



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

*ΤΟΜΕΑΣ II: Ανάλυσης, Σχεδιασμού & Ανάπτυξης Συστημάτων & Διεργασιών*

# ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

**ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΑΓΓΕΛΗΣ-ΔΗΜΑΚΗΣ**

Εργασία υποβληθείσα για την απόκτηση διδακτορικού διπλώματος

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

Καθηγητής ΕΜΠ Διονύσιος Ασημακόπουλος (Επιβλέπων Καθηγητής)

Καθηγητής ΕΜΠ Ιωάννης Ζιώμας

Καθηγήτρια ΕΜΠ Δανάη Διακουλάκη

Αθήνα 2011



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



## **Ευχαριστίες**

Κατά διάρκεια της εκπόνησης της διδακτορικής μου διατριβής είχα τη στήριξη και τη βοήθεια μιας πλειάδας ανθρώπων τους οποίους βαθύτατα ευχαριστώ. Ιδιαίτερα, επιθυμώ να ευχαριστήσω ονομαστικά, εκείνους των οποίων η συμβολή στην ολοκλήρωση της διατριβής αυτής υπήρξε καθοριστική.

Τον επιβλέποντα τη διατριβή Καθηγητή του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Διονύσιο Ασημακόπουλο για την ανάθεση του θέματος και για την επιστημονική και ηθική υποστήριξή του σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Οι συνεχείς και εποικοδομητικές παρατηρήσεις και προτάσεις του υπήρξαν καθοριστικές για την τελική διαμόρφωση της παρούσας εργασίας.

Τους Καθηγητές του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. Ιωάννη Ζιώμα και κα Δανάη Διακουλάκη για τις χρήσιμες συμβουλές τους στο πλαίσιο της συμμετοχής τους στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Τον Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π. κ. Γεώργιο Μαυρωτά για την ευκαιρία που μου παρείχε να συμμετάσχω σε εποικοδομητικές συζητήσεις επί θεμάτων συναφών με το αντικείμενο της διατριβής.

Το Δρ. Χημικό Μηχανικό του ΕΜΠ κ. Γεώργιο Αραμπατζή για την ουσιαστική του βοήθεια σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής

Τους συναδέλφους Σπυριδούλα Ντεμίρη και Ιωάννη Σέμπο για την προθυμία τους να μοιραστούν μαζί μου τις γνώσεις και την εμπειρία τους σε ζητήματα καθοριστικά για τη μελέτη του ελληνικού ενεργειακού συστήματος.

Τους συνεργάτες και φίλους Άγγελο Παναγιωτάκη και Μιχάλη Μουζουράκη για την προθυμία τους να μου προσφέρουν τις συμβουλές τους και τη βοήθειά τους σε θέματα προγραμματισμού.

Όλους τους συναδέλφους της Μονάδας Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων για τη βοήθεια που μου προσέφεραν αλλά κυρίως για το φιλικό και δημιουργικό κλίμα συνύπαρξης που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Όλους τους φοιτητές με τους οποίους συνεργάστηκα στο πλαίσιο της εκπόνησης της διπλωματικής τους εργασίας και οι οποίοι συνέβαλαν, με τον τρόπο τους, στην εξέλιξη της παρούσας διατριβής.

Τους γονείς μου Βασίλη και Κατερίνα, τον αδελφό μου Δημήτρη, την Τζούλια και το Γιώργο για την ηθική τους υποστήριξη και τη βοήθειά τους στην αντιμετώπιση και στην επίλυση των προβλημάτων της καθημερινότητάς μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στη σύντροφό μου Αντωνία για την ανεξάντλητη υπομονή της και την αμέριστη συμπαράστασή της, χωρίς την οποία θα ήταν δύσκολη η ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.



## Περίληψη

**Αντικείμενο** της διατριβής είναι ο Ενεργειακός Σχεδιασμός, με άλλα λόγια η διαμόρφωση στρατηγικών οι οποίες αποσκοπούν στην ορθολογική και αειφόρο διαχείριση ενός ενεργειακού συστήματος.

**Στόχος** της διατριβής είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την πραγματοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο, λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη την αβεβαιότητα η οποία πηγάζει τόσο από την αδυναμία ακριβούς εκτίμησης της εξέλιξης των εμπλεκόμενων μεγεθών όσο και από την υποκειμενικότητα κατά τη λήψη των αποφάσεων.

Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο χωρίζεται σε επτά διακριτά στάδια και βασίζεται στην αποτύπωση του ενεργειακού ισοζυγίου με τη μορφή ενός ενεργειακού συστήματος αναφοράς. Κεντρικοί άξονές του είναι η ιστορική ανάλυση του συστήματος, η καταγραφή των εναλλακτικών δράσεων, η διαμόρφωση των στρατηγικών ανάπτυξης και τέλος η αξιολόγησή τους με βάση την εκτιμώμενη εξέλιξη του συστήματος.

- Η ιστορική ανάλυση εξυπηρετεί τον προσδιορισμό των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του συστήματος καθώς και των τάσεων που εμφανίζονται κατά την εξέλιξη διαφόρων μεγεθών. Εντοπίζονται οι βασικές του αδυναμίες, οι αιτίες που τις προκαλούν και καθορίζονται οι προτεραιότητες και οι στόχοι του Ενεργειακού Σχεδιασμού.
- Για την αξιολόγηση των προτεινόμενων δράσεων χρησιμοποιείται η ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας σε συνδυασμό με την ανάλυση αυξητικού κόστους.

Η κωδικοποίηση των συμπερασμάτων και η σύγκριση των αποτελεσμάτων διευκολύνεται με την ανάπτυξη και χρησιμοποίηση ενός υποσυνόλου δεικτών το οποίο περιγράφει τη βιώσιμη ανάπτυξη ενός ενεργειακού συστήματος. Βασίζεται στα ήδη ανεπτυγμένα σύνολα δεικτών και εμπλουτίζεται με βάση τους ειδικούς ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς στόχους του υπό μελέτη συστήματος.

Για την υποστήριξη του μεθοδολογικού πλαισίου υλοποιήθηκαν δύο υπολογιστικά εργαλεία. Το πρώτο χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των εναλλακτικών δράσεων και τη διαμόρφωση του τελικού σχεδίου δράσης. Ο αλγόριθμός που εφαρμόζεται έχει αναπτυχθεί από το Σώμα Μηχανικού του Στρατού των ΗΠΑ αλλά προσαρμόζεται κατάλληλα ώστε να συμπεριληφθεί σε αυτόν η ανάλυση επικινδυνότητας με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo. Το δεύτερο σχεδιάζει και επιλύει ένα ενεργειακό ισοζύγιο. Ακολουθεί την τεχνολογική προσέγγιση και υπολογίζει την απαιτούμενη παροχή ενέργειας για την κάλυψη δεδομένης ζήτησης. Στηρίζεται στη λεπτομερή καταγραφή των χαρακτηριστικών όλων των τελικών χρήσεων και των διεργασιών παραγωγής και μετατροπής ενέργειας. Ο αλγόριθμος επίλυσης του ισοζυγίου αποτελεί στην ουσία ένα συνδυασμό υφιστάμενων αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στη θεωρία δικτύων

αλλά και μίας ιεραρχικής διαδικασίας επίλυσης κάθε κόμβου του δικτύου ξεχωριστά, η οποία προσδιορίζει την απαιτούμενη παροχή για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Παράλληλα, ενσωματώνεται στον αλγόριθμο η ανάλυση επικινδυνότητας με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo. Το γεγονός αυτό αποτελεί τη σημαντικότερη καινοτομία του προτεινόμενου εργαλείου σε σχέση με άλλα αντίστοιχα.

Το μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύχθηκε, εφαρμόζεται στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα. Στόχος είναι η παρακολούθηση της βιώσιμης ανάπτυξης του κατά την τελευταία πεντηκονταετία αλλά και η διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου σχεδίου δράσης, το οποίο θα περιλαμβάνει επεμβάσεις σε όλους τους τομείς οικονομικής δραστηριότητας, με σκοπό την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί για το 2020, τόσο από την ευρωπαϊκή και όσο και από την ελληνική νομοθεσία.

Η ιστορική ανάλυση απέδειξε πως η ανάπτυξη του συστήματος ήταν ανισοβαρής και η έμφαση δόθηκε στην κοινωνική διάσταση της βιωσιμότητας. Αντίθετα, στην οικονομική αλλά και στην περιβαλλοντική συνιστώσα δεν δόθηκε τόσο μεγάλη βαρύτητα. Κατά συνέπεια, η μεν πρώτη να αναμένεται να επιδεινωθεί περαιτέρω λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, η δε δεύτερη εμφανίζει σταθερότητα κατά την τελευταία δεκαετία.

Τρία εναλλακτικά σενάρια της μελλοντικής εξέλιξης του συστήματος καταστρώθηκαν, τα οποία αναφέρονται στις περιόδους προ (2008), κατά τη διάρκεια (2009) και μετά την παγίωση (2010) της διεθνούς οικονομικής κρίσης η οποία επηρέασε και την Ελλάδα, τα οποία θα αποκαλούνται στο εξής, για λόγους συντομίας, Σενάριο 1, 2 και 3 αντίστοιχα. Εξετάζεται η αναμενόμενη εξέλιξη του συστήματος με δεκαετή χρονικό ορίζοντα, με βάση τις προγραμματισμένες δράσεις στον τομέα της ενέργειας, και εντοπίζεται αδυναμία επίτευξης των περισσότερων δεσμευτικών στόχων. Για την βελτίωση, λοιπόν, της κατάστασης κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας σε όλους τους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας αλλά και προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

Για τη διαμόρφωση του τελικού σχεδίου δράσης, συγκεντρώθηκαν και καταγράφηκαν όλες οι πιθανές επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας, μέσα από βιβλιογραφική έρευνα σε επίσημες εκθέσεις, μελέτες, επιστημονικά άρθρα και άρθρα του ημερήσιου τύπου για την περίοδο 2006-2010. Το σχέδιο δράσης εφαρμόζεται για τα τρία σενάρια και υπολογίζονται οι πιθανότητες επίτευξης των στόχων σε κάθε περίπτωση καθώς και το κατά πόσο ευνοείται από τα μέτρα αυτά η βιώσιμη ανάπτυξη του συστήματος.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι, με βάση τις εκτιμήσεις που έγιναν για την εξέλιξη της ζήτησης πριν την παγίωση της διεθνούς οικονομικής κρίσης (Σενάριο 1), μόνο δύο από τους στόχους είναι εφικτοί με την εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων, η μείωση των συνολικών εκπομπών και η μείωση των εκπομπών για τους τομείς εντός του Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ).



Αντιθέτως, για τα άλλα δύο σενάρια (Σενάριο 2 και 3), τα οποία είναι και πιο ρεαλιστικά καθώς διαμορφώθηκαν έχοντας λάβει υπόψη όλες τις πρόσφατες οικονομικές και κοινωνικές εξελίξεις, η κατάσταση είναι διαφορετική. Μεταξύ τους παρατηρούνται τόσο ομοιότητες όσο και διαφορές. Και στις δύο περιπτώσεις υπάρχει υψηλή πιθανότητα επίτευξης του στόχου διείσδυσης των ΑΠΕ στις μεταφορές ενώ είναι σχεδόν μηδενική η πιθανότητα εξοικονόμησης της κατανάλωσης τελικής ενέργειας μέχρι το 2016. Το Σενάριο 2 είναι πιο ευνοϊκό για την επίτευξη των στόχων διείσδυσης των ΑΠΕ σε ηλεκτροπαραγωγή και τελική κατανάλωση ενώ το Σενάριο 3 ευνοεί σημαντικά τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> τόσο για τους κλάδους εντός ΣΕΔΕ όσο και για τους κλάδους εκτός ΣΕΔΕ.

Συνοψίζοντας, η εφαρμογή του προτεινόμενου σχεδίου δράσης με δεκαετή χρονικό ορίζοντα θα έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη έξι εκ των επτά στόχων που έχουν τεθεί, με πιθανότητα επίτευξης μεγαλύτερη του 50%. Παράλληλα, ελέγχεται και η επίδραση των επεμβάσεων στη αειφορία του συστήματος και επιβεβαιώνεται το γεγονός ότι δεν διαταράσσεται η βιώσιμη ανάπτυξη του συστήματος, ενισχύοντας περισσότερο, όπως είναι αναμενόμενο, την περιβαλλοντική της συνιστώσα.



# Περιεχόμενα

---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 Αντικείμενο της Διατριβής.....	1
1.2 Ενεργειακός Σχεδιασμός .....	3
1.2.1 Κατάρτιση Ενεργειακού Ισοζυγίου .....	3
1.2.2 Μοντελοποίηση Ενεργειακής Ζήτησης .....	4
1.2.3 Εκτίμηση της Μελλοντικής Εξέλιξης του Συστήματος.....	7
1.2.4 Λήψη Αποφάσεων .....	8
1.3 Ενεργειακός Σχεδιασμός υπό Συνθήκες Αβεβαιότητας.....	9
1.4 Στόχοι της Διατριβής.....	12
1.5 Διάρθρωση της Διατριβής .....	15
ΜΕΡΟΣ Α ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ .....	19
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Ανάλυση Επικινδυνότητας.....	19
2.2.1 Επικινδυνότητα και Αβεβαιότητα.....	20
2.2.2 Πηγές της Αβεβαιότητας .....	21
2.2.3 Διαχείριση της Επικινδυνότητας.....	22
2.3 Ανάλυση Κόστους-Αποτελεσματικότητας .....	26
2.4 Ενεργειακοί Δείκτες Βιώσιμης Ανάπτυξης.....	27
2.4.1 Σύνθετοι Δείκτες .....	30
2.5 Σύνοψη .....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ .....	33
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Περιγραφή της Μεθοδολογικής Προσέγγισης .....	33
3.3 Επίλυση Ενεργειακού Ισοζυγίου.....	36
3.4 Αξιολόγηση Εναλλακτικών Δράσεων.....	39
3.5 Σύνοψη .....	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	47
4.1 Εισαγωγή.....	47
4.2 Υφιστάμενα Εργαλεία .....	47
4.3 Γενική Περιγραφή .....	50
4.4 Αρχιτεκτονική του Συστήματος .....	53
4.4.1 Υποσυστήματα.....	53
4.4.2 Πλατφόρμα Ανάπτυξης.....	54

4.5	Περιβάλλον Επικοινωνίας Συστήματος-Χρήστη .....	55
4.6	Αποθήκευση Δεδομένων .....	56
4.7	Λειτουργία του Συστήματος.....	57
4.7.1	Κατάρτιση του Ενεργειακού Ισοζυγίου .....	57
4.7.2	Δημιουργία Σεναρίων .....	60
4.7.3	Αποτελέσματα - Σύγκριση Σεναρίων .....	61
4.8	Σύνοψη .....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ...		65
5.1	Εισαγωγή .....	65
5.2	Υφιστάμενα Εργαλεία .....	65
5.3	Γενική Περιγραφή .....	66
5.4	Αρχιτεκτονική του Συστήματος .....	66
5.4.1	Γενικά Στοιχεία .....	66
5.4.2	Πλατφόρμα Ανάπτυξης.....	67
5.5	Λειτουργία του Συστήματος.....	68
5.6	Σύνοψη .....	71
ΜΕΡΟΣ Β ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΕΛΛΑΔΑ .....		73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....		75
6.1	Εισαγωγή.....	75
6.2	Γενική Εικόνα .....	75
6.3	Πηγές Δεδομένων.....	76
6.3.1	Κρατικές Υπηρεσίες .....	77
6.3.2	Διεθνείς Οργανισμοί .....	77
6.3.3	Ενεργειακές Επιχειρήσεις .....	77
6.3.4	Ιδιωτικοί οργανισμοί.....	77
6.3.5	Επιστημονικά άρθρα και μελέτες .....	78
6.3.6	Άρθρα και αποσπάσματα του ημερήσιου τύπου.....	78
6.4	Ενεργειακό Σύστημα Αναφοράς .....	78
6.4.1	Ηλεκτρική Ενέργεια.....	81
6.4.2	Στερεά Καύσιμα.....	82
6.4.3	Πετρελαϊκά Προϊόντα .....	82
6.4.4	Φυσικό Αέριο.....	83
6.4.5	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	84
6.5	Εθνικοί Ενεργειακοί Στόχοι .....	84
6.5.1	Διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	85
6.5.2	Μείωση των Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου.....	86
6.5.3	Εξοικονόμηση Ενέργειας.....	86

6.6	Προτεινόμενο Σύνολο Ενεργειακών Δεικτών .....	87
6.6.1	Οικονομικοί Δείκτες .....	88
6.6.2	Περιβαλλοντικοί Δείκτες .....	90
6.6.3	Κοινωνικοί Δείκτες .....	91
6.7	Σύνοψη .....	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....		93
7.1	Εισαγωγή.....	93
7.2	Συλλογή Δεδομένων.....	93
7.2.1	Μακροοικονομικά και Δημογραφικά Δεδομένα .....	94
7.2.2	Τελική Κατανάλωση Ενέργειας.....	97
7.2.3	Διεργασίες Παραγωγής και Μετατροπής Ενέργειας .....	104
7.3	Διαχρονική Μελέτη της Βιωσιμότητας.....	111
7.3.1	Κοινωνική Συνιστώσα .....	111
7.3.2	Οικονομική Συνιστώσα.....	113
7.3.3	Περιβαλλοντική Συνιστώσα .....	119
7.3.4	Σύνθετοι Δείκτες.....	122
7.4	Σύνοψη .....	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ .....		125
8.1	Εισαγωγή.....	125
8.2	Διαμόρφωση Εναλλακτικών Σεναρίων .....	125
8.3	Εξέλιξη του Συστήματος «Ως Έχει» .....	130
8.4	Διαμόρφωση Σχεδίου Δράσης.....	135
8.4.1	Μοντελοποίηση των Μέτρων .....	136
8.4.2	Παρουσίαση των Προτεινόμενων Μέτρων.....	136
8.5	Αξιολόγηση Σχεδίου Δράσης.....	153
8.5.1	Εθνικοί Στόχοι .....	154
8.5.2	Βιώσιμη Ανάπτυξη .....	156
8.6	Σύνοψη .....	159
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....		161
9.1	Ανασκόπηση.....	161
9.2	Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα .....	162
9.2.1	Περίοδος 1960-2007 .....	162
9.2.2	Περίοδος 2010-2020 .....	162
9.2.3	Προτάσεις για Συνέχιση της Διατριβής .....	164
9.3	Εργαλεία Υποστήριξης Αποφάσεων .....	165
9.3.1	Ενεργειακός Σχεδιασμός.....	165
9.3.2	Εργαλείο Αξιολόγησης Επεμβάσεων .....	166

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	167
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	177
Π.1.1. Βάση Δεδομένων Δικτύου .....	178
Π.1.2. Βάση Δεδομένων Καυσίμων και Τεχνολογιών .....	184
Π.1.3. Διαδικασία Εισαγωγής Δεδομένων .....	186
Π.1.4. Περιεχόμενα της Βάσης Δεδομένων Καυσίμων και Τεχνολογιών .....	190
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ .....	193
Π.2.1. Διαβούλευση Ειδικών .....	193
Π.2.2. Πίνακας Αβεβαιότητας.....	193
Π.2.3. Διαγράμματα Επιρροής .....	194
Π.2.4. Δέντρο Αποφάσεων.....	194
Π.2.5. Ανάλυση Ευαισθησίας .....	195
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ – ΑΝΑΛΥΣΗ MONTE CARLO ...	197
Π.3.1. Εθνικοί Στόχοι.....	197
Π.3.1.1. Διείσδυση ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση.....	197
Π.3.1.2. Διείσδυση ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή.....	199
Π.3.1.3. Διείσδυση ΑΠΕ στην Τομέα των Μεταφορών .....	201
Π.3.1.4. Μείωση Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου .....	203
Π.3.1.5. Εξοικονόμηση κατανάλωσης τελικής ενέργειας.....	208
Π.3.1.6. Θηκογράμματα για την επίτευξη των στόχων.....	210
Π.3.2. Δείκτες Βιωσιμότητας .....	213
Π.3.3.1. Παροχή πρωτογενούς ενέργειας.....	213
Π.3.3.2. Χρήση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα .....	215
Π.3.3.3. Παραγωγικότητα του ενεργειακού συστήματος .....	217
Π.3.3.4. Ενεργειακή Εξάρτηση .....	219
Π.3.3.5. Εκπομπές CO <sub>2</sub> κατά κεφαλή .....	221
Π.3.3.6. Ένταση Εκπομπών .....	223
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4. ΓΛΩΣΣΑΡΙ ΟΡΩΝ .....	225

# Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά των κυριότερων σύγχρονων εργαλείων ενεργειακού σχεδιασμού.....	48
Πίνακας 4.2. Σύντομη περιγραφή των λειτουργιών του συστήματος .....	54
Πίνακας 6.1. Σημαντικότερα γεγονότα των τελευταίων 50 ετών που επηρέασαν την Ελλάδα .....	76
Πίνακας 6.2. Διεργασίες παραγωγής και μετατροπής ενέργειας του ελληνικού ενεργειακού συστήματος (ΥΠΑΝ, 2010) .....	80
Πίνακας 6.3. Καύσιμα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος (ΥΠΑΝ, 2009) .....	81
Πίνακας 6.4. Δυναμικότητα των ελληνικών διυλιστηρίων.....	83
Πίνακας 6.5. Προτεινόμενο σύνολο δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης του ενεργειακού συστήματος .....	87
Πίνακας 7.1. Εξέλιξη του πληθυσμού, του συνολικού ΑΕΠ καθώς και του ΑΕΠ των κλάδων οικονομικής δραστηριότητας (εκατ. € σε σταθερές τιμές 2005) και του κατά κεφαλή εθνικού εισοδήματος (€ σε σταθερές τιμές 2005) (Eurostat, 2009) .....	94
Πίνακας 7.2. Ρυθμός αύξησης της προστιθέμενης αξίας των τριών κλάδων οικονομικής δραστηριότητας .....	97
Πίνακας 7.3. Εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροπαραγωγής (σε MW) .....	108
Πίνακας 7.4. Προβασιμότητα και οικονομική εφικτότητα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος .....	112
Πίνακας 8.1. Εκτιμώμενη εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού (Σενάριο 1) .....	127
Πίνακας 8.2. Εκτιμώμενη εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού (Σενάριο 2) .....	127
Πίνακας 8.3. Εκτιμώμενη εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού (Σενάριο 3) .....	127
Πίνακας 8.4. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας (Σενάριο 1) .....	128
Πίνακας 8.5. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας (Σενάριο 2) .....	128
Πίνακας 8.6. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας (Σενάριο 3) .....	128
Πίνακας 8.7. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά ενεργειακή μορφή (Σενάριο 1) .....	129
Πίνακας 8.8. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά ενεργειακή μορφή (Σενάριο 2) .....	129
Πίνακας 8.9. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά ενεργειακή μορφή (Σενάριο 3) .....	129
Πίνακας 8.10. Πρόγραμμα απόσυρσης παλαιών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής (ΥΠΑΝ, 2008β) .....	130
Πίνακας 8.11. Πρόγραμμα ένταξης νέων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής (ΥΠΑΝ, 2008β) .....	130

