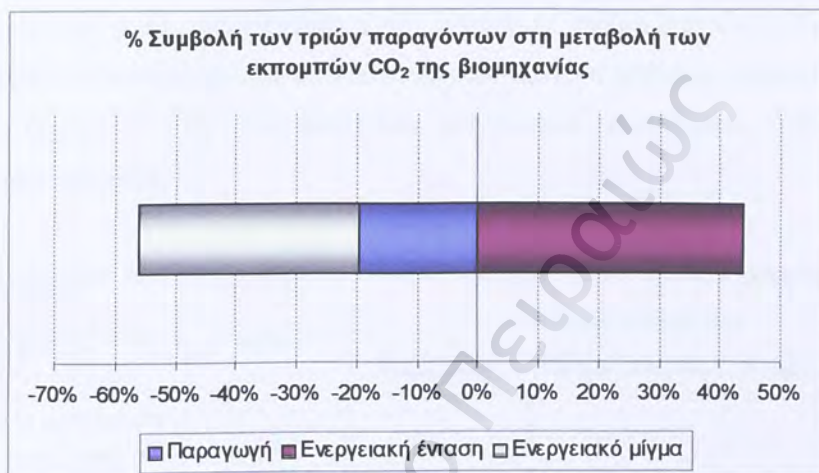
Πίνακας 13: Καθαρές επιδράσεις στις εκπομπές CO₂ της βιομηχανίας

kt CO ₂	ΔCO ₂	Καθαρές επιδράσεις		
		Παραγωγή	Ενεργ. ένταση	Ενεργ. μίγμα
Βιομηχανία (1990-1999)	-437	-712	1.585	-1.311

Οι εκπομπές CO₂ που οφείλονται στη βιομηχανία μειώθηκαν κατά 437kt τη δεκαετία 1990-1999. Η ανάλυση έδειξε ότι οι παράγοντες που ευνόησαν αυτή τη μείωση είναι η αλλαγή του ενεργειακού μίγματος με σχετική συμβολή στην εξέλιξη των εκπομπών πάνω από 36% και η μεταβολή της παραγωγής με σχετική συμβολή που προσεγγίζει το 20%.

Η σταδιακή μείωση της κατανάλωσης άνθρακα και μαζούτ – με υψηλό συντελεστή εκπομπής – και η είσοδος του φυσικού αερίου από το 1997 και έπειτα, ήταν οι σημαντικότερες παράμετροι που οδήγησαν στη βελτίωση του

μίγματος καυσίμων και κατά αυτόν τον τρόπο ενίσχυσαν τη μείωση των εκπομπών. Όσον αφορά στη βιομηχανική παραγωγή, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου μειώθηκε κατά 7,5% – από 17149 εκ. € το 1990 έπεσε στα 15866 εκ. € το 1999 – και έτσι ήταν ο δεύτερος παράγοντας που συνέβαλε στη μείωση των εκπομπών.



Διάγραμμα 30

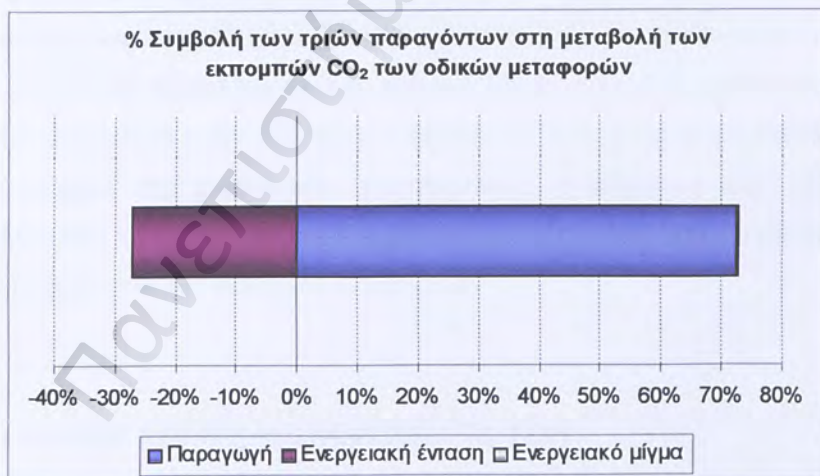
Η μεταβολή της ενεργειακής έντασης στο βιομηχανικό τομέα έδρασε προς την αντίθετη κατεύθυνση, αντισταθμίζοντας αρκετά τη μείωση των εκπομπών CO₂ που προκλήθηκε από τους άλλους δύο παράγοντες. Παρατηρούμε ότι η ενεργειακή ένταση αυξήθηκε από 6,55 TJ/εκ. € που ήταν το 1990 σε 7,78 TJ/εκ. € το 1999, που σημαίνει ότι κατά τη δεκαετία 1990-1999 δεν εφαρμόστηκε αποδοτική χρήση της ενέργειας στους περισσότερους βιομηχανικούς κλάδους, αλλά το αντίθετο. Έτσι, ο συγκεκριμένος παράγοντας ευνόησε την αύξηση των εκπομπών, αν και τελικά, όπως διατυπώθηκε, υπερίσχυσε η συνδυασμένη επίδραση της παραγωγής και του ενεργειακού μίγματος προς μικρή μείωση των εκπομπών της τάξης του 5% στο τέλος της περιόδου.

5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΟΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

Οι καθαρές επιδράσεις της παραγωγής, της ενεργειακής έντασης και του μίγματος καυσίμων στην εξέλιξη των εκπομπών CO₂ από τον τομέα των οδικών μεταφορών παρουσιάζονται στον Πίνακα 14, ενώ στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται και η σχετική συμβολή κάθε παράγοντα. Επισημαίνεται η ιδιαίτερη σημασία του συγκεκριμένου τομέα, καθώς αποτελεί τη δεύτερη σημαντικότερη πηγή εκπομπών CO₂ του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, μετά την ηλεκτροπαραγωγή.

Πίνακας 14: Καθαρές επιδράσεις στις εκπομπές CO₂ των οδικών μεταφορών

kt CO ₂	ΔCO ₂	Καθαρές επιδράσεις		
		Παραγωγή	Ενεργ. ένταση	Ενεργ. μίγμα
Οδικές μεταφορές (1990-1999)	4.118	6.556	-2.454	15



Διάγραμμα 31

Κατά τη διάρκεια της περιόδου 1990-1999 σημειώθηκε σημαντική αύξηση των εκπομπών από τις οδικές μεταφορές της τάξης των 4118kt. Τα αποτελέσματα

της ανάλυσης έδειξαν ότι η αύξηση αυτή οφείλεται ουσιαστικά στη μεταβολή της παραγωγής (output) του τομέα, που έφτασε τα 54200 Mtkm μεταφορικού έργου το 1999 σε σχέση με τα 33836 Mtkm του έτους βάσης 1990 (συνολική αύξηση 60%). Η αύξηση της παραγωγής, που δικαιολογείται από την οικονομική ανάπτυξη, την αλλαγή του τρόπου ζωής και την ολοένα και αυξανόμενη χρήση των μέσων μεταφοράς, ενίσχυσε τις εκλυόμενες ποσότητες CO₂ και ήταν ο παράγοντας που οδήγησε στη μεγάλη αύξηση των εκπομπών με σχετική επίδραση που ξεπέρασε το 72%.

Ανασταλτικό ρόλο στην αύξηση των εκπομπών διαδραμάτισε η μεταβολή της ενεργειακής έντασης των μεταφορών, η οποία μειώθηκε κατά 16% στη διάρκεια της δεκαετίας του '90 – από 4,928 TJ/Mtkm το 1990 σε 4,143 TJ/Mtkm το 1999 – λόγω της ανανέωσης του στόλου των οχημάτων και της τεχνολογικής εξέλιξης που συνέβαλαν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των μέσων μεταφοράς.

Το ενεργειακό μίγμα δεν διαφοροποιήθηκε επί της ουσίας, αφού με καθαρή επίδραση στις εκπομπές CO₂ μόλις 15kt, η σχετική συμβολή του είναι αμελητέα (κατά 0,2% ευνοεί οριακά την αύξηση των εκπομπών) και έτσι θεωρείται ότι δεν συμβάλει ουσιαστικά στην εξέλιξη των εκπομπών, που ακολουθούν πιστά την ανοδική πορεία της ενεργειακής κατανάλωσης. Η εξάρτηση των οδικών μεταφορών από τα υγρά καύσιμα – τη βενζίνη και το ντίζελ – ευθύνεται για τη σταθερή διάρθρωση του ενεργειακού μίγματος.

5.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΤΡΙΤΟΓΕΝΗ ΤΟΜΕΑ

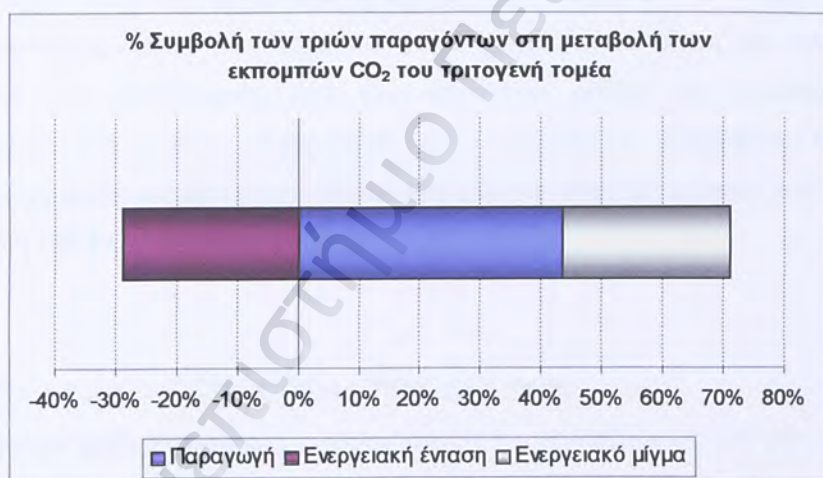
Οι εκπομπές CO₂ του τριτογενή τομέα είναι πολύ χαμηλές συγκρινόμενες με εκείνες των άλλων τομέων. Παρόλα αυτά, η ποσοστιαία μεταβολή των εκπομπών την περίοδο 1990-1999 εμφανίζεται ιδιαίτερα υψηλή για τον τομέα

αυτό (ξεπερνά το 50% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990), γι' αυτό και αποκτά σημασία ο προσδιορισμός των παραγόντων που συνέβαλαν στη μεταβολή αυτή.

Στον Πίνακα 15 δίνεται η καθαρή επίδραση του κάθε παράγοντα και στο Διάγραμμα 32 απεικονίζονται οι αντίστοιχες σχετικές επιδράσεις στη μεταβολή των εκπομπών.

Πίνακας 15: Καθαρές επιδράσεις στις εκπομπές CO₂ του τριτογενή τομέα

kt CO ₂	ΔCO ₂	Καθαρές επιδράσεις		
		Παραγωγή	Ενεργ. ένταση	Ενεργ. μίγμα
Τριτογενής τομέας (1990-1999)	259	265	-176	169



Διάγραμμα 32

Κατά τη δεκαετία 1990-1999 οι εκπομπές CO₂ από τον τριτογενή τομέα αυξήθηκαν κατά 259kt, και αυτό αποδίδεται βάσει της ανάλυσης κυρίως στην μεταβολή της παραγωγής. Από τα 23949 εκ. € το 1990, η παραγωγή του τομέα αυξήθηκε στα 36386 εκ. € το 1999, στηριζόμενη στην οικονομική ανάπτυξη της χώρας και τη διεύρυνση των εμπορικών και επιχειρηματικών δραστηριοτήτων την περίοδο που εξετάζεται. Όπως παρατηρούμε στο Διάγραμμα 32 η άνοδος

της παραγωγής ήταν ο παράγοντας που ενίσχυσε περισσότερο την αύξηση των εκπομπών από τον τριτογενή τομέα, με σχετική επίδραση 43,5%.

Στην αύξηση των εκπομπών συνέβαλαν και οι μετατοπίσεις στο ενεργειακό μίγμα, που χειροτέρευσαν περιβαλλοντικά τη σύνθεσή του. Η αύξηση του μεριδίου του ντίζελ και του υγραερίου, η κατάργηση της χρήσης βιομάζας και η σχεδόν ανύπαρκτη εκμετάλλευση του φυσικού αερίου ήταν οι παράμετροι που ευνόησαν την αύξηση της ποσότητας των εκπομπών CO₂.