Πίνακας 8.12. Αναμενόμενη επίτευξη των εθνικών στόχων με την ανάπτυξη του συστήματος «ως έχει».....	133
Πίνακας 8.13. Εκτιμώμενες εκπομπές CO <sub>2</sub> (σε tCO <sub>2</sub> ) για τις εγκαταστάσεις που εντάσσονται στο σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών .....	133
Πίνακας 8.14. Πορεία προς τη βιώσιμη ανάπτυξη του συστήματος «ως έχει».....	134
Πίνακας 8.15. Τυπική κατανάλωση ενέργειας ανά κατοικία και τελική χρήση.....	137
Πίνακας 8.16. Αντικατάσταση λαμπτήρων – Βιβλιογραφική έρευνα .....	138
Πίνακας 8.17. Θερμομόνωση τοίχων – Βιβλιογραφική έρευνα.....	139
Πίνακας 8.18. Θερμομόνωση οροφής – Βιβλιογραφική έρευνα .....	139
Πίνακας 8.19. Διπλά υαλοστάσια – Βιβλιογραφική έρευνα.....	140
Πίνακας 8.20. Αεροστεγάνωση ανοιγμάτων – Βιβλιογραφική έρευνα .....	140
Πίνακας 8.21. Εξωτερικός σκιασμός – Βιβλιογραφική έρευνα.....	140
Πίνακας 8.22. Αντικατάσταση ψυγείων – Βιβλιογραφική έρευνα .....	141
Πίνακας 8.23. Αντικατάσταση κλιματιστικών με ανεμιστήρες – Βιβλιογραφική έρευνα .....	141
Πίνακας 8.24. Ποσοστό εξοικονόμησης με την αντικατάσταση πλυντηρίων - Βιβλιογραφική έρευνα .....	141
Πίνακας 8.28. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον οικιακό τομέα - Χαρακτηριστικά μεγέθη της κατανομής.....	142
Πίνακας 8.25. Αντικατάσταση λεβήτων με νέους Φ.Α. – Βιβλιογραφική έρευνα....	143
Πίνακας 8.26. Αντικατάσταση λεβήτων με νέους πετρελαίου – Βιβλιογραφική έρευνα .....	143
Πίνακας 8.27. Συστήματα ηλιακής θέρμανσης νερού– Βιβλιογραφική έρευνα.....	143
Πίνακας 8.29. Προτεινόμενο σύνολο επεμβάσεων στον οικιακό τομέα σε φθίνουσα σειρά εφαρμογής τους με βάση την ανάλυση αυξητικού κόστους.....	147
Πίνακας 8.30. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον τριτογενή δημόσιο τομέα.....	150
Πίνακας 8.31. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον τριτογενή ιδιωτικό τομέα.....	151
Πίνακας 8.32. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον τομέα των μεταφορών .....	152
Πίνακας 8.33. Εύρος εφαρμογής των επεμβάσεων στον τομέα της προσφοράς ενέργειας – Βιβλιογραφική έρευνα. ....	153
Πίνακας 8.34. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον τομέα της προσφοράς ενέργειας – Χαρακτηριστικά μεγέθη της κατανομής.....	153
Πίνακας 8.35. Συνοπτική παρουσίαση της επίτευξης των εθνικών στόχων σε κάθε ένα από τα τρία σενάρια .....	155
Πίνακας 8.36. Πιθανότητα επίτευξης των εθνικών στόχων σε κάθε ένα από τα τρία σενάρια.....	155
Πίνακας 8.37. Συνοπτική παρουσίαση της εξέλιξης των δεικτών βιωσιμότητας σε κάθε ένα από τα τρία σενάρια.....	157
Πίνακας 9.1. Προτεινόμενο σχέδιο δράσης για την περίοδο 2011-2020. ....	163
Πίνακας Π.1.1. Δομή Πίνακα Ανάγνωσης Δεδομένων .....	188



Πίνακας Π.1.2. Κατώτερη θερμογόνοος δύναμη καυσίμων (TJ/kt) (Αυγερινός, 2006) .....	190
Πίνακας Π.1.3. Συντελεστής εκπομπής καυσίμων (tCO <sub>2</sub> /TJ) (TED, 2010) .....	191
Πίνακας Π.1.4. Πυκνότητα καυσίμων (kg/m <sup>3</sup> ) (Αυγερινός, 2006) .....	191

# Κατάλογος Εικόνων

---

Εικόνα 2.1. Σχηματική περιγραφή της μεθόδου Monte Carlo.....	25
Εικόνα 2.2. Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας .....	26
Εικόνα 3.1. Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού.....	34
Εικόνα 3.2. Αλγόριθμος επίλυσης ενεργειακού ισοζυγίου.....	38
Εικόνα 3.3. Αλγόριθμος ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας και ανάλυση αυξητικού κόστους (Orth, 1994).....	40
Εικόνα 3.4. Αλγόριθμος αξιολόγησης εναλλακτικών επεμβάσεων.....	42
Εικόνα 3.5. Καμπύλη ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας.....	43
Εικόνα 3.6. Καμπύλη αυξητικού κόστους .....	44
Εικόνα 4.1. Αρχιτεκτονική του συστήματος .....	53
Εικόνα 4.2. Τυπική οθόνη του συστήματος.....	56
Εικόνα 4.3. Καθορισμός παραμέτρων περιοχής μελέτης .....	58
Εικόνα 4.4. Επεξεργαστής ιδιοτήτων ενός κόμβου .....	59
Εικόνα 4.5. Επεξεργαστής χρονοσειρών .....	60
Εικόνα 4.6. Επεξεργαστής αβέβαιων παραμέτρων.....	61
Εικόνα 4.7. Τυπική οθόνη παρουσίασης αποτελεσμάτων .....	62
Εικόνα 4.8. Οθόνη παρουσίασης συγκριτικών αποτελεσμάτων.....	62
Εικόνα 5.1. Αρχική οθόνη του εργαλείου αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων .....	68
Εικόνα 5.2. (α) Επεξεργασία «αβέβαιων» παραμέτρων και (β) καθορισμός των εφικτών συνδυασμών μεταξύ των πρωτογενών μέτρων.....	68
Εικόνα 5.3. Αποτελέσματα ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας χωρίς την επίδραση της αβεβαιότητας .....	69
Εικόνα 5.4. Σύνολο εναλλακτικών «ιδανικών» λύσεων και συχνότητας εμφάνισης τους .....	69
Εικόνα 5.5. Διαμόρφωση του τελικού σχεδίου δράσης με βάση της καμπύλη αυξητικού κόστους.....	70
Εικόνα 5.6. Αξιολόγηση του τελικού σχεδίου δράσης .....	71
Εικόνα 6.1. Ενεργειακό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας. ....	79
Εικόνα 7.1. Πληθυσμός, ΑΕΠ και προστιθέμενη αξία των κλάδων οικονομικής δραστηριότητας (εκατ. € σε σταθερές τιμές 2005).....	96
Εικόνα 7.2. Τελική κατανάλωση ενέργειας (σε kTOE).....	98
Εικόνα 7.3. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στον τομέα των μεταφορών (σε kTOE) .....	100
Εικόνα 7.4. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στο βιομηχανικό τομέα (σε kTOE).....	101
Εικόνα 7.5. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα (σε kTOE).....	102
Εικόνα 7.6. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στον εμπορικό τομέα (σε kTOE) .....	103

Εικόνα 7.7. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στον αγροτικό τομέα (σε kTOE) .....	104
Εικόνα 7.8. Μερίδια εγκατεστημένης ισχύος ηλεκτροπαραγωγής ανά είδος μονάδας σε συνάρτηση με τη συνολική απόδοση της ηλεκτροπαραγωγής .....	105
Εικόνα 7.9. Ποσοστιαία σύσταση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής .....	106
Εικόνα 7.10. Βαθμός απόδοσης ηλεκτροπαραγωγής ανά είδος μονάδων .....	107
Εικόνα 7.11. Απώλειες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και μερίδια ιδιοκατανάλωση στην ηλεκτροπαραγωγή.....	109
Εικόνα 7.12. Δυναμικότητα των διυλιστηρίων και ποσοστιαία σύσταση του παραγόμενου μίγματος.....	110
Εικόνα 7.13. Δυναμικότητα των δευτερευουσών ενεργειακών διεργασιών (σε kTOE) .....	111
Εικόνα 7.14. Ποσοστό των ετήσιων εξόδων ενός νοικοκυριού που δαπανάται για την αγορά καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας για 8 διαφορετικές κατηγορίες εισοδήματος .....	113
Εικόνα 7.15. Τελική και οικιακή κατανάλωση ενέργειας (σε TOE/κάτοικο/έτος) ...	114
Εικόνα 7.16. Συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας (σε TOE/κάτοικο/έτος) .....	114
Εικόνα 7.17. Συνολική ενεργειακή ένταση και ανάλυση σε επιμέρους παράγοντες. ....	115
Εικόνα 7.18. Παραγωγικότητα και ενεργειακή απόδοση (οι τιμές των υπόλοιπων χωρών είναι του 2005) .....	116
Εικόνα 7.19. Διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος.....	117
Εικόνα 7.20. Συνολική ενεργειακή εξάρτηση της χώρας .....	118
Εικόνα 7.21. Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (σε tCO <sub>2</sub> ) .....	119
Εικόνα 7.22. Ένταση εκπομπών και κατά κεφαλή εκπομπές .....	120
Εικόνα 7.23. Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά τομέα (σε tCO <sub>2</sub> ) ....	120
Εικόνα 7.24. Διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας και στην ηλεκτροπαραγωγή.....	121
Εικόνα 7.25. Σύνθετοι δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης .....	122
Εικόνα 7.26. Παρακολούθηση της βιώσιμης ανάπτυξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος .....	123
Εικόνα 8.1. Απαιτούμενη προσφορά ενέργειας για την κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης (σε kTOE) .....	131
Εικόνα 8.2. Ποσοστιαία σύσταση του μίγματος πρωτογενούς ενέργειας. (α) Σενάριο 1, (β) Σενάριο 2 και (γ) Σενάριο 3 .....	132
Εικόνα 8.3. Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας στη βάση της εξοικονόμησης ενέργειας .....	145
Εικόνα 8.4. Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας στη βάση της μείωσης εκπομπών .....	145
Εικόνα 8.5. Καμπύλη αυξητικού κόστους στη βάση της εξοικονόμησης ενέργειας. ....	146
Εικόνα 8.6. Καμπύλη αυξητικού κόστους στη βάση της μείωσης των εκπομπών....	146
Εικόνα 8.7. Ιστόγραμμα συχνοτήτων της εκτιμώμενης μείωσης των εκπομπών .....	148

Εικόνα 8.8. Ιστόγραμμα συχνοτήτων της εκτιμώμενης εξοικονόμησης ενέργειας...	148
Εικόνα 8.9. Ιστόγραμμα συχνοτήτων του συνολικού κόστους του τελικού σχεδίου δράσης.....	149
Εικόνα 8.10. Διάγραμμα Tornado για την επίδραση των αβέβαιων παραμέτρων στον υπολογισμό της εξοικονόμησης ενέργειας, της μείωσης των εκπομπών και του συνολικού κόστους. ....	149
Εικόνα 8.11. Απαιτούμενη προσφορά ενέργειας για την κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης στα τρία σενάρια μετά την εφαρμογή του σχεδίου δράσης (σε kTOE) .....	154
Εικόνα 8.12. Παραγωγικότητα και ενεργειακή απόδοση για τα τρία σενάρια εξέλιξης .....	158
Εικόνα 8.13. Παρακολούθηση της βιώσιμης ανάπτυξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για τα τρία σενάρια.....	159
Εικόνα Π.1.1. Διάγραμμα Σχέσεων της Βάσης Δεδομένων των Αντικειμένων του Δικτύου .....	179
Εικόνα Π.1.2. Διάγραμμα Σχέσεων της Βάσης Δεδομένων της Βιβλιοθήκης .....	184
Εικόνα Π.3.1. Διείσδυση ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας (Σενάριο 1).....	198
Εικόνα Π.3.2. Διείσδυση ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας (Σενάριο 2).....	198
Εικόνα Π.3.3. Διείσδυση ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας (Σενάριο 3).....	199
Εικόνα Π.3.4. Διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (Σενάριο 1) .....	200
Εικόνα Π.3.5. Διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (Σενάριο 2) .....	200
Εικόνα Π.3.6. Διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (Σενάριο 3) .....	201
Εικόνα Π.3.7. Διείσδυση ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών (Σενάριο 1) .....	202
Εικόνα Π.3.8. Διείσδυση ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών (Σενάριο 2) .....	202
Εικόνα Π.3.9. Διείσδυση ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών (Σενάριο 3) .....	203
Εικόνα Π.3.10. Μείωση συνολικών εκπομπών ΑΤΘ (Σενάριο 1) .....	204
Εικόνα Π.3.11. Μείωση συνολικών εκπομπών ΑΤΘ (Σενάριο 2) .....	204
Εικόνα Π.3.12. Μείωση συνολικών εκπομπών ΑΤΘ (Σενάριο 3) .....	205
Εικόνα Π.3.13. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εντός ΣΕΔΕ (Σενάριο 1) .	205
Εικόνα Π.3.14. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εντός ΣΕΔΕ (Σενάριο 2) .	206
Εικόνα Π.3.15. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εντός ΣΕΔΕ (Σενάριο 3) .	206
Εικόνα Π.3.16. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εκτός ΣΕΔΕ (Σενάριο 1) .	207
Εικόνα Π.3.17. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εκτός ΣΕΔΕ (Σενάριο 2) .	207
Εικόνα Π.3.18. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εκτός ΣΕΔΕ (Σενάριο 3) .	208
Εικόνα Π.3.19. Εξοικονόμηση κατανάλωσης τελικής ενέργειας (Σενάριο 1).....	209
Εικόνα Π.3.20. Εξοικονόμηση κατανάλωσης τελικής ενέργειας (Σενάριο 2).....	209
Εικόνα Π.3.21. Εξοικονόμηση κατανάλωσης τελικής ενέργειας (Σενάριο 3).....	210
Εικόνα Π.3.22. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της διείσδυσης των ΑΠΕ στην κατανάλωση ενέργειας.....	210
Εικόνα Π.3.23. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της διείσδυσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή.....	211

Εικόνα Π.3.24. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της μείωσης των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ .....	211
Εικόνα Π.3.25. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της μείωσης των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ για τους κλάδους εντός του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών .....	212
Εικόνα Π.3.26. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της μείωσης των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ για τους κλάδους εκτός του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών .....	212
Εικόνα Π.3.27. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της εξοικονόμησης στην κατανάλωση τελικής ενέργειας.....	213
Εικόνα Π.3.28. Παροχή πρωτογενούς ενέργειας κατά κεφαλή (Σενάριο 1) .....	214
Εικόνα Π.3.29. Παροχή πρωτογενούς ενέργειας κατά κεφαλή (Σενάριο 2) .....	214
Εικόνα Π.3.30. Παροχή πρωτογενούς ενέργειας κατά κεφαλή (Σενάριο 3) .....	215
Εικόνα Π.3.31. Χρήση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα κατά κεφαλή (Σενάριο 1) .....	216
Εικόνα Π.3.32. Χρήση κατά κεφαλή τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα (Σενάριο 2) .....	216
Εικόνα Π.3.33. Χρήση κατά κεφαλή τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα (Σενάριο 3) .....	217
Εικόνα Π.3.34. Παραγωγικότητα ενεργειακού συστήματος (Σενάριο 1).....	218
Εικόνα Π.3.35. Παραγωγικότητα ενεργειακού συστήματος (Σενάριο 2).....	218
Εικόνα Π.3.36. Παραγωγικότητα ενεργειακού συστήματος (Σενάριο 3).....	219
Εικόνα Π.3.37. Ενεργειακή Εξάρτηση (Σενάριο 1).....	220
Εικόνα Π.3.38. Ενεργειακή Εξάρτηση (Σενάριο 2).....	220
Εικόνα Π.3.39. Ενεργειακή Εξάρτηση (Σενάριο 3).....	221
Εικόνα Π.3.40. Εκπομπές CO <sub>2</sub> κατά κεφαλή (Σενάριο 1).....	222
Εικόνα Π.3.41. Εκπομπές CO <sub>2</sub> κατά κεφαλή (Σενάριο 2).....	222
Εικόνα Π.3.42. Εκπομπές CO <sub>2</sub> κατά κεφαλή (Σενάριο 3).....	223
Εικόνα Π.3.43. Ένταση Εκπομπών (Σενάριο 1) .....	223
Εικόνα Π.3.44. Ένταση Εκπομπών (Σενάριο 2) .....	224
Εικόνα Π.3.45. Ένταση Εκπομπών (Σενάριο 3) .....	224



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

## 1.1 Αντικείμενο της Διατριβής

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι ο **ενεργειακός σχεδιασμός** (*energy planning*), δηλαδή η διαδικασία διαμόρφωσης στρατηγικών για την ορθολογική και αιεφόρο διαχείριση ενός ενεργειακού συστήματος, σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο. Έμφαση δίνεται σε δύο συνιστώσες του προβλήματος:

- (α) στην αντιμετώπιση του στοιχείου της αβεβαιότητας που πηγάζει τόσο από την υποκειμενικότητα στη λήψη αποφάσεων όσο και από την αδυναμία ακριβούς εκτίμησης της εξέλιξης των ενεργειακών και οικονομικών μεγεθών και
- (β) στην παρακολούθηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων της χρήσης ενέργειας και της γενικότερης λειτουργίας του ενεργειακού συστήματος στην οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον.

Ο ενεργειακός σχεδιασμός, ως έννοια, έκανε την εμφάνισή του τα τελευταία χρόνια της βιομηχανικής επανάστασης, η οποία συνοδεύτηκε από συνεχή τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη. Η βελτίωση των τεχνολογιών παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας είχε ως αποτέλεσμα την άνοδο του βιοτικού επιπέδου και την αύξηση της αστικοποίησης. Παράλληλα, όμως, συνεχίστηκε και η ανεξέλεγκτη χρήση των ενεργειακών πόρων της γης. Πρώτος, ο William A. Smith διατύπωσε το 1908 τον ακόλουθο ορισμό:

*«Ο ενεργειακός σχεδιασμός είναι η επιστήμη της οικονομίας και της εξοικονόμησης ενέργειας, που προσφέρεται και αποθηκεύεται από τη φύση, για τη χρήση της από τον άνθρωπο. Ο ρόλος της επιστήμης είναι να χρησιμοποιεί αυτή την ενέργεια προς το καλύτερο όφελος, έτσι ώστε να υπάρξουν τα λιγότερα δυνατά απόβλητα.»*

Από τα μέσα του προηγούμενου αιώνα είχαν αρχίσει να γίνονται προσπάθειες για την πιο ορθολογική χρήση της ενέργειας. Κομβικό, όμως, σημείο αποτέλεσε η πετρελαϊκή κρίση του 1973, η οποία σηματοδότησε την ανατροπή του δόγματος της άφθονης και φθηνής ενέργειας και ανέδειξε το πρόβλημα της πολυπλοκότητας στη λήψη αποφάσεων στον ενεργειακό τομέα. Τα ενεργειακά ζητήματα άρχισαν να παίζουν σημαντικό ρόλο στην ευημερία και την οικονομική ανάπτυξη μιας χώρας.

Οι πρώτες επιστημονικές αναφορές στον ενεργειακό σχεδιασμό έγιναν τη δεκαετία του 1970. Την περίοδο εκείνη η έννοια της **πολιτικής καυσίμου** (*fuel policy*), δηλαδή της διαχείρισης μιας ενεργειακής πηγής, αντικαθίσταται σταδιακά από την έννοια της **ενεργειακής πολιτικής** (*energy policy*), δηλαδή της συνολικής διαχείρισης των ενεργειακών πόρων. Παράλληλα, έγιναν και οι πρώτες προσπάθειες υλοποίησης και παρουσίασης μιας συνολικής ενεργειακής πολιτικής. Ακόμα, όμως, οι έννοιες ήταν νέες και ασαφείς, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τη διαφορετική αντίληψη και αντιμετώπιση του προβλήματος σε διάφορες μελέτες.

Στο «Συνέδριο για τις Ενεργειακές Πολιτικές και το Διεθνές Σύστημα», που έγινε στην Καλιφόρνια το Δεκέμβριο του 1973, δηλαδή κατά τη διάρκεια της πετρελαϊκής κρίσης, παρουσιάστηκαν εργασίες που περιείχαν πολλές καινούριες έννοιες προερχόμενες από διάφορους επιστημονικούς κλάδους σχετικά με την «ενεργειακή πολιτική». Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται η μοντελοποίηση της ενεργειακής χρήσης, η εισαγωγή των νέων τεχνολογιών και η σχέση ενέργειας και ανάπτυξης (Saltzman, 1977). Δεδομένου ότι συντάχθηκαν κατά τη διάρκεια της κρίσης, το περιεχόμενο τους είναι σαφώς επηρεασμένο από τα γεγονότα και οι λύσεις που προτείνονται είναι σε πολλές περιπτώσεις μη ρεαλιστικές. Συνιστούν, παρόλα αυτά, μια από τις πρώτες οργανωμένες προσπάθειες παρουσίασης και αντιμετώπισης του προβλήματος.