Αντίθετη επίδραση είχε η μεταβολή της ενεργειακής έντασης του τομέα, η οποία μειώθηκε κατά 24% στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου – από 0,38 TJ/εκ.€ το 1990 σε 0,29 TJ/εκ.€ το 1999 – και αποτέλεσε το μοναδικό ανασταλτικό παράγοντα της παρατηρούμενης αύξησης των εκπομπών. Ο ενεργειακά αποδοτικότερος εξοπλισμός θέρμανσης και η σχετική αποσύνδεση του ρυθμού αύξησης της κατανάλωσης από τον αντίστοιχο ρυθμό της παραγωγής, συνέβαλαν στη μερική συγκράτηση των εκλυόμενων ποσοτήτων CO₂, αντισταθμίζοντας ως ένα μικρό βαθμό την αύξηση που προκλήθηκε από την επίδραση των άλλων δύο παραγόντων.

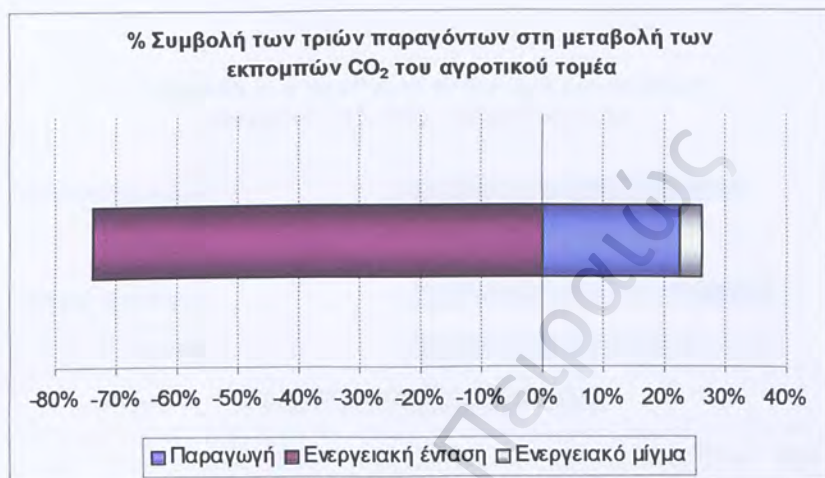
5.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

Οι επιδράσεις των τριών παραγόντων στις εκπομπές του αγροτικού τομέα καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 16: Καθαρές επιδράσεις στις εκπομπές CO₂ του αγροτικού τομέα

kt CO ₂	ΔCO ₂	Καθαρές επιδράσεις		
		Παραγωγή	Ενεργ. ένταση	Ενεργ. μίγμα
Αγροτικός τομέας (1990-1999)	-127	61	-197	10

Οι εκπομπές CO₂ από τον αγροτικό τομέα σημείωσαν μια μικρή μείωση κατά 127kt στη διάρκεια της δεκαετίας 1990-1999. Στο Διάγραμμα 33 φαίνεται η σχετική συμβολή κάθε παράγοντα στη μεταβολή αυτή, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

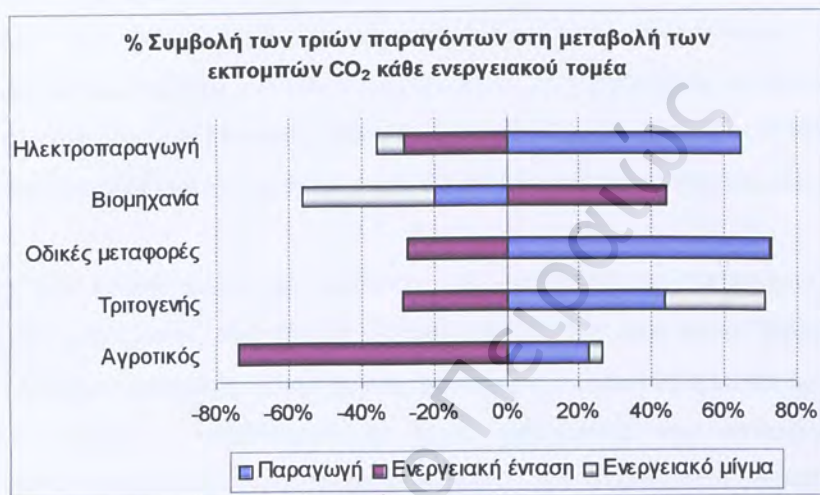


Διάγραμμα 33

Ο παράγοντας που προκάλεσε τη μείωση των εκπομπών ήταν η μεταβολή της ενεργειακής έντασης, η οποία μειώθηκε σε 4,928 TJ/εκ.€ το 1999 σε σχέση με το επίπεδο των 5,296 TJ/εκ.€ του 1990. Είναι χαρακτηριστικό πως, αν και η παραγωγή του τομέα αυξήθηκε τη συγκεκριμένη περίοδο, η κατανάλωση καυσίμων μειώθηκε, γεγονός που αποδίδεται στην καλύτερη ενεργειακή απόδοση των αγροτικών μηχανημάτων και την εξοικονόμηση ενέργειας που επιτεύχθηκε.

Ανασταλτικό ρόλο στη μείωση των εκπομπών διαδραμάτισαν οι μετατοπίσεις του ενεργειακού μίγματος και η μεταβολή της παραγωγής. Μεγαλύτερη σχετική συμβολή είχε η αύξηση της αγροτικής παραγωγής, που επέδρασε δυσμενώς στην εξέλιξη των εκπομπών, ενώ μικρότερη δυσμενή επίδραση είχε η χειροτέρευση του μίγματος καυσίμων του τομέα, η διάρθρωση του οποίου παρέμεινε προσκολλημένη στα υγρά καύσιμα.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι σχετικές επιδράσεις των τριών παραγόντων (παραγωγή, ενεργειακή ένταση, ενεργειακό μίγμα) στη μεταβολή των εκπομπών CO₂ από κάθε τομέα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, ώστε να φανούν ολοκληρωμένα οι τάσεις που επικρατούν κατά τη διάρκεια της περιόδου 1990-1999.