Στο δίτομο έργο «Ενεργειακές Πολιτικές του Κόσμου» (Mangone, 1977) παρουσιάζονται οκτώ πραγματείες σχετικά με το ενεργειακό προφίλ ισάριθμων γεωγραφικών περιοχών της γης. Οι μελέτες επικεντρώνονται στην καταγραφή των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), υδροηλεκτρικού δυναμικού και πυρηνικής ενέργειας, αλλά και των ποσοτήτων καυσίμων που χρησιμοποιούνται και εξάγονται, των αντίστοιχων τιμών και των κυβερνητικών αποφάσεων που τις επηρεάζουν. Παρόλα αυτά, οι πολιτικές που προτείνονται δεν είναι ολοκληρωμένες και απλώς προσφέρουν μια πρώτη διάγνωση του προβλήματος.

Τέλος, ο Lindberg (1977) σε μια πιο αναλυτική και ενδελεχή μελέτη, εκτός από τα ενεργειακά δεδομένα για επτά ενδεικτικές χώρες, προσπαθεί να βρει τις απαντήσεις στα τρία βασικά «συμπτώματα», όπως τα χαρακτηρίζει, του ενεργειακού προβλήματος: τη συνεχή αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας, την εστίαση των κυβερνητικών πολιτικών αποκλειστικά στην παροχή ενέργειας και τα θεσμικά και δομικά εμπόδια (οικονομικός και πολιτικός συγκεντρωτισμός) στην υιοθέτηση εναλλακτικών πολιτικών. Έκτοτε, έχουν παρουσιαστεί πολλές προσπάθειες μοντελοποίησης και επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου. Οι Jebaraj και Iniyan (2004) πραγματοποιώντας μια αρκετά αναλυτική επισκόπηση, παραθέτουν με αύξουσα σειρά εμφάνισης πάνω από 200 επιστημονικές εργασίες που δημοσιεύτηκαν τα τελευταία 30 έτη με θέμα τον ενεργειακό σχεδιασμό μαζί με τα βασικά χαρακτηριστικά της προσέγγισης που υιοθετούν.

Στις μέρες μας, η σπουδαιότητα της διαμόρφωσης μιας κεντρικής ενεργειακής στρατηγικής που θα οδηγεί σε μια ισορροπημένη οικονομική ανάπτυξη έχει αναγνωριστεί σε παγκόσμιο επίπεδο. Ταυτόχρονα, όμως, υπάρχει η ανάγκη για μια ουσιαστική και αποτελεσματική ενεργειακή διαχείριση σε ένα αποκεντρωμένο επίπεδο. Για το λόγο αυτό, ο περιφερειακός και τοπικός ενεργειακός σχεδιασμός αποτελεί ένα στρατηγικό εργαλείο για την αποτελεσματική και αποδοτική αξιοποίηση των ενεργειακών πηγών και φυσικών πόρων μιας περιοχής. Παρά την παγκόσμια τάση προς απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας υπάρχει και θα συνεχίσει να υπάρχει πάντα περιθώριο και ανάγκη για την πραγματοποίηση ενός αποτελεσματικού ενεργειακού σχεδιασμού που θα ευνοεί την αποσύνδεση της ενεργειακής απόδοσης από την κατανάλωση (Schrattenholzer, 2005).



## 1.2 Ενεργειακός Σχεδιασμός

Είναι αναμενόμενο πως λόγω των πολλών προσπαθειών για την πραγματοποίηση ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού, υπάρχουν και διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την υλοποίησή του. Είναι πάντως κοινά αποδεκτό πως το σημείο εκκίνησης είναι η κατάρτιση και η επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος.

### 1.2.1 Κατάρτιση Ενεργειακού Ισοζυγίου

Λόγω της πολυπλοκότητας των σχέσεων σε ένα ενεργειακό σύστημα, θα πρέπει η αποτύπωση τους να γίνει με απλό τρόπο ώστε να διευκολυνθεί η παρακολούθηση της ροής της ενέργειας και η επίλυση του ισοζυγίου. Μια από τις πρώτες και πιο γνωστές προσπάθειες που έγιναν είναι το **ενεργειακό σύστημα αναφοράς** (*Reference Energy System, RES*). Πρόκειται για ένα απλό εργαλείο γραφικής απεικόνισης του ενεργειακού ισοζυγίου, που δείχνει τον τρόπο με τον οποίο η ενέργεια «ρέει», προσδιορίζοντας ταυτόχρονα και τις ενεργειακές απώλειες σε κάθε στάδιο μετατροπής, μεταφοράς και κατανάλωσης.

Βασίζεται στη θεωρία των δικτύων, έναν κλάδο των διακριτών μαθηματικών με εφαρμογές σε πολλά επιστημονικά πεδία (πληροφορική, μηχανική, χημεία κ.α.) που θεμελιώθηκε κατά τον 18<sup>ο</sup> αιώνα και αναπτύχθηκε ιδιαίτερα μεταπολεμικά. Ο όρος δίκτυο χρησιμοποιείται συνήθως για να εκφράσει την απεικόνιση ενός συνόλου σημείων, τα οποία καλούνται και κόμβοι, και τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με γραμμές, οι οποίες ονομάζονται ακμές ή σύνδεσμοι. Πρόκειται, δηλαδή, για ένα γράφο ο οποίος δεν αναπαριστά μόνο τη δομή (ή την τοπολογία) ενός συστήματος αλλά δίνει και περαιτέρω πληροφορίες για τα στοιχεία του. Παρέχει επιπλέον ποσοτικά δεδομένα για τη συγκεκριμένη δομή, όπως οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων ή η ποσότητα που μεταφέρεται μέσω μιας ακμής.

Όταν η κατεύθυνση των ακμών παίζει ρόλο στη δομή του συστήματος τότε ο αντίστοιχος γράφος καλείται προσανατολισμένος. Επιπλέον, όταν σε έναν προσανατολισμένο γράφο δημιουργείται ένας κλειστός βρόχος, όλες οι ακμές του οποίου είναι διαφορετικές μεταξύ τους, τότε ο γράφος περιέχει ένα κλειστό μονοπάτι. Αν και όλοι οι κόμβοι που συμμετέχουν σε αυτόν είναι διαφορετικοί, τότε ο γράφος περιέχει ένα κύκλο και το αντίστοιχο δίκτυο καλείται κυκλικό.

Σε ένα δίκτυο κάθε σύνδεσμος μπορεί να θεωρηθεί πως αναπαριστά το δίαυλο για κάποιου είδους ροή, όπως η κυκλοφορία των αυτοκινήτων σε ένα δρόμο, η ροή νερού σε ένα σωλήνα ή το ρεύμα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Στην περίπτωση αναπαράστασης ενός ενεργειακού ισοζυγίου μέσω ενός δικτύου οι ακμές αντιπροσωπεύουν τη ροή ενέργειας (υπό τη μορφή ενός καυσίμου) από τον ένα κόμβο στον άλλο. Αντίστοιχα, κάθε κόμβος αντιπροσωπεύει μια διεργασία παραγωγής, μετατροπής ή κατανάλωσης ενέργειας. Το ενεργειακό σύστημα αναφοράς, συνεπώς, είναι η αποτύπωση του ενεργειακού συστήματος με τη μορφή ενός δικτύου.

### 1.2.2 Μοντελοποίηση Ενεργειακής Ζήτησης

Το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση της **ενεργειακής ζήτησης** ή **ωφέλιμης ενέργειας** (*energy demand / useful energy*) σε επίπεδο τόσο ενός τομέα οικονομικής δραστηριότητας όσο και ενός συγκεκριμένου καυσίμου ή μορφής ενέργειας και στη συνέχεια η «παρακολούθηση» των ενεργειακών ροών, με στόχο τον υπολογισμό της **κατανάλωσης ενέργειας** (*energy consumption*) και της απαιτούμενης **παροχής ενέργειας** (*energy supply*).

Διακρίνονται δύο βασικές προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης: η **οικονομική προσέγγιση** και η **τεχνολογική προσέγγιση**. Η πρώτη περιγράφει τη σχέση μεταξύ του ενεργειακού και του οικονομικού συστήματος ενώ η δεύτερη δίνει έμφαση στην ανάλυση του ενεργειακού συστήματος, των επιμέρους διεργασιών και των τεχνολογιών μετατροπής και τελικής χρήσης της ενέργειας.

#### 1.2.2.1 Οικονομική Προσέγγιση

Τα μοντέλα που ακολουθούν την οικονομική προσέγγιση υιοθετούν μια πιο γενική αντίληψη και περιγράφουν τις συσχετίσεις της ζήτησης και της παροχής ενέργειας με το υπόλοιπο οικονομικό σύστημα, με κύριο στόχο την ανάλυση των ενεργειακών και των οικονομικών πολιτικών. Οι σημαντικότερες παράμετροι τους είναι το ακαθάριστο εθνικό προϊόν, η ελαστικότητα της ενεργειακής ζήτησης ως προς το ακαθάριστο εθνικό εισόδημα, οι μεταβολές στο εισόδημα ή στις τιμές των καυσίμων, το κόστος και η διαθεσιμότητα των ενεργειακών πηγών και τέλος το κόστος παραγωγής ενέργειας. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες (Lanza & Bosello, 2004):

- **Μοντέλα Γενικής Ισορροπίας** (*General Equilibrium Models, GEMs*)
- **Μακροοικονομικά Μοντέλα** (*Macroeconomic Models*)

##### α. Μοντέλα Γενικής Ισορροπίας

Η λογική των μοντέλων γενικής ισορροπίας είναι βαλρασιανή, δηλαδή στοχεύουν στην αριστοποίηση της ικανοποίησης της ενεργειακής ζήτησης σε συνδυασμό με την παροχή υπηρεσιών και αγαθών, τη διαμόρφωση των τιμών με βάση την περίσσεια παροχής ή τη μη κάλυψη της ζήτησης, τη μεγιστοποίηση του κέρδους σε συνθήκες ιδανικού ανταγωνισμού και την άριστη κατανομή των ενεργειακών πόρων.

Η πρώτη εφαρμογή ενός μοντέλου γενικής ισορροπίας στον ενεργειακό σχεδιασμό έγινε λίγο μετά την πετρελαϊκή κρίση από τους Hudson και Jorgensen (1974), οι οποίοι συνδύασαν τη συνολική ενεργειακή ζήτηση με τη βιομηχανική παραγωγή αλλά και τη διακύμανση των τιμών για να προβλέψουν την εξέλιξη της ζήτησης στις ΗΠΑ για τη χρονική περίοδο 1975-2000. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980, όταν αυξήθηκε το ενδιαφέρον για τα περιβαλλοντικά ζητήματα, τα μοντέλα αυτά έγιναν δημοφιλή λόγω της ικανότητάς τους να αποτυπώνουν τη πολυσύνθετη μορφή της οικονομίας καθώς και να αναλύουν τις οικονομικές επιπτώσεις της περιβαλλοντικής διαχείρισης και προστασίας. Ο Bhattacharyya (1996) παρουσιάζει μια σειρά από μοντέλα γενικής ισορροπίας που εφαρμόστηκαν σε ενεργειακές μελέτες, τις

ξεχωριστές δυνατότητες του καθενός, την εξέλιξή τους καθώς και τους περιορισμούς στη χρήση τους.

### **β. Μακροοικονομικά Μοντέλα**

Στα μακροοικονομικά ενεργειακά μοντέλα εξετάζεται με λεπτομέρεια η αλληλεπίδραση της ενεργειακής χρήσης με την οικονομία, με βασικό στόχο τη μελέτη της επίδρασης των ενεργειακών πολιτικών στο γενικότερο οικονομικό σύστημα. Η ενέργεια περιγράφεται ως ένας από τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ανάπτυξη των κλάδων της οικονομικής δραστηριότητας.

Οι Meier και Munasinghe (1984) παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της εφαρμογής ενός μακροοικονομικού μοντέλου για τον ενεργειακό σχεδιασμό στη Σρι Λάνκα. Οι Baker και Finizza (1990) πραγματοποιούν μια επισκόπηση των διαθέσιμων τύπων οικονομικών μοντέλων και περιγράφουν τα πλεονεκτήματα αλλά και τους περιορισμούς στην εφαρμογή τους. Στην πράξη, τα μοντέλα αυτά σπανίως χρησιμοποιούνται αυτόνομα, αλλά σε συνδυασμό με κάποιο από τα τεχνολογικά μοντέλα, τα οποία θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.

#### **1.2.2.2 Τεχνολογική Προσέγγιση**

Τα μοντέλα που ακολουθούν την τεχνολογική προσέγγιση εστιάζουν περισσότερο στη μελέτη των επιμέρους τομέων του ενεργειακού συστήματος, πραγματοποιώντας μια αναπαράστασή του με λεπτομερή περιγραφή των τεχνολογιών παραγωγής, μετατροπής ή κατανάλωσης. Οι σημαντικότερες παράμετροί τους είναι το πλήθος, ο βαθμός απόδοσης, το κόστος και ο χρόνος ζωής των εγκατεστημένων τεχνολογιών τελικής χρήσης ή μετατροπής ενέργειας, το κόστος των καυσίμων και της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και μεγέθη που εκφράζουν τη συμπεριφορά των καταναλωτών ως προς τη συχνότητα χρήσης των τεχνολογιών αυτών. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες (Sathaye & Sanstad, 2004):

- **Λογιστικά Μοντέλα** (*Accounting Models*)
- **Μοντέλα Αριστοποίησης** (*Optimization Models*)
- **Επαναληπτικά Μοντέλα Ισορροπίας** (*Iterative Equilibrium Models*)

#### **α. Λογιστικά Μοντέλα**

Τα λογιστικά μοντέλα αποτυπώνουν τη σχέση εισροής-εκροής μεταξύ των διεργασιών παραγωγής και μετατροπής ενέργειας και των υπηρεσιών που παρέχονται από το συνδυασμό τους. Η εκτίμηση της ζήτησης ενέργειας σε κάθε έναν από τους τομείς του ενεργειακού συστήματος γίνεται μέσω κατάλληλων εξισώσεων, στις οποίες η ζήτηση συνδέεται με ορισμένες προσδιοριστικές παραμέτρους, που εκφράζουν τον αριθμό των μονάδων κατανάλωσης, τη συμπεριφορά των καταναλωτών και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε τομέα.

Οι Choucri και Heye (1990) παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των λογιστικών μοντέλων καθώς και την εφαρμογή τους στη μοντελοποίηση της παγκόσμιας αγοράς πετρελαίου και της αλληλεπίδρασης της με την παροχή και ζήτηση ενέργειας. Οι Charusiri et al. (2004) εφαρμόζουν ένα λογιστικό μοντέλο για την ικανοποίηση της

ενεργειακής ζήτησης στην Ταϊλάνδη κατά τη χρονική περίοδο 2005-2030, αναπτύσσοντας εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης. Τα λογιστικά μοντέλα, λόγω του πλήθους των απαιτούμενων δεδομένων, συχνά συνδυάζονται με κάποιο υπολογιστικό εργαλείο. Στις Φιλιππίνες, το Υπουργείο Ενέργειας χρησιμοποιεί ένα λογιστικό μοντέλο σε συνδυασμό με ένα εργαλείο μακροχρόνιου ενεργειακού σχεδιασμού για τη διαμόρφωση του απαιτούμενου μίγματος παροχής ενέργειας ετησίως (Sinocruz, 2008).

### β. Μοντέλα Αριστοποίησης

Τα μοντέλα αριστοποίησης έχουν ως στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους παροχής ενέργειας για την ικανοποίηση της ζήτησης, λαμβάνοντας υπόψη δεδομένους περιορισμούς, στοιχείο που αποτελεί και τη βασική τους διαφοροποίηση από τα λογιστικά μοντέλα. Ο **Μικτός Ακέραιος Προγραμματισμός** (*Mixed Integer Programming, MIP*) προσφέρει τη δυνατότητα βελτίωσης των συσχετίσεων των καθαρά γραμμικών μοντέλων σε περιπτώσεις όπου η πλήρης γραμμικοποίηση των σχέσεων δεν είναι εφικτή. Τα τελευταία χρόνια για την επίλυση σύνθετων πρακτικών προβλημάτων έχουν προταθεί και άλλες πιο «έξυπνες» λύσεις, που βασίζονται στη θεωρία της ασαφούς λογικής και στην τεχνητή νοημοσύνη.

Ο Riaz (1981) εφαρμόζει ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού και προσδιορίζει την παροχή ενέργειας με το χαμηλότερο κόστος για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών στην Ινδία κατά τη χρονική περίοδο 1975-2006. Οι Leung και Hsu (1984) βασίζονται στο ενεργειακό ισοζύγιο της Χαβάης του 1977 και χρησιμοποιούν ένα μοντέλο γραμμικού προγραμματισμού για να αξιολογήσουν τις οικονομικές επιπτώσεις της ανεπάρκειας συγκεκριμένων καυσίμων. Οι Schulz και Stehfest (1984) περιγράφουν ένα αντίστοιχο μοντέλο για τον καθορισμό του «ιδανικού» συνδυασμού των διεργασιών μετατροπής ενέργειας με στόχο την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης. Η θεωρία της ασαφούς λογικής εφαρμόζεται για τη βελτιστοποίηση του συνδυασμού της παροχής και της ζήτησης ενέργειας με στόχο τον καθορισμό της συσχέτισης των δύο αυτών μεγεθών (Sanders et al., 1993).

Οι Malik et al. (1994) περιγράφουν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση σχεδιασμού του ενεργειακού συστήματος της Ινδίας για το 2000 και υπολογίζουν το ιδανικό μίγμα νέων και συμβατικών τεχνολογιών. Οι Mavrotas et al. (1999) εφαρμόζουν ένα μοντέλο μικτού 0-1 πολυκριτηριακού γραμμικού προγραμματισμού για να καθορίσουν το απαιτούμενο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής για την κάλυψη των εκτιμώμενων ηλεκτρικών αναγκών.

Ο Canz (1996) επιχειρεί να αξιολογήσει τον τρόπο με τον οποίο ο **ασαφής γραμμικός προγραμματισμός** (*fuzzy linear programming*) μπορεί να υποστηρίξει τη λήψη αποφάσεων στον ενεργειακό σχεδιασμό και συνοψίζει τις μεθόδους και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό στη Γερμανία. Τέλος, οι Chedid et al. (1999) εξετάζουν τη χρήση ασαφούς πολυκριτηριακού γραμμικού προγραμματισμού για την άριστη κατανομή εννέα διαφορετικών ενεργειακών πηγών για την κάλυψη των αναγκών του οικιακού τομέα στο Λίβανο.

### γ. Επαναληπτικά Μοντέλα Ισορροπίας

Τοποθετούνται μεταξύ των υπολοίπων μοντέλων της τεχνολογικής προσέγγισης και των οικονομικών μοντέλων. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται ως ένα δίκτυο που αποτελείται από ανεξάρτητες ενεργειακές διεργασίες οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους, ενώ η ροή της ενέργειας και οι τιμές προσαρμόζονται μέσω επαναληπτικής διαδικασίας, μέχρι την επίτευξη ισορροπίας.

Οι Daniel και Goldberg (1981) παρουσιάζουν την εφαρμογή ενός επαναληπτικού μοντέλου ισορροπίας για την επίλυση του προβλήματος της ιδανικής τιμολόγησης χρήσης των ορυκτών και μη ανανεώσιμων πόρων στον Καναδά.

#### 1.2.2.3 Υβριδικά Μοντέλα

Αξιολογώντας τις παραπάνω προσεγγίσεις είναι προφανές ότι υπάρχουν τόσο ομοιότητες όσο και διαφορές μεταξύ τους. Η σημαντικότερη διαφορά έγκειται στο είδος των δεδομένων που απαιτούνται για την επίλυση του μοντέλου, στα ερωτήματα που μπορούν να απαντηθούν καθώς και στα αποτελέσματα, ποιοτικά ή ποσοτικά, τα οποία προκύπτουν. Μια ακόμα διαφορά είναι ο τρόπος μοντελοποίησης της τεχνολογίας, καθώς στην τεχνολογική προσέγγιση τα χαρακτηριστικά των συσκευών τελικής χρήσης θα πρέπει να καθορίζονται, τουλάχιστον όσον αφορά στο βαθμό απόδοσής τους και τη δυναμικότητά τους. Αντίθετα, στην οικονομική προσέγγιση, οι αλλαγές στην τεχνολογία ή οι βελτιώσεις του βαθμού απόδοσης αποτυπώνονται στην αντίστοιχη μεταβολή των τιμών.

Είναι προφανές ότι κάθε προσέγγιση έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό πολλές φορές χρησιμοποιούνται και οι δύο, είτε διαδοχικά, αναπτύσσοντας πρώτα το οικονομικό μοντέλο, το οποίο απαιτεί συνήθως και λιγότερα δεδομένα και στη συνέχεια το τεχνολογικό μοντέλο, είτε με παράλληλη χρήση και επίλυση των δύο προσεγγίσεων. Δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο υβριδικά μοντέλα, τα οποία αποτελούν συνδυασμό δύο ή περισσότερων μοντέλων των υπολοίπων κατηγοριών και ανταποκρίνονται με μεγαλύτερη ακρίβεια στο υπό μελέτη πρόβλημα.

Οι Hirst et al. (1976) σχεδίασαν ένα μοντέλο που συνδυάζει τα καλύτερα χαρακτηριστικά τόσο των μακροοικονομικών όσο και των λογιστικών μοντέλων με σκοπό την αξιολόγηση πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας και τεχνολογικών εξελίξεων στον οικιακό τομέα. Οι Hoffman και Jorgenson (1977) παρουσιάζουν μια νέα προσέγγιση για τον καθορισμό ενεργειακών στρατηγικών, συνδυάζοντας την ανάλυση διεργασιών και μακροοικονομικά μοντέλα και την εφαρμόζουν για την ανάπτυξη της εθνικής ενεργειακής πολιτικής των ΗΠΑ. Ο Pandey (2002) αναπτύσσει ένα υβριδικό μοντέλο για την αντιμετώπιση προβλημάτων πολιτικής και σχεδιασμού σε αναπτυσσόμενες χώρες.