Διάγραμμα 34

Παρατηρούμε ότι η μεταβολή της παραγωγής προκαλεί την αύξηση των εκπομπών στους περισσότερους ενεργειακούς τομείς, ενώ η μεταβολή της ενεργειακής έντασης αντίστοιχα ευνοεί τη μείωσή τους. Εξαιρείται μόνο ο τομέας της βιομηχανίας, όπου οι συγκεκριμένοι παράγοντες επιδρούν αντίστροφα. Τέλος, η επίδραση των αλλαγών του ενεργειακού μίγματος στις εκπομπές CO₂ διαφοροποιείται σε κάθε τομέα, ενώ επισημαίνεται ότι στις οδικές μεταφορές η συμβολή τους είναι αμελητέα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της εργασίας ήταν ο προσδιορισμός των παραγόντων που επηρέασαν την εξέλιξη των εκπομπών CO₂ του συνολικού ενεργειακού συστήματος της Ελλάδας και κάθε ενεργειακού τομέα χωριστά κατά την περίοδο 1990-1999, και η εκτίμηση της σχετικής συμβολής του κάθε παράγοντα στις παρατηρούμενες μεταβολές. Η μέθοδος ανάλυσης προσδιοριστικών παραγόντων, που χρησιμοποιήθηκε, παρέχει τα επιθυμητά αποτελέσματα βασισμένη σε μια σειρά απλών αλγεβρικών υπολογισμών χωρίς να προϋποθέτει την ύπαρξη αναλυτικών δεδομένων για ολόκληρη τη χρονική περίοδο, παρά μόνο για τα δύο ακραία έτη.

□ Κατά την πρώτη φάση της ανάλυσης, οι μεταβολές των εκπομπών του ελληνικού ενεργειακού συστήματος – που αποτελείται από πέντε βασικούς τομείς: ηλεκτροπαραγωγή, βιομηχανία, μεταφορές, οικιακός-τριτογενής και αγροτικός τομέας – αποδόθηκαν σε τρεις παράγοντες: την κατανάλωση πρωτογενών μορφών ενέργειας, τη δομή (μερίδιο κατανάλωσης ανά τομέα) του συστήματος και τη διάρθρωση του ενεργειακού μίγματος.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές CO₂ στην Ελλάδα αυξήθηκαν κατά 19,4% στη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, και στην αύξηση αυτή συνέβαλε καθοριστικά η μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας, η οποία αυξήθηκε συνολικά κατά 25% από τα επίπεδα του έτους βάσης και επηρέασε άμεσα την ποσότητα των εκπομπών.

Είναι χαρακτηριστικό ότι η ενεργειακή κατανάλωση αυξήθηκε σε όλους τους τομείς του συστήματος, εκτός του αγροτικού. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην οικονομική ανάπτυξη, την άνοδο του βιοτικού επιπέδου και την αλλαγή του τρόπου ζωής που έλαβαν χώρα στην Ελλάδα τη δεκαετία του '90 και ώθησαν σε ολοένα μεγαλύτερες καταναλώσεις καυσίμων κυρίως στις μεταφορές, στον κτιριακό τομέα αλλά και στην ηλεκτροπαραγωγή, λόγω της αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την προσκόλληση στα συμβατικά καύσιμα

– άνθρακας και προϊόντα πετρελαίου – για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών, η αύξηση της κατανάλωσης μεταφράστηκε άμεσα σε αύξηση των αντίστοιχων εκπομπών CO₂.

Αντιθέτως, ανασταλτικό ρόλο στην παρατηρούμενη αύξηση των εκπομπών διαδραμάτισαν η δομική αλλαγή του συστήματος και περισσότερο οι μετατοπίσεις στο ενεργειακό μίγμα.

Οι σημαντικότερες αλλαγές στη δομή του συστήματος, κατά την περίοδο 1990-1999, ήταν η αύξηση του μεριδίου κατανάλωσης των μεταφορών και του κτιριακού τομέα, αν και η σχετική συμβολή των αλλαγών αυτών στη μεταβολή των εκπομπών ήταν ιδιαίτερα χαμηλή. Η βελτίωση του μίγματος καυσίμων αφορά στη σταδιακή αύξηση εκμετάλλευσης του φυσικού αερίου από το 1997 και έπειτα, κυρίως στην ηλεκτροπαραγωγή και τη βιομηχανία, τη χρήση μικρών ποσοτήτων βιομάζας στη βιομηχανία και τον οικιακό τομέα, καθώς και τον περιορισμό ως ένα βαθμό του μεριδίου των στερεών καυσίμων – με υψηλό συντελεστή εκπομπής CO₂ – στη συνολική κατανάλωση. Οι μετατοπίσεις αυτές φαίνεται να συγκρατούν την περαιτέρω αύξηση των εκπομπών.

➤ Για να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα με το μέσο όρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η συγκεκριμένη μέθοδος ανάλυσης εφαρμόστηκε για την ίδια χρονική περίοδο συνολικά στο ενεργειακό σύστημα των 15 χωρών της ΕΕ.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές CO₂ αυξήθηκαν και στο σύνολο της ΕΕ, σε μικρότερο βαθμό όμως σε σύγκριση με την Ελλάδα. Το συντριπτικά μεγαλύτερο μέρος της αύξησης αυτής αποδόθηκε, όπως και στην Ελλάδα, στην αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης λόγω της γενικότερης ανάπτυξης, ενώ και η δομική αλλαγή του συστήματος ευνόησε την αύξηση των εκπομπών, όμως σε πολύ μικρότερο βαθμό. Οι μετατοπίσεις των ενεργειακών μιγμάτων έδρασαν προς την αντίθετη κατεύθυνση, μετριάζοντας αρκετά την αύξηση που

παρατηρήθηκε. Επισημαίνεται όμως, ότι η σχετική συμβολή της βελτίωσης του ενεργειακού μίγματος στην ΕΕ είναι κατά πολύ υψηλότερη της αντίστοιχης στην Ελλάδα, που σημαίνει ότι προωθήθηκε με γρηγορότερους ρυθμούς η μερική υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με περιβαλλοντικά φιλικότερα – κυρίως φυσικό αέριο που κατέχει εντυπωσιακά μεγάλο μερίδιο κατανάλωσης στην ΕΕ – και έτσι συγκρατήθηκε σε μεγαλύτερο βαθμό η αύξηση των εκπομπών που προκλήθηκε από τους άλλους δυο παράγοντες.

□ Κατά τη δεύτερη φάση της ανάλυσης, εξετάστηκε κάθε ενεργειακός τομέας ξεχωριστά, και η μεταβολή των αντίστοιχων εκπομπών CO₂ αποδόθηκε σε τρεις παράγοντες: την παραγωγή, την ενεργειακή ένταση και το μίγμα καυσίμων. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει ότι κατά την περίοδο 1990-1999 οι εκπομπές αυξήθηκαν αρκετά στην ηλεκτροπαραγωγή, τις οδικές μεταφορές και τον τριτογενή τομέα, ενώ σημείωσαν μια μικρή μείωση στη βιομηχανία και τον αγροτικό τομέα.