#### 1.2.3 Εκτίμηση της Μελλοντικής Εξέλιξης του Συστήματος

Μετά την κατάρτιση και επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου, απαιτείται η εκτίμηση της εξέλιξης των παραμέτρων των μοντέλων αλλά και των ενεργειακών ροών σε βάθος χρόνου. Η μελέτη της εξέλιξης των διαφόρων συστημάτων δεν θεωρούνταν

πάντα αναγκαία, καθώς ο κόσμος άλλαζε με πολύ αργούς ρυθμούς μέχρι τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Όμως, στις μέρες μας έχει αυξηθεί ο ρυθμός με τον οποίο το ενεργειακό τοπίο αλλάζει και ως εκ τούτου είναι πλέον απόλυτα απαραίτητος ο προγραμματισμός για το μέλλον.

Ανάλογα με τον επιθυμητό ορίζοντα της εκτίμησης (βραχυπρόθεσμο ή μέσο-μακροπρόθεσμο), οι τεχνικές που αναπτύσσονται μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- **Μοντέλα Πρόβλεψης** (*Forecasting Models*)
- **Ανάπτυξη Σεναρίων** (*Scenario Analysis*)

#### α. Μοντέλα Πρόβλεψης

Τα μοντέλα πρόβλεψης παρουσιάζουν το μέλλον ως μια εικόνα του παρελθόντος. Χρησιμοποιώντας παρελθοντικές χρονοσειρές για τις μεταβλητές των μοντέλων της προσφοράς και της ζήτησης, προβλέπουν τη συμπεριφορά τους στο μέλλον, με βασική παραδοχή ότι οι σχέσεις που υπήρχαν μεταξύ των μεταβλητών αυτών και του χρόνου θα διατηρηθούν και στο άμεσο μέλλον. Αν η μόνη μεταβλητή των μοντέλων αυτών είναι ο χρόνος τότε καλούνται και **αυτόνομα** (*autonomous*) ενώ αν περιέχονται και άλλες, όπως το εισόδημα, τότε ονομάζονται **εξαρτώμενα** (*conditional*). Το μειονέκτημα τους είναι ότι μπορούν να εφαρμοστούν με σχετική ακρίβεια μόνο για βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό.

#### β. Ανάπτυξη Σεναρίων

Στην περίπτωση του μακροπρόθεσμου σχεδιασμού, η πιο ενδεδειγμένη προσέγγιση είναι η ανάπτυξη εναλλακτικών σεναρίων. Ο στόχος είναι να αναγνωριστούν οι μεταβολές στην ανάπτυξη και οι αλλαγές στις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων οικονομικών και ενεργειακών παραμέτρων και να διατυπωθούν οι κατευθύνσεις που θα ακολουθήσουν στο μέλλον. Ένα σενάριο δεν αποτελεί μια πρόβλεψη αλλά ένα σύνολο μελλοντικών εναλλακτικών εξελίξεων με δεδομένες πιθανότητες εμφάνισης και περιορισμούς. Έχουν διατυπωθεί ωστόσο ενστάσεις για το κατά πόσο η ανάπτυξη των σεναρίων μπορεί να οδηγήσει αποτελεσματικά σε ποσοτικές εκφράσεις για την εξέλιξη των μεγεθών.

### 1.2.4 Λήψη Αποφάσεων

Το τελικό στάδιο του ενεργειακού σχεδιασμού είναι ο προσδιορισμός του τελικού σχεδίου δράσης ανάμεσα σε ένα μεγάλο αριθμό εναλλακτικών επιλογών. Τα ενεργειακά και περιβαλλοντικά προβλήματα είναι από την φύση τους σύνθετα και η λήψη της απόφασης εξαρτάται από πολλαπλά κριτήρια. Παράλληλα, περιλαμβάνουν πολλές πηγές αβεβαιότητας που επηρεάζουν τις αποφάσεις ενώ και το χρονικό πλαίσιο αναφοράς είναι μεγάλο. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό που περιπλέκει και δυσχεραίνει την ανάλυση είναι η ύπαρξη πολλών συναποφασιζόντων, οι οποίοι θέτουν διαφορετικές προτεραιότητες ο καθένας. Οι βιομηχανίες και οι υπηρεσίες παροχής ενέργειας στοχεύουν στη λύση με το ελάχιστο κόστος. Στην περίπτωση αυτή η περιβαλλοντική και η κοινωνική πλευρά του προβλήματος εκλαμβάνεται μόνο ως

περιορισμός. Κατ' αντιστοιχία οι διεθνείς οργανισμοί ή οι επιστήμονες δίνουν βάρος στις κοινωνικές και περιβαλλοντικές προεκτάσεις του προβλήματος (Messner & Strubegger, 1995).

Όλες οι συνηθισμένες και δημοφιλείς τεχνικές λήψης αποφάσεων βρίσκουν εφαρμογή σε περιβαλλοντικά και ενεργειακά προβλήματα. Οι Huang et al. (1995) παρουσιάζουν τα αποτελέσματα μιας βιβλιογραφικής έρευνας για τη λήψη αποφάσεων και ταξινομούν τα αποτελέσματα ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται και τα ειδικά χαρακτηριστικά του κάθε προβλήματος. Οι Zhou et al. (2004) επικαιροποίησαν και διεύρυναν την έρευνα, καταγράφοντας τριπλάσιες μελέτες και δημοσιεύσεις, κάτι που ενισχύει τη συνεχώς αυξανόμενη σημαντικότητα των περιβαλλοντικών και ενεργειακών ζητημάτων. Κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα περισσότερα προβλήματα είναι πλέον πολυκριτηριακά και το ενδιαφέρον για την περιβαλλοντική διάσταση έχει αυξηθεί κατακόρυφα ενώ η μέθοδος που κυριαρχεί για την αντιμετώπιση τους είναι η **θεωρία της πολυκριτηριακής χρησιμότητας** (*Multi Attribute Utility Theory, MAUT*) σε συνδυασμό με την διαδικασία αναλυτικής ιεράρχησης ή με διαγράμματα επιρροής.

### 1.3 Ενεργειακός Σχεδιασμός υπό Συνθήκες Αβεβαιότητας

Η ενέργεια και το περιβάλλον είναι δύο έννοιες από τη φύση τους συνυφασμένες με την έννοια της αβεβαιότητας. Η ύπαρξη της ενισχύεται και από την αλληλένδετη σχέση μεταξύ των ενεργειακών και περιβαλλοντικών μεγεθών με τα εξίσου αβέβαια οικονομικά μεγέθη. Επιπρόσθετο πρόβλημα είναι και η προσπάθεια ποσοτικοποίησης της επίδρασης της ενέργειας στην ανθρώπινη υγεία, που ακόμα δεν έχει καταλήξει σε μια κοινώς αποδεκτή λύση. Βέβαια, στην πορεία των τριάντα τελευταίων ετών η έμφαση στη διαχείριση και αντιμετώπιση της αβεβαιότητας δίνεται σε διαφορετικούς παράγοντες ανά περίοδο, όπως φαίνεται από την ανάλυση που ακολουθεί.

Από τις πρώτες κιόλας προσπάθειες υλοποίησης ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού, στα τέλη της δεκαετίας του 1970, αναγνωρίστηκε η ύπαρξη και η καθοριστική σημασία της αβεβαιότητας. Τόσο ο Mangone (1977) όσο και ο Lindberg (1977) διαπιστώνουν ότι τα ζητήματα που μελετούν, δηλαδή η πρόβλεψη της εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος και των επιπτώσεων που μπορεί να έχουν πιθανές επεμβάσεις, εμπεριέχουν το στοιχείο της αβεβαιότητας. Ο Lindberg μάλιστα προτείνει τη χρήση μεθόδων που λαμβάνουν υπόψη την αβεβαιότητα και προσφέρουν ευελιξία, όπως η δημιουργία σεναρίων. Οι Lesley και Cook (1977) επικεντρώνουν την προσοχή τους στο Ηνωμένο Βασίλειο και εξετάζουν την επικινδυνότητα και την αβεβαιότητα που σχετίζονται με το μακροπρόθεσμο ενεργειακό σχεδιασμό. Η εργασία τους παρά τον «τοπικό» χαρακτήρα, μπορεί να γενικευτεί για όλες τις τότε βιομηχανοποιημένες χώρες.

Στην πράξη, οι μελέτες των πρώτων ετών έδιναν έμφαση κυρίως στους κινδύνους που σχετίζονται με:

- τα αποθέματα και την τιμή των ορυκτών καυσίμων (σαφώς επηρεασμένες από την πετρελαϊκή κρίση που κλόνισε την ενεργειακή ασφάλεια πολλών χωρών),
- τη μελλοντική απόδοση των υφιστάμενων τεχνολογιών αλλά και
- τις επιπτώσεις που θα έχει στο ενεργειακό σύστημα η εφαρμογή επιλεγμένων μέτρων και πολιτικών.

Οι Lucas και Papaconstantinou (1982) παρουσιάζουν μια μεθοδολογία που ενσωματώνει την αβεβαιότητα του σχεδιασμού του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (απόδοση των μονάδων και εξέλιξη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας) σε ένα μοντέλο αριστοποίησης. Ως λύση προτείνουν την εγκατάσταση περισσότερων μονάδων μέσης αλλά και τη ρύθμιση των τιμών. Οι Gholamnezhad και Saaty (1983) χρησιμοποιούν την **Διαδικασία Αναλυτικής Ιεράρχησης** (*Analytic Hierarchy Process*) για να εντοπίσουν και να αξιολογήσουν τους κινδύνους και την αβεβαιότητα στον καθορισμό του επιθυμητού ενεργειακού μίγματος στις Ηνωμένες Πολιτείες για το έτος 2000. Οι Lucas και Papaconstantinou (1983) εξετάζουν, επίσης, την αβεβαιότητα που υπάρχει στην εξέλιξη της παροχής και ζήτησης ενέργειας (αύξηση ζήτησης, μείωση αποθεμάτων, εμφάνιση νέων τεχνολογιών) στον καθορισμό της ενεργειακής πολιτικής του Ηνωμένου Βασιλείου στον τομέα του άνθρακα με τη χρήση τριών εναλλακτικών σεναρίων.

Για την ελαχιστοποίηση του κόστους στο σχεδιασμό του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής της Καλιφόρνια, οι Ford και Geinzer (1990) υλοποιούν ένα μαθηματικό μοντέλο εκτίμησης της ζήτησης ως συνάρτησης των μεταβολών του αριθμού των κτιρίων και της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και παραμέτρων που σχετίζονται με τη ζήτηση της ενέργειας. Χρησιμοποιούν την κρίση τους για να καταλήξουν στα διαστήματα μεταβολής των παραμέτρων εισόδου του μοντέλου, που καθορίζουν το ανώτατο και το κατώτατο όριο της διακύμανσης της ζήτησης.

Με το πέρασμα του χρόνου και τις συνεχιζόμενες εντάσεις σε παγκόσμιο επίπεδο, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται από τους μελετητές στον τρόπο που οι διεθνείς συγκυρίες (πόλεμος του Κόλπου, περεστρόικα και διάλυση της ΕΣΣΔ) επηρεάζουν τον ενεργειακό σχεδιασμό των υπολοίπων χωρών. Ο Steltzer (1989) αναλύει τη χάραξη ενεργειακής πολιτικής για τις ΗΠΑ σε ένα κόσμο «γεμάτο αβεβαιότητες» και ο Oppenheimer (1990) διαμορφώνει σενάρια για τον παγκόσμιο ενεργειακό σχεδιασμό, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση που θα έχουν οι διεθνείς εξελίξεις στην ασφαλή παροχή πετρελαίου και φυσικού αερίου αλλά και στη διαμόρφωση των τιμών.

Ο Kessler (1995) παρουσιάζει τα δύο σενάρια που διαμορφώθηκαν από τη Shell για τη πραγματοποίηση ενεργειακού σχεδιασμού τη χρονική περίοδο 1995-2020. Τα σενάρια αυτά λαμβάνουν υπόψη τους την αβεβαιότητα που πηγάζει από το τότε διαμορφωμένο πολιτικό σκηνικό (πτώση του τείχους, τέλος του ψυχρού πολέμου, πολιτική και στρατιωτική αναταραχή σε Βαλκάνια και Καύκασο, πολιτική απελευθέρωση σε Νότια Αμερική και Ασία).

Με την εμφάνιση των νέων τεχνολογιών (νέες μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) στον ενεργειακό σχεδιασμό προστίθεται



και η αβεβαιότητα που αυτές εισάγουν. Σχετίζεται με το βαθμό απόδοσής τους, το κόστος παραγωγής και εγκατάστασής τους αλλά και το βαθμό διείσδυσής τους σε μια διαμορφωμένη αγορά. Η Neij (1997) προσπάθησε να εκτιμήσει τις προοπτικές ενσωμάτωσης των ανεμογεννητριών και των φωτοβολταϊκών στα ενεργειακά συστήματα χρησιμοποιώντας τις **καμπύλες μάθησης** (*learning curves*), οι οποίες περιγράφουν τη μείωση του μοναδιαίου κόστους με τη μαζικοποίηση της παραγωγής. Ταυτόχρονα, πραγματοποίησε ανάλυση ευαισθησίας για τις παραμέτρους εκείνες που εισήγαγαν τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα στον υπολογισμό του κόστους της μελέτης.

Ο Barreto-Gomez (2001) ενσωματώνει την παράμετρο της τεχνολογικής εξέλιξης (μέσω των καμπύλων μάθησης) σε ένα μοντέλο αριστοποίησης του ενεργειακού συστήματος, χρησιμοποιώντας στοχαστικό προγραμματισμό για να αντιμετωπίσει την αβεβαιότητα. Διαπιστώνει πως με αυτή την προσέγγιση τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι διαφορετικά από την παραδοσιακή αντιμετώπιση όταν σε αυτή ενσωματώνεται και η χρήση νέων τεχνολογιών.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό στις αναπτυσσόμενες χώρες ή σε χώρες που η πολιτική και οικονομική σταθερότητα δεν έχει ακόμα επιτευχθεί πλήρως (Pandey, 2002). Οι Sadeghi και Hosseini (2006) καταστρώνουν το σχεδιασμό της παροχής ενέργειας στο Ιράν λαμβάνοντας υπόψη τους την αβεβαιότητα στο κόστος εγκατάστασης των νέων τεχνολογιών, που πηγάζει από την ανασφάλεια που επικρατεί στη Μέση Ανατολή, την κρίση μετά τον πόλεμο και την αστάθεια των κυβερνήσεων.

Η τελευταία παράμετρος που κάνει ακόμα πιο επιτακτική την ανάλυση της αβεβαιότητας στον ενεργειακό σχεδιασμό είναι η κλιματική αλλαγή, η οποία μπορεί να έχει επιπτώσεις τόσο στον τομέα της προσφοράς όσο και στον τομέα της ζήτησης. Στα πλαίσια του Προγράμματος του Ηνωμένου Βασιλείου για τις Κλιματικές Επιπτώσεις (UKCIP), οι Willows και Connell (2003) συνέταξαν μια αναφορά με οδηγίες για τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων, λαμβάνοντας υπόψη την επικινδυνότητα και την αβεβαιότητα που σχετίζεται με τις κλιματικές μεταβολές, και για την αναγνώριση και αξιολόγηση μέτρων για την άμβλυνση των επιπτώσεών της.

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να οδηγήσει σε αλλαγές στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, στην ταχύτητα του ανέμου, στην υγρασία, στις βροχοπτώσεις και στο ποσοστό νέφωσης. Οι παραπάνω παράμετροι, όντας άρρηκτα συνδεδεμένες με τη διαβίωση και τις ενεργειακές ανάγκες, είναι πιθανό να επηρεάσουν τη μελλοντική εξέλιξη της ζήτησης. Οι Cartalis et al. (2001) εξετάζουν τις μεταβολές στη ζήτηση ενέργειας σε αστικές περιοχές, και συγκεκριμένα στην περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής, με τη χρήση πέντε εναλλακτικών σεναρίων. Οι Parkroom και Harisson (2008) ερευνούν τον τρόπο που η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει την ημερήσια, εποχιακή και ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ταϊλάνδη, χρησιμοποιώντας τέσσερα αντιπροσωπευτικά κοινωνικοοικονομικά σενάρια και μοντέλα παλινδρόμησης για να περιγράψουν την ημερήσια καμπύλη φορτίου.

Στον τομέα της προσφοράς ενέργειας, η επίδραση της κλιματικής αλλαγής αφορά αποκλειστικά τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Συγκεκριμένα, οι αλλαγές στο κλίμα θα προκαλέσουν αβεβαιότητα σχετικά με: (α) την ποσότητα και τη διαθεσιμότητα των ΑΠΕ, (β) την απόδοση και την παραγωγή ενέργειας των τεχνολογιών και (γ) την «προθυμία» να αναπτυχθούν οι τεχνολογίες αυτές υπό τις νέες συνθήκες. Οι Harrison και Wallace (2005) εξετάζουν την εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας, της μεθόδου Monte Carlo και της διαμόρφωσης σεναρίων για την ένταξη των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο μιας περιοχής. Οι Cleto et al. (2008) μελετούν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη διαθεσιμότητα των ΑΠΕ στο πορτογαλικό ενεργειακό σύστημα, με τη χρήση ενός υβριδικού τεχνολογικού μοντέλου γραμμικής αριστοποίησης και δύο εναλλακτικών κλιματικών σεναρίων.

## 1.4 Στόχοι της Διατριβής

Με την παρούσα διατριβή επιδιώκεται η ανάπτυξη και η εφαρμογή στην ελληνική πραγματικότητα ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την υλοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο υπό συνθήκες αβεβαιότητας τόσο στην πρόβλεψη της εξέλιξης των μεγεθών του ενεργειακού συστήματος όσο και στη λήψη αποφάσεων για τον καθορισμό του τελικού σχεδίου δράσης. Το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο ακολουθεί μεν το γενικό κανόνα περιλαμβάνει, όμως, νέες επιμέρους τεχνικές και μεθόδους, καθώς και άλλες ήδη γνωστές οι οποίες για πρώτη φορά συνδυάζονται και χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο του ενεργειακού σχεδιασμού μεγάλης κλίμακας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι εμπλεκόμενες επιμέρους τεχνικές.

Ο σχεδιασμός του ενεργειακού συστήματος βασίζεται στο ενεργειακό σύστημα αναφοράς και η επίλυσή του γίνεται με το συνδυασμό βασικών αλγορίθμων της θεωρίας δικτύων. Για τη μοντελοποίηση της ζήτησης χρησιμοποιείται η τεχνολογική προσέγγιση, η οποία στηρίζεται στην κατανόηση και στην ανάλυση των διεργασιών παραγωγής, μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας.

Για τη μελέτη της μελλοντικής πορείας του ενεργειακού συστήματος αλλά και την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας, που παρουσιάζεται στην προσπάθεια εκτίμησης της εξέλιξης τόσο της δομής του συστήματος όσο και των συγκεκριμένων μεγεθών, επιλέγεται η χρήση σεναρίων. Η επιλογή αυτή παρουσιάζει μειονεκτήματα καθώς τα σενάρια, για παράδειγμα, περιορίζονται στην περιγραφή των μελλοντικών τάσεων και δεν έχουν τη δυνατότητα να αντιμετωπίσουν απρόοπτες καταστάσεις επιπλέον τα ποιοτικά σενάρια δεν μπορούν να ελέγξουν τις υποθέσεις που έχουν τεθεί. Παρόλα αυτά η μεθοδολογία αυτή προσφέρει τη δυνατότητα μελέτης των συνεπειών μιας απόφασης με έναν προκαθορισμένο και επαναλήψιμο τρόπο σε εκτεταμένο χρονικό ορίζοντα.

Για τη λήψη αποφάσεων εφαρμόζεται η ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας και η ανάλυση αυξητικού κόστους. Ο συνδυασμός αυτός σπανίως συναντάται σε ενεργειακά προβλήματα και ένας επιμέρους στόχος της διατριβής είναι ο έλεγχος της

δυνατότητας εφαρμογής του στο συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο. Τα κύρια πλεονεκτήματά της ανάλυσης αυτής συνοψίζονται ως εξής:

- (α) Εκφράζει σε όρους ενός φυσικού μεγέθους, το όφελος από την εφαρμογή κάθε δράσης.
- (β) Καθορίζει τις καταλληλότερες επεμβάσεις και το τελικό σχέδιο δράσης μέσα από μια σύντομη και απλή διαδικασία.
- (γ) Εφαρμόζεται εύκολα.

Για την ενσωμάτωση της ανάλυσης επικινδυνότητας στη λήψη αποφάσεων χρησιμοποιείται η μέθοδος Monte Carlo. Επιπροσθέτως, για την περαιτέρω αξιολόγηση του ενεργειακού συστήματος, πριν και μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων στρατηγικών, χρησιμοποιούνται δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης.

Στο πλαίσιο των όσων επισημάνθηκαν, στην παρούσα διατριβή τίθενται οι ακόλουθοι επιμέρους στόχοι:

- **Η κατάστρωση ενός μαθηματικού μοντέλου επίλυσης του ισοζυγίου ενός ενεργειακού συστήματος.** Το μοντέλο αυτό θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από γενικότητα και ακρίβεια και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση κάθε είδους δικτύου.
- **Η υλοποίηση του παραπάνω μοντέλου σε ένα υπολογιστικό εργαλείο,** το οποίο θα πρέπει να παρέχει ακριβείς και γρήγορες λύσεις, υιοθετώντας ταυτόχρονα χαρακτηριστικά που θα το καθιστούν εύκολο στο χειρισμό και φιλικό στο χρήστη.
- **Η υλοποίηση ενός υπολογιστικού εργαλείου αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων** που θα εκτελεί την ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και την ανάλυση αυξητικού κόστους, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο διαθέσιμο στη βιβλιογραφία. Στον αλγόριθμο, και κατά συνέπεια στο εργαλείο, ενσωματώνεται η δυνατότητα πραγματοποίησης ανάλυσης επικινδυνότητας με χρήση της μεθόδου Monte Carlo.
- **Η ανάπτυξη ενός αντιπροσωπευτικού συνόλου δεικτών απόδοσης του ενεργειακού συστήματος,** προσαρμοσμένο στην ελληνική πραγματικότητα, ώστε να εκφράζει την πορεία τόσο προς τη βιώσιμη ανάπτυξη όσο και προς την επίτευξη των στόχων της ευρωπαϊκής και της ελληνικής ενεργειακής πολιτικής. Το σύνολο αυτό ενσωματώνεται και στο υπολογιστικό εργαλείο επίλυσης του δικτύου.
- **Η εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα** με στόχο την παρακολούθηση της βιώσιμης ανάπτυξης του αλλά και την αξιολόγηση εναλλακτικών στρατηγικών για την επίτευξη των εθνικών ενεργειακών στόχων.

Με βάση τα προαναφερθέντα, η συνεισφορά της παρούσας διατριβής επικεντρώνεται στα ακόλουθα τρία σημεία:

- Ανάπτυξη ενός εργαλείου για την επίλυση και την αξιολόγηση ενός ενεργειακού συστήματος.
- Ανάπτυξη ενός εργαλείου για την αξιολόγηση εναλλακτικών δράσεων με την εφαρμογή της μεθόδου κόστους-αποτελεσματικότητας.
- Διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτέλεση του ενεργειακού σχεδιασμού.

Οι σημαντικότερες καινοτομίες της παρούσας διατριβής συνδέονται με την ανάπτυξη του εργαλείου επίλυσης δικτύων. Οι κυριότερες από αυτές είναι, επιγραμματικά, οι ακόλουθες:

- Σε υπολογιστικό επίπεδο, επιδιώκεται η ανάπτυξη ενός γενικευμένου επιλύτη δικτύων ο οποίος μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε πρόβλημα (ενεργειακό ισοζύγιο, υδατικό ισοζύγιο, παραγωγική διαδικασία βιομηχανίας, κ.α.). Βασίζεται σε υφιστάμενες βιβλιοθήκες δημιουργίας, επεξεργασίας και επίλυσης δικτύων που αποτελούν προϊόν παλαιότερης ερευνητικής εργασίας της Μονάδας Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων (ΜΔΕΠΣ) της Σχολής Χημικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Στην παρούσα διατριβή οι βιβλιοθήκες αυτές τροποποιούνται με στόχο να γίνουν πιο γενικές και να καλύψουν όλα τα πιθανά ενδεχόμενα.
- Στο τμήμα της αλληλεπίδρασης με το χρήστη, το ενεργειακό σύστημα αναφοράς είναι δυναμικό και δεν αποτελεί μια στατική απεικόνιση του ενεργειακού δικτύου. Η δυνατότητα αυτή δεν εμφανίζεται σε άλλο σύγχρονο εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού.
- Στο σκέλος της επίλυσης, εισάγεται η έννοια των προτεραιοτήτων τόσο στον τομέα της προσφοράς όσο και της ζήτησης ενέργειας, η οποία αποτελεί μια ακόμα καινοτόμα λειτουργικότητα του εργαλείου.
- Στο σκέλος της αξιολόγησης του συστήματος, υποστηρίζεται ο υπολογισμός απλών δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού σύνθετων δεικτών για κάθε μια από τις συνιστώσες της βιωσιμότητας (περιβαλλοντική, κοινωνική, οικονομική). Τέλος, υπολογίζεται και ένας δείκτης αξιολόγησης της βιώσιμης ανάπτυξης του συστήματος, συνολικά. Στο δείκτη αυτό η βαρύτητα των επιμέρους (απλών) δεικτών καθορίζεται από το χρήστη.
- Η επαναληπτική επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου υποστηρίζεται με την εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo. Έτσι, οδηγούμαστε στην εξαγωγή ποσοτικών συμπερασμάτων με ενσωματωμένο τον παράγοντα της αβεβαιότητας. Η λειτουργικότητα αυτή αποτελεί μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες του αναπτυχθέντος εργαλείου επίλυσης δικτύων και δεν συναντάται σε άλλο εργαλείο.

Αναφορικά με το εργαλείο αξιολόγησης των εναλλακτικών δράσεων, να σημειωθεί ότι πρόκειται για ένα, μεταξύ των λίγων που εκτελούν την ανάλυση κόστους

αποτελεσματικότητας σε συνδυασμό με την ανάλυση αυξητικού κόστους. Επίσης, είναι το μοναδικό που ενσωματώνει σε αυτή την ανάλυση την έννοια της επικινδυνότητας, παρουσιάζοντας αποτελέσματα που εμπεριέχουν και την παράμετρο της αβεβαιότητας. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo και αποτελεί συνέχεια προηγούμενων μελετών της Μονάδας Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων (Ντεμίρη, 2005).

## 1.5 Διάρθρωση της Διατριβής

Στο παρόν κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στο αντικείμενο του ενεργειακού σχεδιασμού. Επιχειρήθηκε μια κριτική παρουσίαση των προηγούμενων ερευνητικών εργασιών, δίνοντας έμφαση στην αντιμετώπιση του προβλήματος υπό συνθήκες αβεβαιότητας και με στόχο την ανάδειξη των ζητημάτων που απασχολούν την επιστημονική κοινότητα και την αξιολόγηση των διαφόρων πρακτικών που ακολουθούνται. Πραγματοποιήθηκε, μια σύντομη αναφορά στην προτεινόμενη αντιμετώπιση του προβλήματος, καθορίστηκαν οι στόχοι της διατριβής και υπογραμμίστηκαν τα καινοτόμα στοιχεία της.

Το υπόλοιπο κομμάτι της διατριβής δομείται σε δύο μέρη. Το πρώτο, αποτελούμενο από το δεύτερο έως και το πέμπτο κεφάλαιο, ασχολείται με το θεωρητικό υπόβαθρο, παρουσιάζοντας το μεθοδολογικό πλαίσιο και τα εργαλεία που αναπτύχθηκαν για την υλοποίηση του. Το δεύτερο μέρος, το οποίο περιλαμβάνει από το έκτο έως το όγδοο κεφάλαιο, περιγράφει την εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα. Τέλος, το ένατο κεφάλαιο συνοψίζει τη διατριβή, διατυπώνοντας τα συμπεράσματα που προέκυψαν καθώς και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Αναλυτικότερα, στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσονται ορισμένες θεωρητικές έννοιες, οι οποίες είναι θεμελιώδεις για την κατανόηση της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης. Περιγράφονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση και μοντελοποίηση της αβεβαιότητας (δημιουργία σεναρίων, ανάλυση Monte Carlo) και για την αξιολόγηση των δράσεων και των στρατηγικών ανάπτυξης του συστήματος (μέθοδος κόστους-αποτελεσματικότητας, ενεργειακοί δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης).

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για την πραγματοποίηση ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Περιγράφεται αναλυτικά ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται και αναπτύσσονται τα επτά βήματα από τα οποία αποτελείται και η λογική αλληλουχία που τα συνδέει. Έμφαση δίνεται στους αλγόριθμους επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου και αξιολόγησης των εναλλακτικών δράσεων.

Στο τέταρτο και στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δύο υπολογιστικά εργαλεία που υλοποιούνται για την υποστήριξη του μεθοδολογικού πλαισίου. Πρόκειται για ένα εργαλείο σχεδιασμού, επίλυσης και μελέτης της βιώσιμης ανάπτυξης ενός ενεργειακού συστήματος καθώς και για ένα μοντέλο αξιολόγησης εναλλακτικών επεμβάσεων με τη χρήση της ανάλυσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της ανάλυσης αυξητικού κόστους. Γίνεται μια σύγκριση με τα υφιστάμενα μοντέλα

τονίζοντας τις καινοτομίες και τα πλεονεκτήματα των αναπτυχθέντων εργαλείων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, στις διαθέσιμες λειτουργίες και στη δομή του κάθε μοντέλου.

Στο έκτο κεφάλαιο ξεκινά η εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου στην Ελλάδα. Εξετάζεται, η υφιστάμενη κατάσταση στον ελληνικό ενεργειακό τομέα, καταρτίζεται το ενεργειακό σύστημα αναφοράς και απαριθμούνται οι στόχοι της ελληνικής ενεργειακής πολιτικής. Με βάση αυτά, καθορίζεται το υποσύνολο των ενεργειακών δεικτών που θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος.

Στο έβδομο κεφάλαιο πραγματοποιείται η διαχρονική ανάλυση του συστήματος. Περιγράφονται τα απαιτούμενα δεδομένα και παρουσιάζεται η εξέλιξη τους κατά την περίοδο μελέτης 1960-2007. Στη συνέχεια ακολουθεί η καταγραφή των σημαντικότερων κοινωνικών, πολιτικών και οικονομικών γεγονότων και εξετάζεται η συσχέτιση τους με την κατανάλωση ενέργειας αλλά και με τη βιώσιμη ανάπτυξη του ενεργειακού συστήματος της χώρας.

Στο όγδοο κεφάλαιο μελετάται η μελλοντική του εξέλιξη του συστήματος από το έτος βάσης μέχρι το 2020, διαμορφώνοντας τρία εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης. Αρχικά, με βάση τις ήδη προγραμματισμένες δράσεις ελέγχεται η πορεία του προς τη βιώσιμη ανάπτυξη και την επίτευξη των παραπάνω στόχων. Έχοντας ως οδηγό τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής, προτείνονται και αξιολογούνται εναλλακτικές δράσεις με στόχο τη διαμόρφωση ενός εθνικού σχεδίου δράσης. Τέλος, εξετάζεται η συνολική πορεία του συστήματος μετά την εφαρμογή του και υπολογίζεται η πιθανότητα επίτευξης των στόχων.

Στο ένατο κεφάλαιο συνοψίζονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν για τη χρησιμότητα της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης καθώς και τα ειδικά συμπεράσματα για την ενεργειακή πολιτική που πρέπει να ακολουθήσει η Ελλάδα τα επόμενα 10 χρόνια. Ολοκληρώνοντας, παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.

Η διατριβή ολοκληρώνεται με την παράθεση τεσσάρων παραρτημάτων. Στο πρώτο παράρτημα παρουσιάζεται το σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων, το οποίο δημιουργεί, διαχειρίζεται και ενημερώνει τη βάση δεδομένων του εργαλείου ενεργειακού σχεδιασμού. Στο δεύτερο παράρτημα περιγράφονται όλες οι μέθοδοι διαχείρισης της επικινδυνότητας, σε αντίθεση με το τρίτο κεφάλαιο, το οποίο περιορίζεται στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Στο τρίτο παράρτημα παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης Monte Carlo, για την εξέλιξη του συστήματος μετά την εφαρμογή του προτεινόμενου σχεδίου δράσης. Τέλος, στο τέταρτο παράρτημα συνοψίζονται οι ορισμοί των κυριότερων εννοιών που πραγματεύεται η παρούσα διατριβή.

ΜΕΡΟΣ Α  
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

---

## 2.1 Εισαγωγή

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται ορισμένες θεωρητικές έννοιες, οι οποίες δεν σχετίζονται άμεσα με το πρόβλημα του ενεργειακού σχεδιασμού, όπως αυτό παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 1, αλλά είναι θεμελιώδεις για την κατανόηση και την παρακολούθηση του μεθοδολογικού πλαισίου που θα αναπτυχθεί στο επόμενο κεφάλαιο. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η σύντομη παρουσίαση:

- των μέθοδοι αναγνώρισης και διαχείρισης της αβεβαιότητας,
- της ανάλυσης κόστος-αποτελεσματικότητας, σε συνδυασμό με την ανάλυση αυξητικού κόστους, για την αξιολόγηση εναλλακτικών δράσεων, και
- της χρήσης δεικτών για την παρακολούθηση της βιώσιμης ανάπτυξης ενός ενεργειακού συστήματος.

Η παρουσίαση γίνεται στα πλαίσια του προβλήματος του ενεργειακού σχεδιασμού. Έμφαση δίνεται στις μεθόδους που θα εφαρμοστούν στη συνέχεια, αιτιολογώντας παράλληλα και το λόγο για τον οποίο επιλέγονται.

## 2.2 Ανάλυση Επικινδυνότητας

Για κάθε κατάσταση που απαιτεί τη λήψη απόφασης, υπάρχουν περισσότερες από μία επιλογές. Χωρίς την ύπαρξη της αβεβαιότητας, οι αποφάσεις θα ήταν εύκολες και άμεσες αλλά η αβεβαιότητα αυξάνει την πολυπλοκότητα των καταστάσεων και τη δυσκολία των αποφάσεων. Έτσι, διαχρονικά, όλες οι αποφάσεις του ανθρώπου εμπεριέχουν κρίσεις που αφορούν την αβεβαιότητα (Willows & Connell, 2003).

Η πρώτη αντίδραση του ανθρώπου για την αντιμετώπιση των κινδύνων και της αβεβαιότητας ήταν η δημιουργία εργαλείων, τα οποία αύξησαν την πιθανότητα επιβίωσής του, μέσω της εξασφάλισης της τροφής, αλλά και την πιθανότητα να μην αποτελέσει ο ίδιος τροφή για τα ζώα που βρίσκονταν υψηλότερα στην τροφική αλυσίδα. Από την αρχή της ύπαρξής τους, οι άνθρωποι κατόρθωσαν να διαχειρίζονται τους κινδύνους που τους απειλούσαν, καθώς διδάσκονταν από την εμπειρία των προγόνων τους. Με το πέρασμα του χρόνου, βέβαια, πολλοί από τους κινδύνους που απειλούσαν τους πρωτόγονους ανθρώπους εξαφανίστηκαν και νέες πηγές επικινδυνότητας έκαναν την εμφάνισή τους. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται αενάως με τον άνθρωπο να πρέπει να προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες και να λαμβάνει αποφάσεις που εμπεριέχουν αβεβαιότητα, εξελίσσοντάς παράλληλα και τη διαδικασία αναγνώρισης, αξιολόγησης και διαχείρισής της (Vaughan, 1997).

Η αναγνώριση των πηγών της αβεβαιότητας, η κατανόηση της επίδρασής τους στις διάφορες εναλλακτικές αποφάσεις και η διαχείρισή τους αποτελούν τα τρία σημαντικά βήματα πριν τη λήψη της βέλτιστης απόφασης. Αν και όλες οι αποφάσεις δεν έχουν κάθε φορά τα επιθυμητά αποτελέσματα, θα πρέπει πάντα να μπορούν να

αιτιολογηθούν με βάση τη διαθέσιμη γνώση τη στιγμή της απόφασης (Willows & Connell, 2003).

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται με συντομία οι έννοιες της επικινδυνότητας και της αβεβαιότητας, περιγράφονται οι κυριότερες πηγές της αβεβαιότητας, αναλύεται η διαδικασία προσδιορισμού και διαχείρισης της επικινδυνότητας καθώς και τα επιμέρους στάδιά της. Τέλος αναλύονται με λεπτομέρεια οι τεχνικές που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα διατριβή.

### 2.2.1 Επικινδυνότητα και Αβεβαιότητα

Η **επικινδυνότητα** (*risk*) και η **αβεβαιότητα** (*uncertainty*) είναι δύο έννοιες, των οποίων ο ορισμός και η ερμηνεία διαφοροποιούνται ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο, στο πλαίσιο του οποίου χρησιμοποιούνται. Πολλές φορές μάλιστα χρησιμοποιούνται λανθασμένα η μία στη θέση της άλλης. Ο F. Knight (2006) στο θεμελιώδες έργο του “*Risk, Uncertainty and Profit*”, το οποίο πρωτοδημοσιεύτηκε το 1921, ήταν ο πρώτος που έκανε τη διάκριση μεταξύ των δύο αυτών εννοιών. Ερευνητές διαφόρων ειδικοτήτων ασχολήθηκαν διαχρονικά με αυτές και προσπάθησαν, ανεπιτυχώς, να καταλήξουν σε έναν ορισμό κοινό για όλα τα επιστημονικά πεδία. Ως εκ τούτου, υπάρχουν πολλοί ορισμοί που ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή και το γνωστικό υπόβαθρο του αναλυτή.

Μια γενική διαπίστωση, που μπορεί να διατυπωθεί, είναι ότι η επικινδυνότητα αναφέρεται σε μια κατάσταση με δύο τουλάχιστον πιθανά αποτελέσματα, ένα εκ των οποίων θα πρέπει να είναι ανεπιθύμητο και να εμπεριέχει την έννοια της απώλειας. Η απώλεια μπορεί να αναφέρεται είτε σε κάτι που πραγματικά χάθηκε είτε σε κέρδος το οποίο όμως είναι μικρότερο από το μέγιστο δυνατό. Αντίθετα, η αβεβαιότητα περιγράφει την ποιότητα της γνώσης μας για την ύπαρξη κινδύνου. Ο πιο διαδεδομένος ορισμός της αβεβαιότητας αναφέρεται σε μια κατάσταση που χαρακτηρίζεται από αμφιβολία, προερχόμενη από την έλλειψη γνώσης για το τι θα συμβεί ή όχι στο μέλλον.

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο εννοιών είναι ότι η αβεβαιότητα ποικίλει ανάλογα με τη γνώση του κάθε ανθρώπου αλλά και τη συμπεριφορά του. Αντίθετα, η ύπαρξη της επικινδυνότητας δεν επηρεάζεται από τη γνώση του κινδύνου. Η πιθανότητα της απώλειας και του κινδύνου υπάρχει ακόμα και αν ο ενδιαφερόμενος αγνοεί την ύπαρξή τους.

Ο Doug Hubbard (2007) διατυπώνει τους ακόλουθους ορισμούς:

- **Επικινδυνότητα:** Μια κατάσταση αβεβαιότητας, όπου κάποια από τα πιθανά αποτελέσματα είναι ανεπιθύμητα ή προκαλούν απώλεια.
- **Αβεβαιότητα:** Η έλλειψη βεβαιότητας, η περιορισμένη γνώση για τη μελλοντική εξέλιξη μιας κατάστασης με περισσότερες από μια πιθανές εκβάσεις.
- **Μέτρηση της Αβεβαιότητας:** Ο καθορισμός της πιθανότητας που αντιστοιχεί σε κάθε μια από τις πιθανές εκβάσεις.

## 2.2.2 Πηγές της Αβεβαιότητας

Σύμφωνα με τους Walker et al. (2003), η αβεβαιότητα χωρίζεται σε δύο κατηγορίες:

- **Στοχαστική Αβεβαιότητα** (*Stochastic uncertainty*)
- **Επιστημική Αβεβαιότητα** (*Epistemic uncertainty*)

### α. Στοχαστική Αβεβαιότητα

Οφείλεται στην εγγενή μεταβλητότητα των φυσικών φαινομένων (*pure risk*). Πολλά φυσικά, κυρίως, φαινόμενα (ξηρασία, πλημμύρες, σεισμοί) έχουν αυτά τα χαρακτηριστικά και η χρονική στιγμή εμφάνισής τους, η διάρκεια, ο χώρος αλλά και το μέγεθός τους δεν μπορούν να εκτιμηθούν με βεβαιότητα.

### β. Επιστημική Αβεβαιότητα

Οφείλεται στην έλλειψη γνώσης για τα γεγονότα και τις επιπτώσεις που αυτή έχει στη μελέτη τους. Μπορεί να χωριστεί σε 3 κατηγορίες (Willows & Connell, 2003):

- **Αβεβαιότητα Δεδομένων**

Πηγάζει από τους περιορισμούς στην ακρίβεια και στην ορθότητα της μέτρησης των φυσικών μεγεθών αλλά και στο μέγιστο πλήθος παρατηρήσεων που μπορούν να συλλεχθούν. Κυριότερες πηγές της αβεβαιότητας των δεδομένων είναι:

- Σφάλμα στη μέτρηση (τυχαίο ή συστηματικό)
- Ημιτελή ή ανεπαρκή δεδομένα (χρονικοί ή χωρικοί περιορισμοί)
- Σφάλμα στην προεκβολή (βασισμένη σε αβέβαια δεδομένα)

Για τον περιορισμό της θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερο βάρος στον έλεγχο της επάρκειας των διαθέσιμων δεδομένων για τη μελέτη του προβλήματος.

- **Αβεβαιότητα Γνώσης**

Για τις περισσότερες αποφάσεις, η διαθέσιμη θεωρητική και εμπειρική γνώση είναι απίθανο να οδηγήσει σε πλήρη και επαρκή (ή ακόμα και μερική) κατανόηση του προβλήματος, της φύσης του συστήματος, των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφόρων υποσυστημάτων και τις πιθανές συνέπειές τους.

- **Αβεβαιότητα Μοντέλου**

Οι περισσότερες αποφάσεις βασίζονται στα αποτελέσματα ενός μοντέλου που περιγράφει το πρόβλημα και αξιολογεί τις εναλλακτικές δράσεις και το οποίο στηρίζεται στο βαθμό κατανόησης του συστήματος που μελετάται. Πηγές αυτού του είδους της αβεβαιότητας είναι:

- Λανθασμένη επιλογή ή/και δομή του μοντέλου
- Ασαφή ή ακατάλληλα δεδομένα εισόδου
- Λανθασμένη επιλογή παραμέτρων προς μελέτη

Συνήθως, η αβεβαιότητα για ένα ενδεχόμενο περιλαμβάνει τόσο επιστημική όσο και στοχαστική αβεβαιότητα. Η επιστημική αβεβαιότητα μπορεί να μειωθεί με τη βελτίωση της ακρίβειας των δεδομένων (με καλύτερη και μεγαλύτερης διάρκειας παρατήρηση) ή με την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου. Πάντα, όμως, θα υπάρχει στοχαστική αβεβαιότητα η οποία συνδέεται με τη φύση συγκεκριμένων φαινομένων.

### 2.2.3 Διαχείριση της Επικινδυνότητας

Η διαχείριση της επικινδυνότητας είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει μια σειρά από λογικές και επακριβώς ορισμένες δράσεις, οι οποίες εξασφαλίζουν ολοκληρωμένη αναγνώριση, μέτρηση, ποσοτικοποίηση και αξιολόγηση της επικινδυνότητας, που σχετίζεται με συγκεκριμένα φυσικά φαινόμενα ή ανθρώπινες δραστηριότητες. Η συνολική διαδικασία διαχείρισης της επικινδυνότητας μπορεί να χωριστεί σε 4 στάδια:

- Αναγνώριση της Επικινδυνότητας (*Risk Identification*)
- Εκτίμηση της Επικινδυνότητας (*Risk Assessment*)
- Αξιολόγηση της Επικινδυνότητας (*Risk Evaluation*)
- Διαχείριση Επικινδυνότητας (*Risk Management*)

#### 2.2.3.1 Αναγνώριση της Επικινδυνότητας

Η αναγνώριση των κινδύνων που επηρεάζουν μια απόφαση πρέπει να προηγηθεί οποιασδήποτε δράσης αντιμετώπισής τους. Αν και ακούγεται πολύ απλό, η αναγνώριση της επικινδυνότητας είναι αρκετά επίπονη καθώς πρόκειται για μια αέναη διαδικασία όπου νέοι κίνδυνοι εμφανίζονται διαρκώς.