Η μεταβολή του επιπέδου της παραγωγής ήταν ο παράγοντας που προκάλεσε την αύξηση των εκπομπών CO₂ στους περισσότερους ενεργειακούς τομείς, πλην της βιομηχανίας όπου η παραγωγή μειώθηκε τη δεκαετία του '90 και κατά αυτόν τον τρόπο ευνόησε τη μείωση των εκπομπών από το συγκεκριμένο τομέα. Η οικονομική ανάπτυξη, η διεύρυνση των εμπορικών δραστηριοτήτων, καθώς και η άνοδος του βιοτικού επιπέδου ήταν οι λόγοι που οδήγησαν στην αύξηση της παραγωγής στους υπόλοιπους τομείς, η οποία επηρέασε δυσμενώς την εξέλιξη των εκπομπών.

Σε αντίθεση με το επίπεδο παραγωγής, η μεταβολή της ενεργειακής έντασης επέδρασε ανασταλτικά στην αύξηση των εκπομπών από την ηλεκτροπαραγωγή, τις οδικές μεταφορές, τον τριτογενή και αγροτικό τομέα, όπου παρατηρήθηκαν βελτιωμένες ενεργειακές εντάσεις στο τέλος της εξεταζόμενης περιόδου. Αυτό οφείλεται στις προσπάθειες για ορθολογικότερη χρήση και εξοικονόμηση των πρωτογενών μορφών ενέργειας στους συγκεκριμένους τομείς, καθώς και σε

επενδύσεις σε ενεργειακά αποδοτικότερο εξοπλισμό που οδήγησαν στην αποσύνδεση του ρυθμού αύξησης της κατανάλωσης από τον αντίστοιχο ρυθμό της παραγωγής και συνέβαλαν στη μερική συγκράτηση των εκλυόμενων ποσοτήτων CO₂. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο βιομηχανικός τομέας του οποίου η ενεργειακή ένταση αυξήθηκε στη διάρκεια της δεκαετίας και αποτέλεσε τροχοπέδη στην παρατηρούμενη μείωση των εκπομπών.

Η επίδραση των μετατοπίσεων των ενεργειακών μίγμάτων στην εξέλιξη των εκπομπών διαφοροποιείται σε κάθε τομέα. Στην ηλεκτροπαραγωγή και ιδιαίτερα στη βιομηχανία το μίγμα βελτιώθηκε και ευνόησε τη μείωση των εκπομπών, γεγονός που οφείλεται στην είσοδο του φυσικού αερίου και στη μείωση του μεριδίου των στερεών καυσίμων και του μαζούτ στη συνολική κατανάλωση. Αντίθετα, στον τριτογενή τομέα περισσότερο και πολύ λιγότερο στον αγροτικό, το ενεργειακό μίγμα χειροτέρευσε λόγω της αύξησης του μεριδίου των υγρών καυσίμων και της ελλιπούς εκμετάλλευσης φυσικού αερίου και βιομάζας. Αυτό συνέβαλε δυσμενώς στην αύξηση των εκπομπών του τριτογενή τομέα και σε μικρό βαθμό ανασταλτικά στη μείωση των εκπομπών του αγροτικού. Στις οδικές μεταφορές, όπου κυριαρχούν τα υγρά καύσιμα, το μίγμα παρέμεινε σχεδόν αμετάβλητο και η συμβολή του στην εξέλιξη των εκπομπών θεωρείται αμελητέα.

Συμπερασματικά, οι παράγοντες που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η ενεργειακή ένταση και το ενεργειακό μίγμα, καθώς εκεί μπορούν να γίνουν επεμβάσεις, προς όφελος της συγκράτησης των εκπομπών και της συμμόρφωσης με τις διεθνείς συμβάσεις, χωρίς να ανακοπεί η οικονομική ανάπτυξη της χώρας. Θα πρέπει, λοιπόν, να εντατικοποιηθούν οι προσπάθειες περαιτέρω βελτίωσης της ενεργειακής έντασης, ιδιαίτερας στη βιομηχανία, και κυρίως του ενεργειακού μίγματος, το οποίο αναμένεται να βελτιωθεί με την αυξανόμενη διείσδυση του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή, τη βιομηχανία και τον κτιριακό τομέα και την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Φ. Ρήγας, “Επιστήμη και τεχνολογία περιβάλλοντος”, ΕΜΠ, Αθήνα, 1998
2. European Environmental Agency, “Environmental signals 2000”, Regular indicator report, Copenhagen, 2000
3. Ν. Περράκης, “Σχεδιασμός και διαχείριση ενεργειακών συστημάτων”, Σημειώσεις μαθήματος ΜΠΣ, ΕΜΠ, Εαρινό εξάμηνο 2003
4. IPCC, “Second assessment climate change 1995, report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, World Meteorological Organization, Cambridge University Press, 1996
5. ΥΠΕΧΩΔΕ, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, “Εθνικό Πρόγραμμα Μείωσης Εκπομπών Αερίων Θερμοκηπίου”, Κλιματική αλλαγή, Αθήνα, Μάρτιος 2002
6. Δ. Παπαϊωάννου, “Η καταστροφή του κλίματος”, Νέα Οικολογία, Αθήνα, Μάρτιος 1999
7. Greenpeace, “Κλιματικές αλλαγές στην Ελλάδα και τη Μεσόγειο”, Νέα Οικολογία, Αθήνα, Μάρτιος 1999
8. Tom Tietenberg, “Environmental and natural resource economics”, 1996
9. Greenpeace, “Από το Κυότο στο Μπουένος Άϊρες: Η Σύμβαση-Πλαίσιο για τις Κλιματικές Αλλαγές και οι υποχρεώσεις της Ελλάδας”, Νέα Οικολογία, Αθήνα, 1999
10. Δ. Διακουλάκη, “Έκθεση Περιβαλλοντικών Δεικτών”, Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΚΠΑΑ), Μάρτιος 2003