Τεχνικές αναγνώρισης της επικινδυνότητας έχουν αναπτυχθεί ταυτόχρονα από ειδικούς διαφόρων κλάδων, καθένας από τους οποίους προσεγγίζει το θέμα από τη δική του σκοπιά. Ως εκ τούτου οι στρατηγικές και οι τεχνικές που έχουν υιοθετηθεί διαφέρουν. Κοινό σημείο όλων, πάντως, είναι η μελέτη της **πηγής του προβλήματος** (*source analysis*) ή η μελέτη του **ιδίου του προβλήματος** (*problem analysis*).

#### 2.2.3.2 Εκτίμηση της Επικινδυνότητας

Η αναγνώριση και η εκτίμηση της επικινδυνότητας είναι στενά συνδεδεμένες και πολλοί μελετητές τις θεωρούν ως μια ενιαία διαδικασία. Η εκτίμηση αποτελεί ουσιαστικά τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τους κινδύνους, την πιθανότητα εμφάνισής τους και την ευαισθησία σε αυτούς καθορισμένων αποδεκτών, μέσω ποσοτικών ή ποιοτικών τεχνικών. Οι ποσοτικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν τη γνώση σχετικά με την επικινδυνότητα σε περιπτώσεις όπου οι πιθανότητες μπορούν να εκτιμηθούν με ένα ικανοποιητικό επίπεδο εμπιστοσύνης. Αντιθέτως, οι ποιοτικές τεχνικές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στην περίπτωση που ο υπολογισμός των πιθανοτήτων είναι αδύνατος.

Τόσο η πιθανότητα εμφάνισης του κινδύνου όσο και οι επιπτώσεις του δεν μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια. Στην περίπτωση που υπάρχουν παρατηρήσεις για την

εμφάνιση αντίστοιχων φαινομένων στο παρελθόν, είναι δυνατή η εκτίμηση της πιθανότητας πραγματοποίησης ενός μελλοντικού γεγονότος. Συχνά, όμως, τα δεδομένα, οι πληροφορίες ή η κατανόηση της επικινδυνότητας είναι περιορισμένα. Ακόμα και τότε, πάντως, μπορεί να είναι δυνατή η αναγνώριση της μέγιστης και της ελάχιστης πιθανότητας εμφάνισης του κινδύνου, με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες.

Υπάρχουν ποικίλες τεχνικές και εργαλεία για την ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση της επικινδυνότητας. Πριν την επιλογή, υπάρχουν 3 παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- **Το κόστος της λανθασμένης απόφασης.** Όσο περισσότερα διακυβεύονται από μια εσφαλμένη επιλογή, τόσο σημαντικότερο είναι να ληφθεί μια ανθεκτική απόφαση και άρα να δοθεί μεγάλη σημασία στην επιλογή του καλύτερου εργαλείου ή συνδυασμού εργαλείων.
- **Η πολυπλοκότητα του προβλήματος.** Η ικανότητα των μαθηματικών μοντέλων να διαχειριστούν μεγάλο αριθμό μεταβλητών προσφέρει μια διέξοδο, ωστόσο συγκεκριμένα προβλήματα μπορεί να είναι τόσο περίπλοκα ώστε η μοντελοποίηση τους δεν προσφέρει τίποτα παραπάνω από μια καλύτερη κατανόηση.
- **Η επάρκεια των δεδομένων.** Το αποτέλεσμα οποιουδήποτε μοντέλου εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων. Όταν είναι εφικτός ο προσδιορισμός της αβεβαιότητας των δεδομένων εισόδου, θα πρέπει να μεταβιβάζεται και στα αποτελέσματα.

Οι πιο συνήθεις τεχνικές για την εκτίμηση της επικινδυνότητας είναι οι εξής:

- Διαβούλευση Ειδικών
- Πίνακας Αβεβαιότητας
- Διαγράμματα Επιρροής
- Δέντρο Αποφάσεων
- Ανάλυση Ευαισθησίας
- Ανάλυση Σεναρίων
- Μέθοδος Monte Carlo

Οι Refsgaard et al (2007) παρουσίασαν μια μέθοδο επιλογής της τεχνικής ανάλογα με τη διαδικασία μοντελοποίησης, το είδος της αβεβαιότητας και τους στόχους της ανάλυσης. Οι δύο τελευταίες τεχνικές είναι εκείνες που επιλέγονται για εφαρμογή στο μεθοδολογικό πλαίσιο που αναπτύσσεται στην παρούσα διατριβή. Για το λόγο αυτό παρουσιάζονται στη συνέχεια τα κύρια χαρακτηριστικά τους ενώ οι υπόλοιπες πέντε τεχνικές περιγράφονται στο Παράρτημα 2.

### **Ανάλυση Σεναρίων**

Μια αρκετά διαδεδομένη μέθοδος αντιμετώπισης της αβεβαιότητας είναι η χρήση σεναρίων. Ένα σενάριο αποτελεί, στην ουσία, μια πιθανή εξέλιξη του συστήματος

που μελετάται και έχει μοντελοποιηθεί, παρέχοντας μια πλήρη και λογική περιγραφή του.

Με τη χρήση σεναρίων γίνεται προσπάθεια να περιγραφεί, μέσα από μια αλληλουχία γεγονότων, ο τρόπος με τον οποίο θα εξελιχθεί το σύστημα, κάτι που είναι εκ φύσεως αβέβαιο (Van Der Heijden, 1996). Εναλλακτικές πορείες της μελλοντικής εξέλιξης του συστήματος μπορούν να εξεταστούν με στόχο να αντιμετωπίσουν με σαφήνεια τις εναλλακτικές υποθέσεις για το μέλλον. Τα σενάρια μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες. Για παράδειγμα, ο Alcamo (2001) τα διακρίνει σε:

- Σενάρια Βάσης – Σενάρια Πολιτικών

Τα σενάρια βάσης εξετάζουν την εξέλιξη του προβλήματος χωρίς καμία εξωτερική παρέμβαση, αν, δηλαδή, όλες οι παράμετροι εισόδου παραμείνουν αμετάβλητες, σε αντίθεση με τα σενάρια πολιτικών που μελετούν την επίδραση συγκεκριμένων δράσεων στη διαμόρφωση της μελλοντικής κατάστασης.

- Σενάρια Διερεύνησης – Σενάρια Πρόβλεψης

Τα σενάρια διερεύνησης έχουν ως βάση το παρόν και εξετάζουν τη διαμόρφωση της μελλοντικής κατάστασης του συστήματος. Αντίθετα, τα σενάρια πρόβλεψης ξεκινούν από μια προκαθορισμένη εικόνα του μέλλοντος και πηγαίνουν προς τα πίσω, διερευνώντας εναλλακτικές πορείες που θα είχαν ως αποτέλεσμα τη συγκεκριμένη εικόνα του μέλλοντος.

- Ποιοτικά Σενάρια – Ποσοτικά Σενάρια

Τα ποιοτικά σενάρια περιγράφουν τη πιθανή εξέλιξη υπό τη μορφή κειμένου ενώ τα ποσοτικά σενάρια την περιγράφουν με πίνακες και διαγράμματα, τα οποία ενσωματώνουν αριθμητικά δεδομένα που έχουν προκύψει από άλλα μοντέλα.

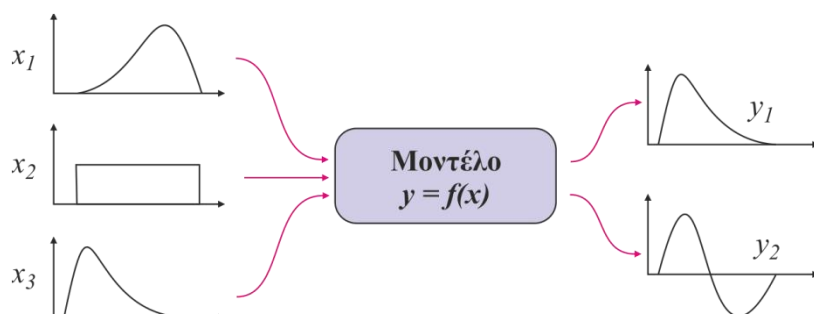
Τα σενάρια μπορούν με σαφήνεια να μελετήσουν τις συνέπειες μιας απόφασης με ένα προκαθορισμένο και επαναλήψιμο τρόπο. Μπορούν, επίσης, να εξασφαλίσουν ότι οι υποθέσεις είναι σαφείς και πλήρως τεκμηριωμένες. Επιπλέον, η συλλογή διαφορετικών σεναρίων επιτρέπει την ανάλυση της ευαισθησίας των αποφάσεων.

Ένας περιορισμός των ποσοτικών σεναρίων είναι ότι η ανάλυση περιορίζεται στις όψεις της πραγματικότητας που μπορούν να ποσοτικοποιηθούν ενώ τα ποιοτικά σενάρια δεν μπορούν να ελέγξουν τις υποθέσεις που έχουν γίνει. Τέλος, τα σενάρια γενικά, δεν προχωρούν πέρα από την προεκβολή των τάσεων και δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν απρόβλεπτα ενδεχόμενα.

Η ευελιξία που προσφέρουν στη χρήση καθώς και η εφαρμογή τους με επιτυχία σε προβλήματα ενεργειακού σχεδιασμού με μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα είναι οι δύο βασικότερες αιτίες επιλογής τους για την μοντελοποίηση της μελλοντικής εξέλιξης του συστήματος στην παρούσα διατριβή.

### Μέθοδος Monte Carlo

Αποτελεί την πιο συνηθισμένη τεχνική εκτίμησης της επικινδυνότητας που προκύπτει κατά την υλοποίηση ενός επενδυτικού σχεδίου. Στόχος της είναι ο προσδιορισμός της μορφής των στατιστικών κατανομών που περιγράφουν τη συμπεριφορά των μεταβλητών εξόδου του μοντέλου του συστήματος.



Εικόνα 2.1. Σχηματική περιγραφή της μεθόδου Monte Carlo.

Στην πιο απλή μορφή, η κατανομή αυτή προσδιορίζεται εκτελώντας επαναληπτικά το μοντέλο, χρησιμοποιώντας μια σειρά από τυχαία δεδομένα, τα οποία προκύπτουν από τις κατανομές που περιγράφουν τις μεταβλητές εισόδου του μοντέλου. Επομένως προαπαιτούμενο της εφαρμογής της μεθόδου είναι ο προσδιορισμός των κατανομών αυτών αλλά και η πιθανή αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταβλητών. Σχηματικά μπορεί να περιγραφεί από την Εικόνα 2.1. Το μειονέκτημά της μεθόδου έγκειται στη δυσκολία αλλά και στον υποκειμενικό, πολλές φορές, χαρακτήρα του προσδιορισμού των κατανομών και της ποσοτικοποίησης των αλληλεπιδράσεων.

Η ευκολία στην εκτέλεση της αλλά και η γενικότητα στην εφαρμογή της αποτελούν τα δύο βασικά πλεονεκτήματά. Παράλληλα, η συνεχής βελτίωση της επεξεργαστικής δυνατότητας των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχει εξαλείψει το πρόβλημα του μεγάλου χρόνου για την εκτέλεσή της.

#### 2.2.3.3 Αξιολόγηση της Επικινδυνότητας

Το στάδιο αυτό αποτελεί ουσιαστικά το συνδυαστικό κρίκο μεταξύ της εκτίμησης και της διαχείρισης της αβεβαιότητας. Οι διάφορες εναλλακτικές προτάσεις διαμορφώνονται, συνεκτιμώντας το κόστος και το όφελός τους για να καθοριστεί ο βαθμός στον οποίο είναι αποδεκτή η επικινδυνότητα. Οι αποφασίζοντες, αξιολογώντας παράλληλα και πολλές περιπτώσεις που δεν συμπεριελήφθησαν στη διαδικασία μοντελοποίησης και ποσοτικοποίησης της επικινδυνότητας, καθορίζουν το τελικό σχέδιο δράσης.

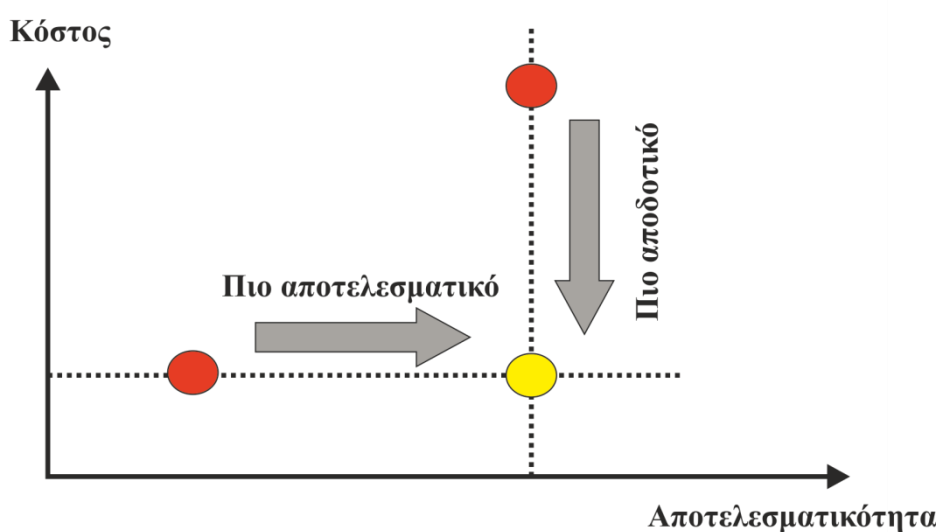
#### 2.2.3.4 Διαχείριση της Επικινδυνότητας

Το τελευταίο στάδιο είναι στην ουσία η εκτέλεση των αποφάσεων που κρίθηκαν αποδεκτές στο προηγούμενο βήμα. Η υλοποίηση των δράσεων που στοχεύουν στον εντοπισμό, στην αποφυγή, στον έλεγχο και στη διαχείριση των κινδύνων δεν γίνεται επιτόπου. Προφανώς, πρόκειται για μια επαναληπτική διαδικασία, κατά την οποία ελέγχεται η ορθή επιλογή των δράσεων και αν κριθεί απαραίτητο επαναλαμβάνονται κάποια από τα παραπάνω στάδια.

### 2.3 Ανάλυση Κόστους-Αποτελεσματικότητας

Στην παρούσα διατριβή κατά την αξιολόγηση των προτεινόμενων εναλλακτικών δράσεων και τον καθορισμό του τελικού σχεδίου δράσης επιλέγεται η **ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας** (*Cost-Effectiveness Analysis, CEA*) σε συνδυασμό με την **ανάλυση αυξητικού κόστους** (*Incremental Cost Analysis, ICA*). Πρόκειται για μια διαδικασία αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων σε τομείς που αφορούν δημόσια αγαθά, όπως ο τομέας της υγείας (Van Hout et al., 1994, Briggs, 1999, Fenwick et al., 2004), της ενέργειας (Martins et al., 1998, Angelis-Dimakis et al., 2009), του περιβάλλοντος (Robinson et al., 1995) και των υδατικών πόρων (Gerasidi et al., 2003, Assimacopoulos, 2004). Εφαρμόζεται, συνήθως, σε περιπτώσεις δηλαδή όπου η έκφραση σε χρηματικές μονάδες του οφέλους κάθε δράσης είναι από δύσκολη έως αδύνατη.

Η πρώτη αναφορά στην έννοια της αποτελεσματικότητας ενός μέτρου, δηλαδή ενός μεγέθους που χαρακτηρίζει το όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή του μέτρου και όχι το κόστος του, μπορεί να ανιχνευτεί στην κλασική εργασία του Dupuit (1844) με τίτλο: «Σχετικά με τη μέτρηση της χρησιμότητας των δημοσίων έργων». Αν και για πολλούς αιώνες, οι οικονομολόγοι είχαν συνδέσει, έστω και ασαφώς, τις ανάγκες του κάθε ανθρώπου και το γενικό ευ ζην με την έννοια της χρησιμότητας, ο J. Dupuit ήταν ο πρώτος που ανέπτυξε την έννοια της μεγιστοποίησης της χρησιμότητας, θέτοντάς τη στο κέντρο της οικονομίας. Όσον αφορά στον όρο της αποτελεσματικότητας όπως χρησιμοποιείται σήμερα, σημαντική ήταν η συμβολή του V. Pareto, ιταλού οικονομολόγου των αρχών του 20<sup>ου</sup> αιώνα, που διατύπωσε την έννοια της **απόδοσης κατά Pareto** (*Pareto efficiency*) και η οποία αποτελεί μια κεντρική έννοια της οικονομικής επιστήμης, με εφαρμογές στη θεωρία παιγνίων, στη μηχανική και στις κοινωνικές επιστήμες.



### Εικόνα 2.2. Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας



Στην περίπτωση του ενεργειακού σχεδιασμού, ως κόστος ορίζεται, συνήθως, το άμεσο κόστος εφαρμογής ενός τέτοιου μέτρου, ενώ η αποτελεσματικότητα εκφράζεται σε όρους κάποιου φυσικού μεγέθους (π.χ. παραγόμενη ενέργεια, εκπομπές ρύπων) που σχετίζεται με την εφαρμογή του (RPA, 2004).

Στόχος της μεθόδου είναι η σύγκριση εναλλακτικών μέτρων και η επιλογή ενός προτεινόμενου σχεδίου δράσης, εξασφαλίζοντας ότι επιλέγεται η εναλλακτική πρόταση με το χαμηλότερο κόστος για κάθε πιθανό επίπεδο οφέλους (Εικόνα 2.2). Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης προσέγγισης, συγκριτικά με τις παραδοσιακές τεχνικές οικονομικής αξιολόγησης, είναι η ευκολία εφαρμογής της και η ικανότητά της να καθορίζει τις καταλληλότερες δράσεις μέσα από μια σύντομη και απλή διαδικασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν προτείνει μια «άριστη» ή «ιδανική» λύση αλλά μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη επιλογή μεταξύ εναλλακτικών λύσεων, παρέχοντας μια βάση σύγκρισης των σχετικών μεταβολών κόστους και αποδοτικότητας (Yoe, 1992).

Η διαδικασία ανάλυσης βασίζεται στον υπολογισμό του κόστους και της αποτελεσματικότητας κάθε εναλλακτικού μέτρου, τη διαμόρφωση όλων των πιθανών συνδυασμών μεταξύ τους και την απόρριψη των μη αποδοτικών και μη αποτελεσματικών λύσεων. Στη συνέχεια, μετά από τη διαδοχική απόρριψη λύσεων, η σύγκριση με το μέσο κόστος, προσδιορίζει το σύνολο των άριστων λύσεων (*Pareto Set*). Ο αλγόριθμος παρουσιάζεται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 3, ενώ στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται η μέθοδος υλοποίησης του αντίστοιχου υπολογιστικού εργαλείου.

## 2.4 Ενεργειακοί Δείκτες Βιώσιμης Ανάπτυξης

Για την αξιολόγηση των εναλλακτικών στρατηγικών και τη διαμόρφωση των ενεργειακών πολιτικών είναι σημαντική:

- η παρακολούθηση της πορείας του ενεργειακού συστήματος προς τη βιώσιμη ανάπτυξη μέσα στο οικονομικό, κοινωνικό και περιβαλλοντικό πλαίσιο που το περιβάλλει,
- η γνώση της παρούσας κατάστασης του συστήματος ως προς την επίτευξη των δεσμευτικών εθνικών και διεθνών στόχων αλλά και τη διατήρηση της βιώσιμης ανάπτυξης και
- η αναγνώριση των διορθωτικών επεμβάσεων που πρέπει να γίνουν και των επιπτώσεων που αυτές θα έχουν στη συμπεριφορά του συστήματος.

Ένα απλό και εύχρηστο εργαλείο για την παρακολούθηση, μέτρηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων της χρήσης ενέργειας στην οικονομία, την κοινωνία και το περιβάλλον είναι οι ενεργειακοί δείκτες. Η ανάγκη χρήσης των δεικτών για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων αναγνωρίστηκε το 1992 στη Διάσκεψη του Ρίο με την υιοθέτηση της Agenda 21 (Vera & Langlois, 2007).

Οι δείκτες δεν αποτελούν απλώς ένα στατιστικό μέγεθος αλλά αντίθετα επεκτείνονται πέρα από τη απλή στατιστική ανάλυση, παρέχοντας μια βαθύτερη κατανόηση των

σχέσεων στο τετράπτυχο ενέργεια-οικονομία-κοινωνία-περιβάλλον και αναδεικνύουν τις αλληλεπιδράσεις εκείνες που δεν είναι προφανείς με μια πρώτη ματιά. Όταν εξετάζονται ως σύνολο δίνουν μια γενική εικόνα του ενεργειακού συστήματος και η μελέτη της χρονικής τους εξέλιξης εκφράζει την πορεία προς τη βιώσιμη ανάπτυξη. Αποτελούν, λοιπόν, ένα χρήσιμο εργαλείο για τους αποφασίζοντες, που με τη χρήση τους μπορούν να εξάγουν ποιοτικά και ποσοτικά συμπεράσματα για την αειφορία του συστήματος και να καταλήξουν σε ένα σχέδιο δράσης που θα την ευνοεί.

Η ανάγνωση των δεικτών θα πρέπει να γίνεται με βάση το γενικότερο πλαίσιο της οικονομίας και του ενεργειακού συστήματος κάθε χώρας. Η σχετική σπουδαιότητα κάθε δείκτη ποικίλει από χώρα σε χώρα και εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες που επικρατούν, τις εθνικές ενεργειακές πολιτικές καθώς και τους στόχους που έχουν τεθεί για τη βιώσιμη ανάπτυξη. Κάθε χώρα χαρακτηρίζεται από τις δικές της οικονομικές συνθήκες, ξεχωριστά γεωγραφικά και κλιματολογικά δεδομένα, διαφορετικά ενεργειακά αποθέματα καθώς και τις δικές της προτεραιότητες. Τέλος, η χρήση και η εφαρμογή του συνόλου των δεικτών εξαρτάται εκτός από τους εθνικούς στόχους, από τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των ενεργειακών και των λοιπών απαιτούμενων δεδομένων καθώς και από τη δυνατότητα επεξεργασίας τους.