11. National Observatory of Athens, "Third National Communication to the UNFCCC", Official Report, February 2003
12. G. Mavrotas, S. Pavlidou, V. Hontou, D. Diakoulaki, "Decomposition analysis of CO₂ emissions from the Greek manufacturing sector". *Global Nest: the Int. J.* Vol 2, No 1, pp 119-127, 2000
13. K. Liaskas, G. Mavrotas, M. Mandaraka, D. Diakoulaki, "Decomposition of industrial emissions: The case of European Union", *Energy Economics* 22 (2000) 383-394
14. Se-Hark Park, "An input-output framework for analyzing energy consumption", *Energy Economics* 4 (1982) 105-110
15. G.A. Hankinson, J.M.W. Rhys, "Electricity consumption, electricity intensity and industrial structure", *Energy Economics* 5 (1983) 146-152
16. W. Reitler, M. Rudolph, H. Schaefer, "Analysis of the factors influencing energy consumption in industry – a revised method", *Energy Economics* 9 (1987) 145-148
17. Se-Hark Park, "Decomposition of industrial energy consumption – An alternative method", *Energy Economics*, vol. 14, 1992
18. G. Boyd, D. Hanson, T. Sterner, "Decomposition of changes in energy intensity: a comparison of the Divisia index and other methods", *Energy Economics* 10 (1988) 309-312
19. R.B. Howarth, L. Schipper, P.A. Duerr, S. Strom, "Manufacturing energy use in eight OECD countries: decomposing the impacts of changes in output, industry structure and energy intensity", *Economics* 13 (1991) 135-142

20. B.W Ang, F.Q. Zhang, "A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies", *Energy* 25 (2000) 1149-1176
21. J.W. Sun, "Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model", *Energy Economics* 20 (1998) 85-100
22. Se-Hark Park, Bruno Dissmann, Kee-Yung Nam, "A cross-country decomposition analysis of manufacturing energy consumption", *Energy*, vol. 18, 1993
23. J.W Sun, P. Malaska, "CO₂ emission intensities in developed countries 1980-1994", *Energy* Vol. 23, pp. 105-112, 1998
24. B.W Ang, F.Q. Zhang, "Inter-regional comparisons of energy-related CO₂ emissions using the decomposition technique" *Energy* 24 (1999) 297-305
25. F.Q. Zhang, B.W. Ang, "Methodological issues in cross-country/region decomposition of energy and environment indicators", *Energy Economics* 23 (2001) 179-190
26. Jari Kaivo-oja, Jyrki Luukkanen, "The European Union balancing between CO₂ reduction commitments and growth policies - decomposition analyses", *Energy Policy*, 2003
27. S. Paul, R.N. Bhattacharya, "CO₂ emission from energy use in India: a decomposition analysis", *Energy Policy*, 2003
28. European Commission, "European Union Energy Outlook to 2020", *Energy in Europe*, November, 1999

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. Δεδομένα της ενεργειακής κατανάλωσης σε ηλεκτροπαραγωγή, βιομηχανία, μεταφορές, κτιριακό, αγροτικό τομέα και συνολικά στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα κατά την περίοδο 1990-1999

Ενεργειακή κατανάλωση ηλεκτροπαραγωγής

TJ	Στερεά* καύσιμα	Υγρά* καύσιμα	Φυσικό αέριο	Συνολική κατανάλωση ηλεκτροπαραγωγής
1990	288.572	72.166	756	361.494
1991	273.795	78.251	747	352.793
1992	295.454	77.550	653	373.657
1993	293.444	79.553	636	373.633
1994	308.305	77.617	622	386.544
1995	294.373	83.749	584	378.706
1996	286.539	82.626	689	369.853
1997	314.909	79.402	2.939	397.251
1998	331.159	76.967	14.758	422.885
1999	325.058	79.229	36.280	440.567

Ενεργειακή κατανάλωση βιομηχανίας

TJ	Στερεά καύσιμα	Υγρά καύσιμα	Φυσικό αέριο	Βιομάζα	Συνολική κατανάλωση βιομηχανίας
1990	41.821	66.416	4.046	0	112.283
1991	43.764	64.319	4.096	0	112.178
1992	41.261	63.619	3.677	0	108.556
1993	42.928	56.874	2.370	0	102.171
1994	41.764	56.465	236	4.926	103.390
1995	41.725	66.435	158	4.926	113.245
1996	40.442	76.229	295	8.617	125.583
1997	37.457	77.336	3.071	8.701	126.565
1998	38.300	75.565	13.827	8.574	136.265
1999	30.547	70.075	14.214	8.666	112.283

* Στερεά καύσιμα: λιθάνθρακας, λιγνίτης/ γαιάνθρακας

Υγρά καύσιμα: υγραέριο, βενζίνη, ντίζελ, μαζούτ

Ενεργειακή κατανάλωση μεταφορών

TJ	Στερεά καύσιμα	Υγρά καύσιμα	Συνολική κατανάλωση μεταφορών
1990	27	193.559	193.586
1991	27	205.366	205.394
1992	54	210.246	210.300
1993	27	212.472	212.499
1994	27	216.384	216.411
1995	27	220.839	220.866
1996	27	227.028	227.055
1997	27	235.811	235.838
1998	0	259.321	259.321
1999	0	262.549	262.549

Ενεργειακή κατανάλωση κτιριακού τομέα

TJ	Στερεά καύσιμα	Υγρά καύσιμα	Φυσικό αέριο	Βιομάζα	Συνολική κατανάλωση κτιριακού τομέα
1990	366	69.533	0	23.023	92.922
1991	575	71.207	0	23.023	94.806
1992	520	69.366	0	23.023	92.909
1993	517	68.747	0	23.023	92.287
1994	564	69.199	0	19.381	89.144
1995	480	73.257	0	19.381	93.118
1996	577	98.440	0	29.393	128.410
1997	597	101.947	0	29.393	131.937
1998	539	106.612	556	29.393	137.100
1999	146	104.552	473	29.393	134.564

Ενεργειακή κατανάλωση αγροτικού τομέα

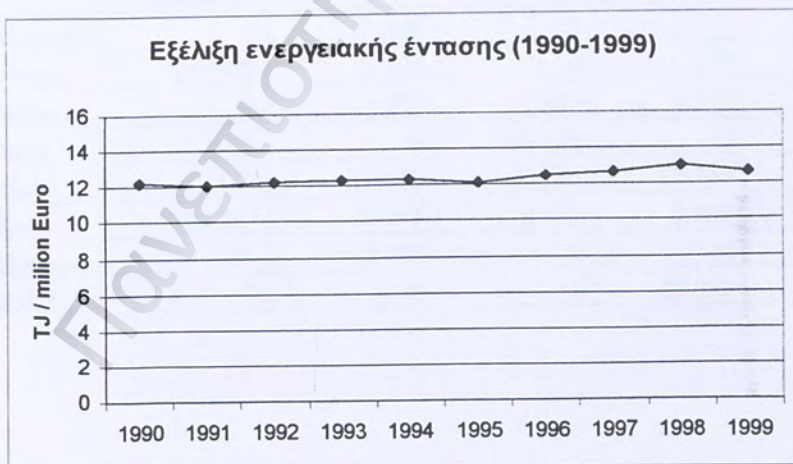
TJ	Στερεά καύσιμα	Υγρά καύσιμα	Συνολική κατανάλωση αγροτικού τομέα
1990	109	37.771	37.880
1991	137	41.610	41.747
1992	175	38.700	38.875
1993	218	37.594	37.811
1994	163	37.853	38.016
1995	218	35.139	35.357
1996	227	35.816	36.043
1997	165	35.774	35.938
1998	168	35.773	35.941
1999	260	35.773	36.033