Μια από τις πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία ενός συνόλου δεικτών που εκφράζουν τη βιώσιμη ανάπτυξη (*Indicators for Sustainable Development - ISD*) έγινε το 1995 από το Τμήμα Οικονομικών και Κοινωνικών Υποθέσεων των Ηνωμένων Εθνών (UNDESA, 2001). Η προσέγγιση, όμως, ήταν γενική και μόνο τρεις από τους προτεινόμενους δείκτες αφορούσαν την ενέργεια. Συγκεκριμένα, αυτοί ήταν η ετήσια κατά κεφαλή χρήση ενέργειας, η ποσοστιαία συμμετοχή των ΑΠΕ στην κατανάλωση ενέργειας και ο λόγος της συνολικής χρήσης ενέργειας προς το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ) μιας χώρας.

Παράλληλα, η Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας (IEA) σε συνεργασία με το Εθνικό Εργαστήριο του Berkeley (LBNL) επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη δεικτών για την παρακολούθηση της κατανάλωσης ενέργειας, της αποδοτικής της χρήσης σε διάφορους τομείς της οικονομίας αλλά και τη σύνδεσή της με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (IEA, 1997). Το 1997, η Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών, αναγνώρισε επίσημα την ανάγκη για τη βιώσιμη χρήση της ενέργειας. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε μια διακρατική επιτροπή για την προώθηση μιας κοινής προσέγγισης στο ζήτημα της βιώσιμης ενεργειακής ανάπτυξης.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας (IAEA), συνεχίζοντας την προσπάθεια των Ηνωμένων Εθνών, σε συνεργασία και με άλλους 4 οργανισμούς, παρουσίασε έναν κατάλογο με 30 Ενεργειακούς Δείκτες για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (*Energy Indicators for Sustainable Development - EISD*), μαζί με τη μέθοδο υπολογισμού τους αλλά και οδηγίες για τη χρήση τους στη λήψη αποφάσεων (IAEA, 2005).

Αντίστοιχα σύνολα δεικτών έχουν αναπτυχθεί και από άλλους διεθνείς οργανισμούς όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση (EC, 1999), μέσω της Ευρωπαϊκής Στατιστικής Υπηρεσίας (Eurostat) και της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (EEA), καθώς και ο Οργανισμός για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (OECD, 2001). Οι

Patlitzianas et al. (2008) παρουσιάζουν αναλυτικά όλες τις προσπάθειες των τελευταίων 15 ετών για την διαμόρφωση ενός συνόλου δεικτών για τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Οι λίστες αυτές είναι ιδιαίτερα εκτενείς και περιεκτικές καλύπτοντας όλες τις αλληλεπιδράσεις ενός ενεργειακού συστήματος με την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον και παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες. Ωστόσο, λόγω του μεγάλου αριθμού των επιμέρους δεικτών τους οποίους περιέχουν, είναι αρκετά περίπλοκες, δύσκολο να ερμηνευτούν και δεν μπορούν να δώσουν μια σαφή γενική εικόνα για τη συμπεριφορά του συστήματος. Για το λόγο αυτό, δεν είναι εύχρηστες στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, αφού χωρίς ομαδοποίηση τέτοια σύνολα δεικτών δεν παρέχουν κανένα μέτρο προόδου (Hardi & Barg, 1997). Είναι, λοιπόν, προτιμότερη η χρήση ενός υποσυνόλου αντιπροσωπευτικών δεικτών, το οποίο θα καλύπτει τις πιο σημαντικές πτυχές της βιωσιμότητας και θα αξιολογεί τη συνολική πορεία της ανάπτυξης.

Η επιλογή των δεικτών εξαρτάται έντονα από τη φύση και το στόχο της μελέτης και από τους αποφασίζοντες. Κανένα σύνολο δεικτών δεν είναι οριστικό και τελεσίδικο. Για να είναι χρήσιμοι, θα πρέπει να εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου για να ανταποκρίνονται στις ειδικές συνθήκες, προτεραιότητες και δυνατότητες κάθε χώρας. Ωστόσο, κατά την επιλογή των δεικτών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια (Patlitzianas et al., 2008):

- Καταλληλότητα (*Appropriateness*)
  - Σαφής και ρεαλιστική περιγραφή (*Realistic Description*)
  - Διαφάνεια (*Transparency*)
  - Απλότητα (*Simplicity*)
  - Δυνατότητα σύγκρισης (*Ability of Comparison*)
- Πληρότητα (*Completeness*)
  - Τεχνική και επιστημονική αρτιότητα (*Technical and Scientific Adequacy*)
  - Διεθνής αναγνώριση (*International Acknowledgement*)
- Προσαρμοστικότητα (*Flexibility*)
  - Ευκολία υπολογισμού (*Easy Calculation*)
  - Ύπαρξη αξιόπιστων δεδομένων (*Existence of Right Quality Data*)
  - Δυνατότητα παρακολούθησης αλλαγών (*Ability of Mapping Changes*)

Παράλληλα, είναι απαραίτητο να μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ο βαθμός στον οποίο μια χώρα εφαρμόζει τις οδηγίες και τις αποφάσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και να παρακολουθεί την πορεία προς την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί. Πρέπει να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της τρέχουσας κατάστασης της χώρας, σε σχέση με τους στόχους αυτούς, καθώς και ο καθορισμός των απαιτούμενων μέτρων για να

πλησιάσει στην επίτευξη τους. Επίσης, είναι σημαντικό οι αποφασίζοντες να μπορούν να κατανοήσουν τις συνέπειες που θα έχουν συγκεκριμένες δράσεις, ενεργειακά, περιβαλλοντικά και οικονομικά προγράμματα, πολιτικές και σχέδια και τη συνεισφορά τους στην εξέλιξη του συστήματος (Streimikiene & Šivickas, 2008).

### 2.4.1 Σύνθετοι Δείκτες

Για τη μελέτη της συνολικής προόδου του συστήματος, οι επιμέρους ενεργειακοί δείκτες συνδυάζονται σε 3 σύνθετους δείκτες, έναν για κάθε μια από τις συνιστώσες της βιώσιμης ανάπτυξης (κοινωνική, οικονομική, περιβαλλοντική). Για τον υπολογισμό τους πραγματοποιούνται τα ακόλουθα βήματα:

1. Τυποποίηση των τιμών των επιμέρους δεικτών στο διάστημα 0-1, όπου το 0 αντιστοιχεί στη χειρότερη και το 1 στην καλύτερη τιμή της περιόδου που μελετάται. Εφαρμόζεται η ακόλουθη σχέση:

$$SI'_x = RelMax - \frac{(RelMax - RelMin) \times (max SI - SI_x)}{(max SI - min SI)} \quad (2.1)$$

όπου  $SI_x$  είναι ο επιλεγμένος δείκτης για το έτος  $x$ ,  $SI'_x$  είναι ο αντίστοιχος κανονικοποιημένος δείκτης,  $max SI$  και  $min SI$  είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του δείκτη για την περίοδο μελέτης, και  $RelMax$ ,  $RelMin$  είναι δύο μεγέθη που παίρνουν τιμές 0 και 1 και δηλώνουν εάν η επιθυμητή τιμή του δείκτη είναι η μέγιστη ή η ελάχιστη δυνατή. Συγκεκριμένα,  $RelMax = 1$  και  $RelMin = 0$  όταν η αύξηση της τιμής του δείκτη υποδεικνύει βελτίωση της βιωσιμότητας του συστήματος ενώ  $RelMax = 0$  και  $RelMin = 1$  στην αντίθετη περίπτωση.

2. Καθορισμός των βαρών ( $W_x$ ) για τους επιμέρους δείκτες. Στα πλαίσια της παρούσας διατριβής έγινε η παραδοχή πως όλοι οι δείκτες έχουν την ίδια βαρύτητα.
3. Υπολογισμός των τριών σύνθετων δεικτών. Χρησιμοποιείται η σχέση:

$$OSI_x = \frac{\sum W_x SI'_x}{\sum W_x} \quad (2.2)$$

όπου  $OSI_x$  είναι ο σύνθετος ενεργειακός δείκτης βιώσιμης ανάπτυξης για κάθε μια από τις συνιστώσες της βιώσιμης ανάπτυξης για το έτος  $x$ .

## 2.5 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό, πέραν των εννοιών του ενεργειακού σχεδιασμού, παρουσιάστηκε το απαιτούμενο θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση και την παρακολούθηση του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου.

Στην ενότητα 2.2 αναλύθηκε διεξοδικά το πρόβλημα της αντιμετώπισης και της μοντελοποίησης της επικινδυνότητας και της αβεβαιότητας. Αρχικά, διευκρινίστηκαν οι δύο αυτές έννοιες και δόθηκαν οι αντίστοιχοι ορισμοί που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια. Παρουσιάστηκαν οι πιθανές πηγές της αβεβαιότητας και τα στάδια της ολοκληρωμένης διαδικασίας διαχείρισης της επικινδυνότητας. Δόθηκε ιδιαίτερο

βάρος στις δύο τεχνικές, δηλαδή στη διαμόρφωση σεναρίων και στην προσομοίωση Monte Carlo, που θα χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της μεθόδου που υιοθετείται.

Στην ενότητα 2.3 παρουσιάστηκε η προτεινόμενη μέθοδος αξιολόγησης των εναλλακτικών δράσεων, ο συνδυασμός δηλαδή της ανάλυσης κόστους-αποτελεσματικότητας και της ανάλυσης αυξητικού κόστους. Παρατέθηκαν τα κύρια χαρακτηριστικά τους, περιγράφηκε σχηματικά η λογική με την οποία εφαρμόζονται και αιτιολογήθηκε η επιλογή της για τη λήψη αποφάσεων και τον καθορισμό του τελικού σχεδίου δράσης.

Η ενότητα 2.4 αφιερώθηκε στην ανάλυση των ενεργειακών δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης. Πραγματοποιήθηκε μια σύντομη ιστορική επισκόπηση και αναφέρθηκαν επιγραμματικά οι σημαντικότερες προσπάθειες καθορισμού ενός ολοκληρωμένου συνόλου δεικτών. Προσδιορίστηκαν τα κριτήρια με τα οποία επιλέχθηκαν οι δείκτες για τη διαμόρφωση ενός αντιπροσωπευτικού συνόλου και αναπτύχθηκαν οι μαθηματικές σχέσεις με τις οποίες υπολογίζονται οι σύνθετοι δείκτες.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο καθώς και οι δύο βασικοί αλγόριθμοι επίλυσης των μοντέλων που αναπτύσσονται.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

---

## 3.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο του παρόντος κεφαλαίου είναι η παρουσίαση του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου για την πραγματοποίηση ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού. Μετά από μια σύντομη περιγραφή των επτά βημάτων από τα οποία αποτελείται, έμφαση θα δοθεί στη λεπτομερή ανάλυση των δύο αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου και την αξιολόγηση εναλλακτικών δράσεων και στην ενσωμάτωση σε αυτούς της ανάλυσης επικινδυνότητας με χρήση της μεθόδου Monte Carlo, κάτι που αποτελεί ένα από τα καινοτόμα στοιχεία της διατριβής.

## 3.2 Περιγραφή της Μεθοδολογικής Προσέγγισης

Η προτεινόμενη μεθοδολογική προσέγγιση για την πραγματοποίηση ενεργειακού σχεδιασμού υπό συνθήκες αβεβαιότητας μπορεί να χωριστεί σε επτά στάδια και παρουσιάζεται σχηματικά στην Εικόνα 3.1.

Σημείο εκκίνησης είναι η ενδελεχής αναζήτηση και συλλογή όλων των διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων για το υπό μελέτη ενεργειακό σύστημα και ο καθορισμός του χρονικού ορίζοντα της μελέτης. Συγκεντρώνονται όλα τα ενεργειακά, κοινωνικά και οικονομικά στοιχεία καθώς και οι ισχύουσες νομοθετικές διατάξεις σε εθνικό και διεθνές επίπεδο. Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα αλλά και τους προκαθορισμένους και δεσμευτικούς στόχους του ενεργειακού συστήματος καθορίζεται ένα σύνολο ενεργειακών δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης, στους οποίους θα βασιστεί η αξιολόγηση των προτεινόμενων στρατηγικών.

Στη συνέχεια καταστρώνεται το ενεργειακό ισοζύγιο του υπό μελέτη συστήματος, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες παραγωγής, μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας και όλες τις πιθανές ενεργειακές ροές. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η συνολική χρονική περίοδος μελέτης και ως εκ τούτου να συμπεριληφθούν στο ισοζύγιο και όλες οι πιθανόν παροπλισμένες ή μη υφιστάμενες διεργασίες κατά το έτος διεξαγωγής της μελέτης.

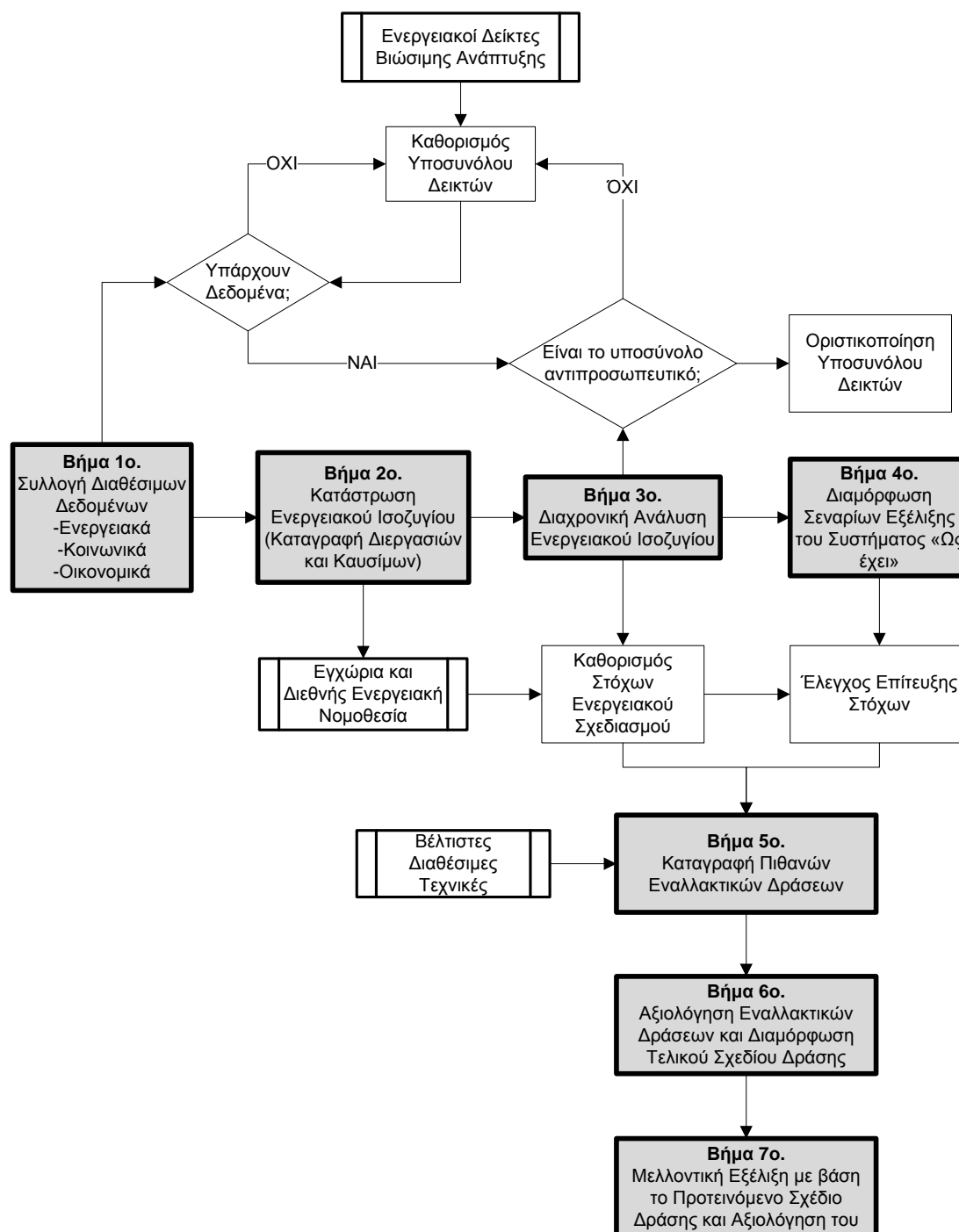
Ακολουθεί η διαχρονική ανάλυση του συστήματος, η οποία έχει τρεις επιμέρους στόχους:

(α) Τον προσδιορισμό των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του ενεργειακού συστήματος αλλά και των τάσεων εξέλιξης των σημαντικότερων μεγεθών του (δυναμικότητες, αποδόσεις και μερίδια των διεργασιών).

(β) Τον εντοπισμό των προβλημάτων που εμφανίζει το σύστημα αλλά και των αιτιών που τα προκαλούν και, σε συνδυασμό με τις ισχύουσες διεθνείς και εθνικές νομοθετικές διατάξεις, τον καθορισμό των προτεραιοτήτων που πρέπει να δοθούν

στην ανάπτυξη καθώς και των στόχων που πρέπει να ικανοποιήσει ο μακροχρόνιος ενεργειακός σχεδιασμός.

(γ) Την παράλληλη εξέταση των σημαντικότερων κοινωνικών, οικονομικών και πολιτικών γεγονότων που έλαβαν χώρα στην υπό μελέτη περιοχή αλλά και των αλλαγών στην ενεργειακή πολιτική. Με τον τρόπο αυτό ελέγχεται αν το επιλεγμένο υποσύνολο δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης είναι αντιπροσωπευτικό και μπορεί να αποτυπώσει όλες τις πραγματοποιηθείσες αλλαγές.



Εικόνα 3.1. Προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού



Στο τέταρτο στάδιο μελετάται η εκτιμώμενη εξέλιξη του συστήματος, θεωρώντας πως η δομή του θα αλλάξει αποκλειστικά και μόνο με βάση τις ήδη δρομολογημένες ενεργειακές πολιτικές. Η μεταβολή στη ζήτηση ενέργειας προσδιορίζεται από μακροοικονομικά μοντέλα, με βάση ιστορικά δεδομένα. Για την αντιμετώπιση των αβέβαιων ενεργειακών και οικονομικών μεγεθών καταστρώνονται εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης. Με οδηγό την προηγηθείσα ανάλυση, εντοπίζονται οι τομείς που παρουσιάζουν πρόβλημα και οι στόχοι, η επίτευξη των οποίων κρίνεται από αβέβαιη έως αδύνατη.

Στη συνέχεια, συγκεντρώνονται όλες οι πιθανές δράσεις, που είναι δυνατό να οδηγήσουν στη βελτίωση της κατάστασης. Υπολογίζεται η αποτελεσματικότητά τους, δηλαδή η επίδραση που θα έχουν στο ενεργειακό σύστημα, και γίνεται ένας πρόχειρος υπολογισμός του κόστους υλοποίησης.

Για όλες τις δράσεις προσδιορίζονται οι παράμετροι εκείνες που εισάγουν την αβεβαιότητα στον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας. Για κάθε μια παράμετρο καθορίζεται το εύρος στο οποίο κυμαίνεται καθώς και η κατανομή που την περιγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια. Με χρήση της μεθόδου Monte Carlo προσδιορίζεται η αβεβαιότητα στη συνολική αποτελεσματικότητα της κάθε ενεργειακής στρατηγικής. Ακολουθεί αξιολόγηση των παραπάνω δράσεων με στόχο τον καθορισμό του τελικού σχεδίου δράσης.

Στα πλαίσια της εφαρμογής των οδηγιών για τη λήψη αποφάσεων σε περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα, το Συμβούλιο Υδατικών Πόρων των ΗΠΑ (Yoe, 1992) τονίζει πως κάθε εναλλακτική δράση πρέπει να αξιολογείται ως προς τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- **Ρεαλιστικότητα**, η οποία ορίζεται ως ο βαθμός στον οποίο εξασφαλίζονται οι απαιτούμενες ενέργειες και επενδύσεις για την πραγματοποίηση της.
- **Επάρκεια**, η οποία ορίζεται ως ο βαθμός στον οποίο καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες.
- **Αποτελεσματικότητα**, η οποία εκφράζει το βαθμό στον οποίο η επάρκεια της δράσης συνδυάζεται με το χαμηλότερο δυνατό κόστος χωρίς να διαταράσσει την περιβαλλοντική ισορροπία.
- **Αποδοχή**, που εκφράζει την εφαρμοσιμότητα και τη βιωσιμότητα της με βάση την ισχύουσα νομοθεσία αλλά και την κοινή γνώμη.

Οι δράσεις που κρίνονται ρεαλιστικές, υλοποιήσιμες και αποτελεσματικές ομαδοποιούνται με σκοπό του τελικού σχεδίου δράσης για την ανάπτυξη του ενεργειακού συστήματος. Τελικό στάδιο της μεθοδολογικής προσέγγισης είναι η αξιολόγηση του σχεδίου δράσης, με βάση την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί αλλά και το βαθμό στον οποίο ευνοείται η βιώσιμη ανάπτυξη.

Η εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα πραγματοποιείται στο δεύτερο μέρος της παρούσας διατριβής. Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ισχύουσα ελληνική και ευρωπαϊκή ενεργειακή νομοθεσία,

καθορίζεται το σύνολο των ενεργειακών δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης που θα χρησιμοποιηθεί και καταρτίζεται το ενεργειακό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας, καταγράφοντας όλες τις ενεργειακές διεργασίες και ροές (**Βήμα 2**). Στο έβδομο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η διαχρονική ανάλυση του συστήματος για την περίοδο 1960-2007 (**Βήμα 3**). Στο όγδοο κεφάλαιο διαμορφώνονται τρία εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης του συστήματος με βάση τις ήδη προγραμματισμένες δράσεις (**Βήμα 4**), τα οποία διαφοροποιούνται ως προς τη χρονική στιγμή κατά την οποία διαμορφώθηκαν και τις οικονομικές συνθήκες που επικρατούσαν. Στη συνέχεια καταγράφονται (**Βήμα 5**) και αξιολογούνται (**Βήμα 6**) οι πιθανές επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας και προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ενώ διαμορφώνεται και το συνολικό προτεινόμενο σχέδιο δράσης. Τέλος, ελέγχεται η εξέλιξη του συστήματος με βάση το σχέδιο δράσης και εξετάζεται η επίτευξη των στόχων και η βιώσιμη ανάπτυξη του συστήματος (**Βήμα 7**).