Συνολική κατανάλωση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος

TJ	Ηλεκτρο- παραγωγή	Βιομηχανία	Μεταφορές	Κτιριακός τομέας	Αγροτικός τομέας	Σύνολο
1990	361.494	112.283	193.586	92.922	37.880	798.165
1991	352.793	112.178	205.394	94.806	41.747	806.917
1992	373.657	108.556	210.300	92.909	38.875	824.296
1993	373.633	102.171	212.499	92.287	37.811	818.401
1994	386.612	103.390	216.411	89.144	38.016	833.574
1995	378.774	113.245	220.866	93.118	35.357	841.360
1996	369.853	125.583	227.055	128.410	36.043	886.944
1997	397.251	126.565	235.838	131.937	35.938	927.529
1998	422.885	136.265	259.321	137.100	35.941	991.511
1999	440.567	123.502	262.549	134.564	36.033	997.216

Β. Εξέλιξη του ΑΕΠ και της ενεργειακής έντασης στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1990-1999

Έτος	ΑΕΠ (εκατομμύρια €) σταθερές τιμές του 1990
1990	65.255
1991	67.267
1992	67.747
1993	66.639
1994	68.002
1995	69.421
1996	71.073
1997	73.324
1998	76.037
1999	78.622



Γ. Αναλυτική κατανάλωση καυσίμων στην Ελλάδα και στην ΕΕ ανά ενεργειακό τομέα για τα έτη 1990 και 1999

Κατανάλωση καυσίμων ανά τομέα στην Ελλάδα για το έτος 1990

(TJ)	Ηλεκτρο- παραγωγή	Βιομηχανία	Μεταφορές	Κτιριακός τομέας	Αγροτικός τομέας
Λιθάνθρακας	0	37.495	27	27	0
Λιγνίτης	288.572	4.325	0	339	109
Υγραέριο	0	4.778	1.419	5.299	0
Βενζίνη	0	0	106.310	0	2.240
Ντίζελ	13.649	15.339	76.304	62.265	35.531
Μαζούτ	58.517	46.299	9.525	1.969	0
Φυσικό αέριο	756	4.046	0	0	0
Βιομάζα	0	0	0	23.023	0

Κατανάλωση καυσίμων ανά τομέα στην Ελλάδα για το έτος 1999

(TJ)	Ηλεκτρο- παραγωγή	Βιομηχανία	Μεταφορές	Κτιριακός τομέας	Αγροτικός τομέας
Λιθάνθρακας	0	37.495	27	27	0
Λιγνίτης	288.572	4.325	0	339	109
Υγραέριο	0	4.778	1.419	5.299	0
Βενζίνη	0	0	106.310	0	2.240
Ντίζελ	13.649	15.339	76.304	62.265	35.531
Μαζούτ	58.517	46.299	9.525	1.969	0
Φυσικό αέριο	756	4.046	0	0	0
Βιομάζα	0	0	0	23.023	0

Κατανάλωση καυσίμων ανά τομέα στην ΕΕ για το έτος 1990

(ktoe)	Ηλεκτρο- παραγωγή	Βιομηχανία	Μεταφορές	Κτιριακός τομέας	Αγροτικός τομέας
Κοκ άνθρακα	7.321	326	0	0	0
Πισσώδης άνθρ./ Ανθρακίτης	127.151	17.924	22	6.717	5.617
Υποπισσώδης άνθρακας	2.881	243	0	23	22
Λιγνίτης/ γαιάνθρακας	127.199	9.189	0	3.485	148
Τύρφη	3.036	763	0	969	943
Κοκ υψικαμίνου	265	9.595	9	2.721	2.131
Pat. Fuel/ BKB	1.919	5.629	0	18.085	13.222
Φυσικό Αέριο (+λοιπά αέρια)	180.892	411.262	970	412.059	16.195
Υγραέριο	41	8.458	2.763	8.963	615
Βενζίνη	0	857	124.385	246	316
Ντίζελ	1.867	13.675	98.328	67.397	12.453
Μαζούτ	39.435	27.211	896	4.634	574
Νάφθα	5	32.459	0	0	0
Πετρελ. Κοκ	158	4.765	0	50	20

Κατανάλωση καυσίμων ανά τομέα στην ΕΕ για το έτος 1999

(ktoe)	Ηλεκτρο- παραγωγή	Βιομηχανία	Μεταφορές	Κτιριακός τομέας	Αγροτικός τομέας
Κοκ άνθρακα	6.329	488	0	0	0
Πισσώδης άνθρ./ Ανθρακίτης	101.729	10.391	1	3.310	46
Υποπισσώδης άνθρακας	1.932	21	0	0	0
Λιγνίτης/ γαϊάνθρακας	93.729	555	0	72	20
Τύρφη	4.128	705	0	355	21
Κοκ υψικαμίνου	0	6.634	0	517	14
Pat. Fuel/ BKB	500	1.694	0	2.136	3
Φυσικό Αέριο (+λοιπά αέρια)	407.076	474.416	1.390	566.139	19.798
Υγραέριο	28	9.534	2.779	9.558	686
Βενζίνη	0	340	125.365	308	138
Ντίζελ	2.355	15.039	136.510	65.771	628
Μαζούτ	32.876	16.624	1.185	3.102	124
Νάφθα	89	39.357	0	0	653
Πετρελ. Κοκ	233	6.239	0	52	97

Δ. Υπολογισμοί εκπομπών CO₂ από το ελληνικό ενεργειακό σύστημα για την περίοδο 1990-1999

Εκπομπές CO₂ από την ηλεκτροπαραγωγή

kt CO ₂	Εκπομπές CO ₂	Ετήσια μεταβολή
1990	41.366	-
1991	40.004	-3,29%
1992	42.204	5,50%
1993	42.461	0,61%
1994	44.182	4,05%
1995	42.882	-2,94%
1996	41.774	-2,58%
1997	45.227	8,27%
1998	47.782	5,65%
1999	48.423	1,34%

Εκπομπές CO₂ από τη βιομηχανία

kt CO ₂	Εκπομπές CO ₂	Ετήσια μεταβολή
1990	9.332	-
1991	9.323	-0,10%
1992	8.998	-3,49%
1993	8.626	-4,13%
1994	8.298	-3,81%
1995	9.018	8,68%
1996	9.665	7,17%
1997	9.573	-0,95%
1998	10.072	5,21%
1999	8.895	-11,69%

Εκπομπές CO₂ από τις μεταφορές

kt CO ₂	Εκπομπές CO ₂	Ετήσια μεταβολή
1990	13.851	-
1991	14.705	6,17%
1992	15.052	2,36%
1993	15.192	0,93%
1994	15.481	1,90%
1995	15.796	2,03%
1996	16.218	2,67%
1997	16.865	3,99%
1998	18.605	10,32%
1999	18.842	1,28%

Εκπομπές CO₂ από τον κτιριακό τομέα

kt CO ₂	Εκπομπές CO ₂	Ετήσια μεταβολή
1990	5.145	-
1991	5.290	2,81%
1992	5.142	-2,79%
1993	5.098	-0,87%
1994	5.135	0,73%
1995	5.423	5,62%
1996	7.297	34,55%
1997	7.559	3,58%
1998	7.936	5,00%
1999	7.743	-2,43%

Εκπομπές CO₂ από τον αγροτικό τομέα

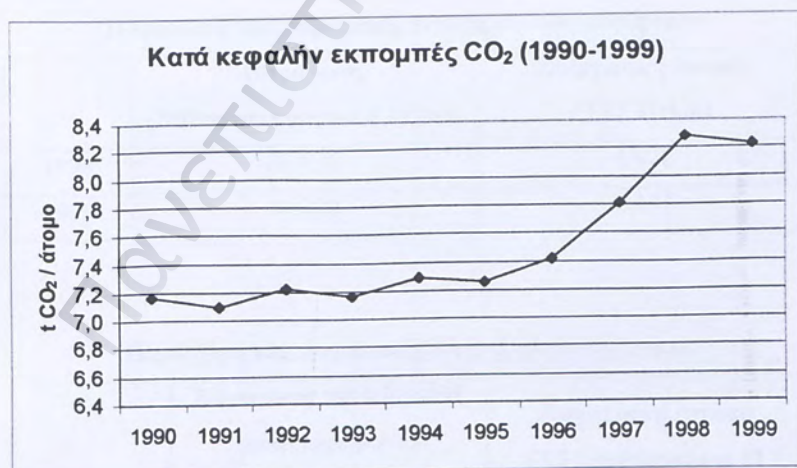
kt CO ₂	Εκπομπές CO ₂	Ετήσια μεταβολή
1990	2.802	-
1991	3.092	10,36%
1992	2.881	-6,80%
1993	2.804	-2,69%
1994	2.816	0,44%
1995	2.621	-6,92%
1996	2.673	1,98%
1997	2.662	-0,41%
1998	2.663	0,01%
1999	2.674	0,43%

Συνολικές εκπομπές CO₂ από το ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας

kt CO ₂	Ηλεκτρο- παραγωγή	Βιομηχανία	Μεταφορές	Κτιριακός τομέας	Αγροτικός τομέας	Σύνολο
1990	41.366	9.332	13.851	5.145	2.802	72.496
1991	40.004	9.323	14.705	5.290	3.092	72.413
1992	42.204	8.998	15.052	5.142	2.881	74.277
1993	42.461	8.626	15.192	5.098	2.804	74.182
1994	44.182	8.298	15.481	5.135	2.816	75.912
1995	42.882	9.018	15.796	5.423	2.621	75.741
1996	41.774	9.665	16.218	7.297	2.673	77.627
1997	45.227	9.573	16.865	7.559	2.662	81.886
1998	47.782	10.072	18.605	7.936	2.663	87.058
1999	48.423	8.895	18.842	7.743	2.674	86.577

Ε. Εξέλιξη πληθυσμού και εκπομπών CO₂ ανά κάτοικο στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1990-1999

Έτος	Πληθυσμός (κάτοικοι)
1990	10.120.892
1991	10.200.104
1992	10.294.472
1993	10.349.200
1994	10.409.605
1995	10.442.863
1996	10.465.059
1997	10.486.595
1998	10.510.965
1999	10.521.669



ΣΤ. Επίπεδο παραγωγής και ενεργειακή ένταση των τομέων του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για τα έτη 1990 και 1999

Παραγωγή και ενεργειακή ένταση ηλεκτροπαραγωγής

	Παραγωγή (GWh)	Ενεργειακή ένταση (TJ / GWh)
1990	35.002	10,328
1999	49.619	8,879

Παραγωγή και ενεργειακή ένταση βιομηχανίας

	Παραγωγή επί του ΑΕΠ (εκατομμύρια €) σταθερές τιμές του 1990	Ενεργειακή ένταση (TJ / εκατομμύριο €)
1990	17.149	6,547
1999	15.866	7,784

Παραγωγή και ενεργειακή ένταση οδικών μεταφορών

	Παραγωγή (Mtkm μεταφορικού έργου)	Ενεργειακή ένταση (TJ / Mtkm)
1990	33.836	4,928
1999	54.200	4,143

Παραγωγή και ενεργειακή ένταση τριτογενή τομέα

	Παραγωγή επί του ΑΕΠ (εκατομμύρια €) σταθερές τιμές του 1990	Ενεργειακή ένταση (TJ / εκατομμύριο €)
1990	23.949	0,380
1999	36.386	0,290

Παραγωγή και ενεργειακή ένταση αγροτικού τομέα

	Παραγωγή επί του ΑΕΠ (εκατομμύρια €) σταθερές τιμές του 1990	Ενεργειακή ένταση (TJ / εκατομμύριο €)
1990	7.152	5,296
1999	7.312	4,928

Z. Καθαρή επίδραση των παραγόντων στη μεταβολή των εκπομπών CO₂ του συνολικού ενεργειακού συστήματος και κάθε τομέα κατά την περίοδο 1990-1999