Για την υποστήριξη και εφαρμογή του προτεινόμενου μεθοδολογικού πλαισίου, αναπτύσσονται τα ακόλουθα υπολογιστικά εργαλεία:

- Εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού, με τη βοήθεια του οποίου εκτελούνται η κατάρτιση του ενεργειακού ισοζυγίου καθώς και η διαχρονική ανάλυση και μελέτη της μελλοντικής εξέλιξης του συστήματος, δηλαδή τα βήματα 2, 3 και 7 του αλγορίθμου (Εικόνα 3.1).
- Εργαλείο αξιολόγησης επεμβάσεων, με το οποίο πραγματοποιείται το έκτο βήμα του μεθοδολογικού πλαισίου, δηλαδή η αξιολόγηση εναλλακτικών δράσεων.

Τα χαρακτηριστικά των δύο αυτών εργαλείων, ο τρόπος υλοποίησής τους καθώς και οι δυνατότητες τους περιγράφονται αναλυτικά στο τέταρτο και στο πέμπτο κεφάλαιο αντίστοιχα. Στις επόμενες δύο ενότητες περιγράφονται αναλυτικά:

- (α) ο αλγόριθμος επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου, και
- (β) ο αλγόριθμος αξιολόγησης των εναλλακτικών δράσεων με βάση την αποτελεσματικότητά τους.

Παράλληλα, για την καλύτερη οργάνωση και διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται στο πρώτο βήμα καθώς και την ευκολότερη και ταχύτερη επεξεργασία τους από το εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού, σχεδιάζεται και αναπτύσσεται ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων. Ο τρόπος ανάγνωσης και διαχείρισης της βάσης δεδομένων αλλά και η δομή της ίδιας της βάσης περιγράφονται στο Παράρτημα 1.

### 3.3 Επίλυση Ενεργειακού Ισοζυγίου

Η επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου ακολουθεί την τεχνολογική προσέγγιση και με δεδομένη ζήτηση υπολογίζει την απαιτούμενη παροχή ενέργειας. Στηρίζεται στη λεπτομερή καταγραφή των χαρακτηριστικών όλων των τελικών χρήσεων και όλων

των διεργασιών παραγωγής και μετατροπής ενέργειας μαζί με τα αντίστοιχα μίγματα εισερχόμενων και εξερχόμενων καυσίμων.

Ένα ενεργειακό ισοζύγιο αποτελείται από κόμβους και συνδέσμους, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένα μεγέθη. Αναλυτικότερα, ένας κόμβος περιγράφεται από:

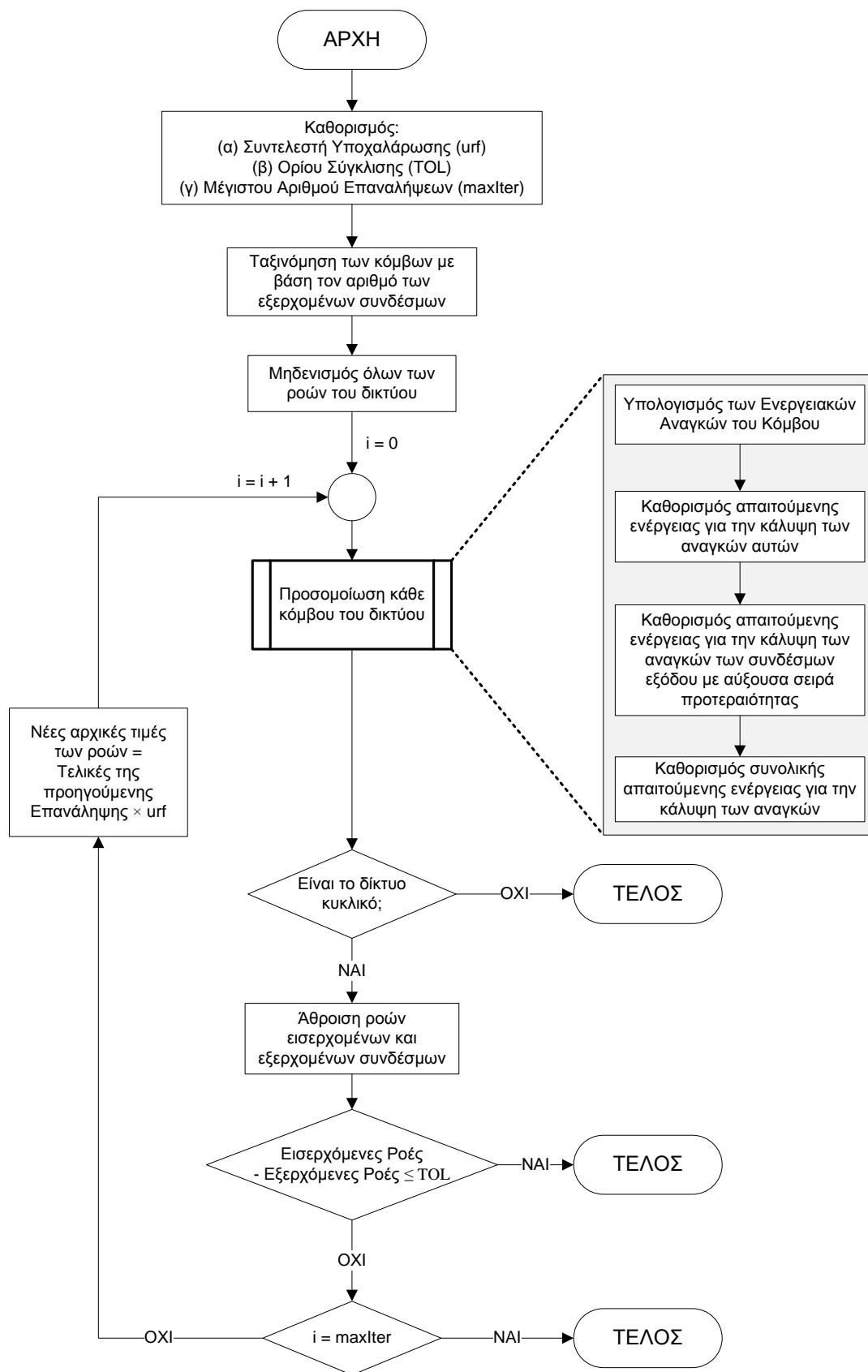
- Το σύνολο των εισερχομένων και εξερχομένων συνδέσμων.
- Το σύνολο των διεργασιών μετατροπής ενέργειας, μαζί με το βαθμό απόδοσης τους, τη δυναμικότητα τους, τη διαθεσιμότητα τους και το μερίδιο των εισερχομένων και εξερχομένων καυσίμων.

Αντίθετα, κάθε σύνδεσμος χαρακτηρίζεται από:

- Τη δυναμικότητα
- Το βαθμό απωλειών
- Την προτεραιότητα παροχής, δηλαδή τη σειρά προτεραιότητας που έχει η κάλυψη της απαιτούμενης ροής του σε σχέση με τους υπόλοιπους συνδέσμους που ξεκινούν από τον ίδιο κόμβο.
- Την προτεραιότητα ζήτησης, δηλαδή τη σειρά με την οποία καλύπτει τις ανάγκες του κόμβου στον οποίο καταλήγει σε σχέση με τους υπόλοιπους συνδέσμους που καταλήγουν στον ίδιο κόμβο.

Ο αλγόριθμός παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.2 και περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια. Πριν τη διαδικασία επίλυσης, προηγείται η ταξινόμηση των κόμβων με βάση τον αριθμό των εξερχομένων συνδέσμων. Με τον τρόπο αυτό ξεχωρίζουν οι κόμβοι που αναπαριστούν διεργασίες ζήτησης ενέργειας (και δεν έχουν κανέναν εξερχόμενο σύνδεσμο) από αυτούς που αναπαριστούν διεργασίες μετατροπής ή παραγωγής. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται και επιταχύνεται η διαδικασία επίλυσης. Παράλληλα, ελέγχεται αν το δίκτυο είναι κυκλικό και, αν η απάντηση είναι θετική, τότε εφαρμόζεται επαναληπτική διαδικασία για την επίλυσή του. Τέλος, μηδενίζονται όλες οι ροές των συνδέσμων.

Εξετάζεται κάθε κόμβος ξεχωριστά, ξεκινώντας από αυτούς με τους λιγότερους εξερχόμενους συνδέσμους, δηλαδή από τους κόμβους ζήτησης. Ο αλγόριθμος όμως που εκτελείται είναι κοινός για όλους τους κόμβους. Αρχικά, υπολογίζονται οι ενεργειακές ανάγκες του ίδιου του κόμβου, με βάση τις ενεργειακές απαιτήσεις των διεργασιών του και των τελικών χρήσεων από τις οποίες αποτελείται. Ελέγχεται αν μπορεί να καλυφθεί κάποιο ποσοστό αυτών με ίδια μέσα και το υπολειπόμενο ποσό καλύπτεται από τους εισερχόμενους συνδέσμους με αύξουσα σειρά προτεραιότητας ζήτησης.



Εικόνα 3.2. Αλγόριθμος επίλυσης ενεργειακού ισοζυγίου

Στη συνέχεια, εξετάζονται όλοι οι εξερχόμενοι σύνδεσμοι από τον κόμβο, ξεκινώντας από αυτούς με τη μεγαλύτερη προτεραιότητα παροχής. Για κάθε ένα σύνδεσμο ελέγχεται το ποσοστό της απαιτούμενης ροής που μπορεί να καλυφθεί με βάση τη δυναμικότητα του συγκεκριμένου κόμβου και υπολογίζεται η αναγκαία προσφορά ενέργειας από τον κόμβο με βάση το βαθμό απόδοσής του. Τέλος, καθορίζεται η απαιτούμενη ροή ενέργειας για κάθε σύνδεσμο εισόδου στον κόμβο, με αύξουσα σειρά προτεραιότητας ζήτησης.

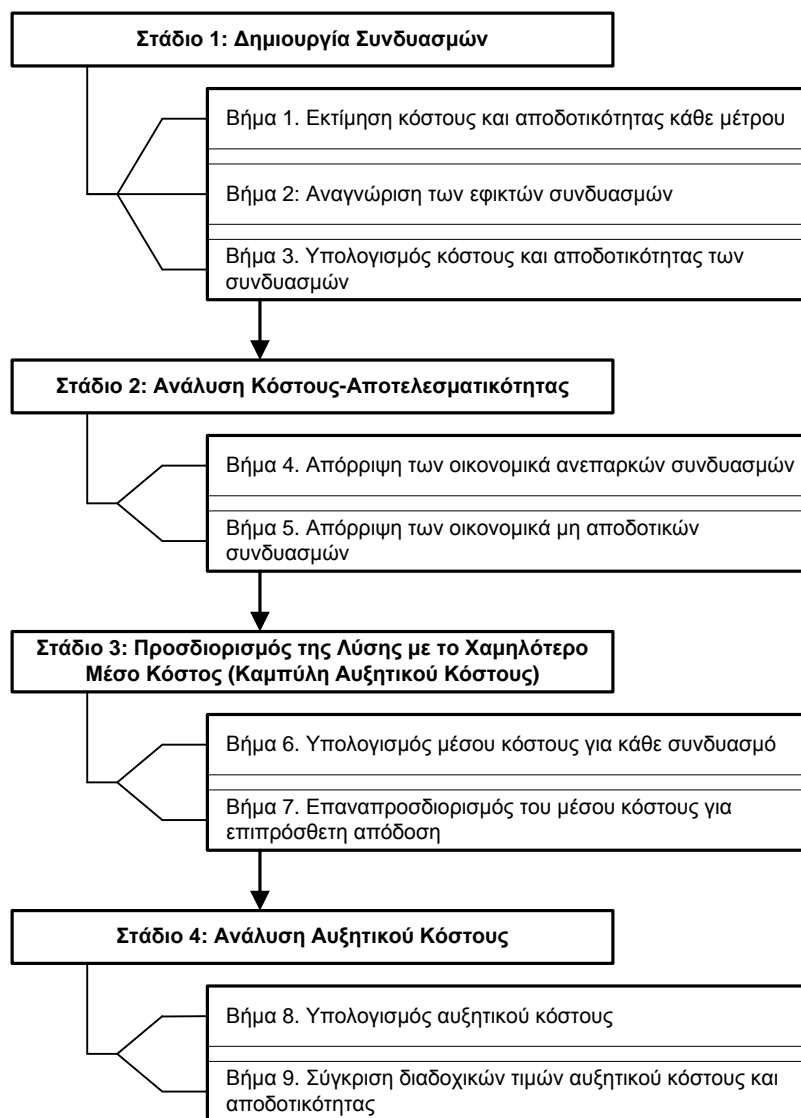
Αν το δίκτυο δεν είναι κυκλικό τότε η διαδικασία επίλυσης τερματίζεται και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης (ενεργειακό ισοζύγιο υπό μορφή πίνακα, γραφήματα, δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης). Αν όμως είναι κυκλικό, τότε ελέγχεται αν καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες όλων των κόμβων, ή αντίστοιχα αν το σύνολο των εισροών για κάθε σύνδεσμο είναι ίσο με το σύνολο των εκροών. Αν οι συνθήκες αυτές δεν ικανοποιούνται, τότε η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να επιτευχθεί η σύγκλιση ή μέχρι να συμπληρωθεί ο μέγιστος επιτρεπτός αριθμός επαναλήψεων. Για τη διευκόλυνση της επίτευξης σύγκλισης, υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού ενός συντελεστή υποχαλάρωσης και ενός ορίου σύγκλισης.

### 3.4 Αξιολόγηση Εναλλακτικών Δράσεων

Για την αξιολόγηση των εναλλακτικών δράσεων χρησιμοποιείται η ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και η ανάλυση του αυξητικού κόστους. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.3 (Orth, 1994). Η εφαρμοσιμότητά του σε περιβαλλοντικά προβλήματα σχεδιασμού καταδεικνύεται από την παρατήρηση των Carlson και Palesh (1993) ότι η ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και η ανάλυση αυξητικού κόστους αποτελούν δύο βασικές έννοιες για την αξιολόγηση εναλλακτικών περιβαλλοντικών δράσεων.

Ο αλγόριθμος αυτός επεκτείνεται στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, ενσωματώνοντας την εκτίμηση και την αξιολόγηση της αβεβαιότητας που εμπεριέχεται στον υπολογισμό του κόστους και της αποτελεσματικότητας των διαφόρων επεμβάσεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η ανάλυση Monte Carlo, η οποία βασίζεται στην επαναληπτική εκτέλεση του αλγορίθμου και τον προσδιορισμό της μορφής της κατανομής που περιγράφει τις μεταβλητές εξόδου, δηλαδή του συνολικού κόστους και της συνολική αποτελεσματικότητας. Ο τροποποιημένος αλγόριθμος απεικονίζεται σχηματικά στην Εικόνα 3.4 και επεξηγείται αναλυτικά στη συνέχεια.

Η βασική διαφορά του με τις πιο παραδοσιακές προσεγγίσεις είναι ότι τα οφέλη δεν εκφράζονται σε χρηματικούς όρους και αυτό αποτελεί τον κύριο λόγο επιλογής του συγκεκριμένου αλγορίθμου. Πρόκειται για ένα απλό και κατανοητό αλγόριθμο με ευρεία εφαρμογή σε προβλήματα, όπως για παράδειγμα τα περιβαλλοντικά ή τα ενεργειακά, όπου τα οφέλη είναι δύσκολο να μεταφραστούν με αντικειμενικότητα σε τιμές.



**Εικόνα 3.3.** Αλγόριθμος ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας και ανάλυση αυξητικού κόστους (Orth, 1994)

Τα εννέα διακριτά βήματα από τα οποία αποτελείται ο αλγόριθμος, μπορούν, για την καλύτερη κατανόησή του, να χωριστούν σε τέσσερα επιμέρους στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι ο προσδιορισμός μιας συνάρτησης υπολογισμού του κόστους και της αποτελεσματικότητας για κάθε πρωτογενές μέτρο. **Πρωτογενές** καλείται το μέτρο εκείνο για το οποίο τα δύο αυτά μεγέθη καθορίζονται από το χρήστη. Από αυτά προκύπτουν τα δευτερεύοντα μέτρα ως συνδυασμοί δύο ή περισσότερων πρωτογενών. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι παράμετροι των παραπάνω συναρτήσεων, η μεταβολή των οποίων προκαλεί τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα στον υπολογισμό των δύο αυτών μεγεθών και οι οποίες θα καλούνται για λόγους συντομίας «αβέβαιες» παράμετροι. Για κάθε μια από αυτές καθορίζεται η κατανομή εκείνη που περιγράφει καλύτερα τη συμπεριφορά της.

Το δεύτερο στάδιο είναι η αναγνώριση όλων των δυνατών συνδυασμών μεταξύ των πρωτογενών μέτρων. Για να είναι αποδεκτά τα μέτρα ή οι συνδυασμοί τους, θα

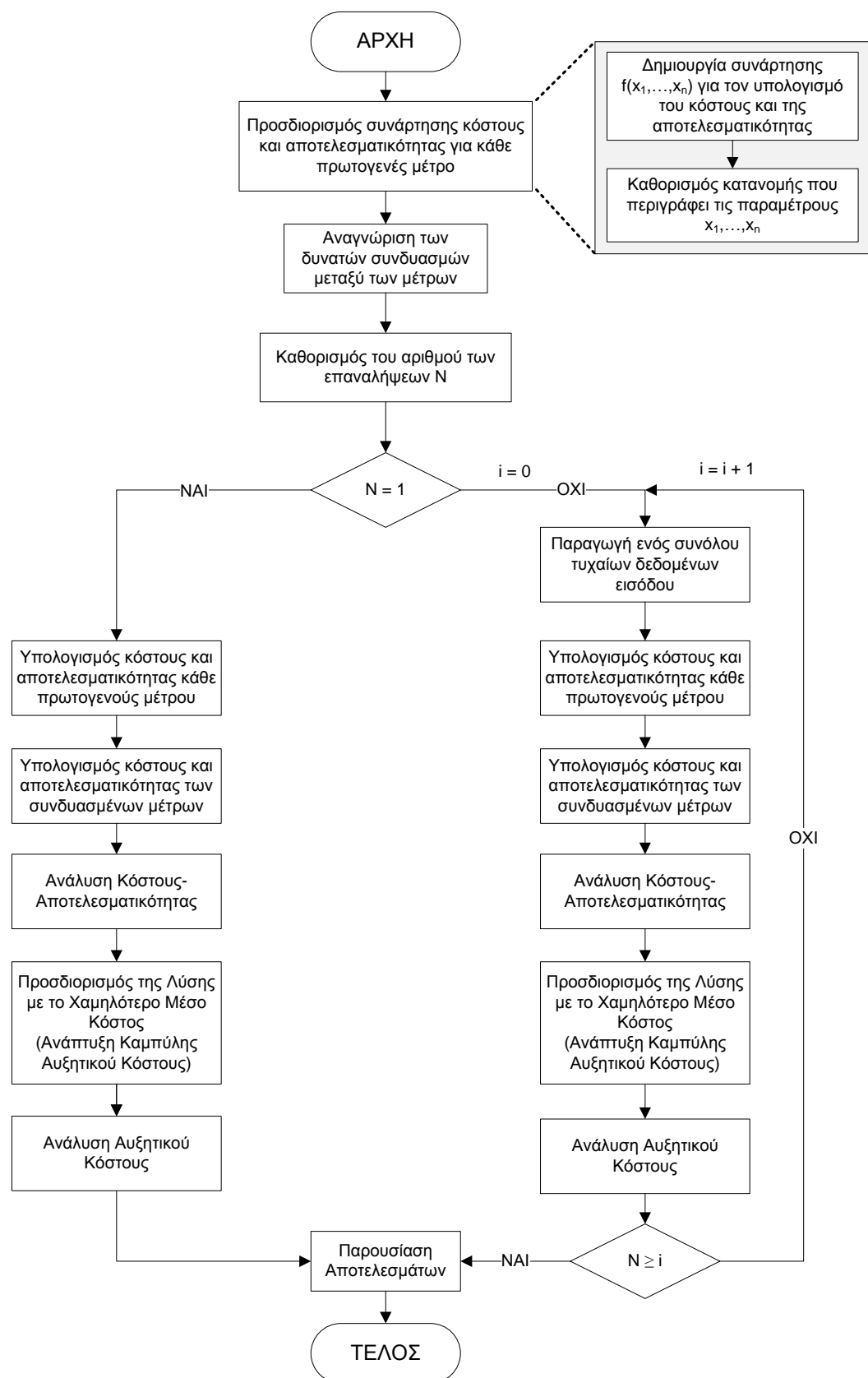
πρέπει να είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους. Δηλαδή, η υλοποίηση του θα πρέπει να μην είναι λειτουργικά εξαρτημένη από την υλοποίηση ενός άλλου.

Ως **λειτουργική εξάρτηση** ορίζεται μια σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μέτρων, κατά την οποία κανένα μέτρο δεν μπορεί να λειτουργήσει επιτυχώς για το σκοπό που εφαρμόζεται χωρίς να υλοποιηθεί κάποιο από τα υπόλοιπα (Orth, 1994).

Στο επόμενο στάδιο καθορίζεται ο αριθμός των επαναλήψεων και εμμέσως το αν θα πραγματοποιηθεί ή όχι ανάλυση επικινδυνότητας. Ανεξαρτήτως από την απόφαση που θα ληφθεί, η πορεία που ακολουθείται στη συνέχεια είναι η ίδια. Η μόνη διαφοροποίηση είναι ότι στην περίπτωση που ο αριθμός των επαναλήψεων είναι μεγαλύτερος της μονάδας, τότε πριν από κάθε επανάληψη παράγεται ένα σύνολο τυχαίων δεδομένων εισόδου με βάση τις κατανομές που έχουν καθοριστεί και υπολογίζεται το κόστος και η αποτελεσματικότητα κάθε μέτρου. Στην αντίθετη περίπτωση τα δύο αυτά μεγέθη υπολογίζονται από τις μέσες τιμές των αβέβαιων παραμέτρων.

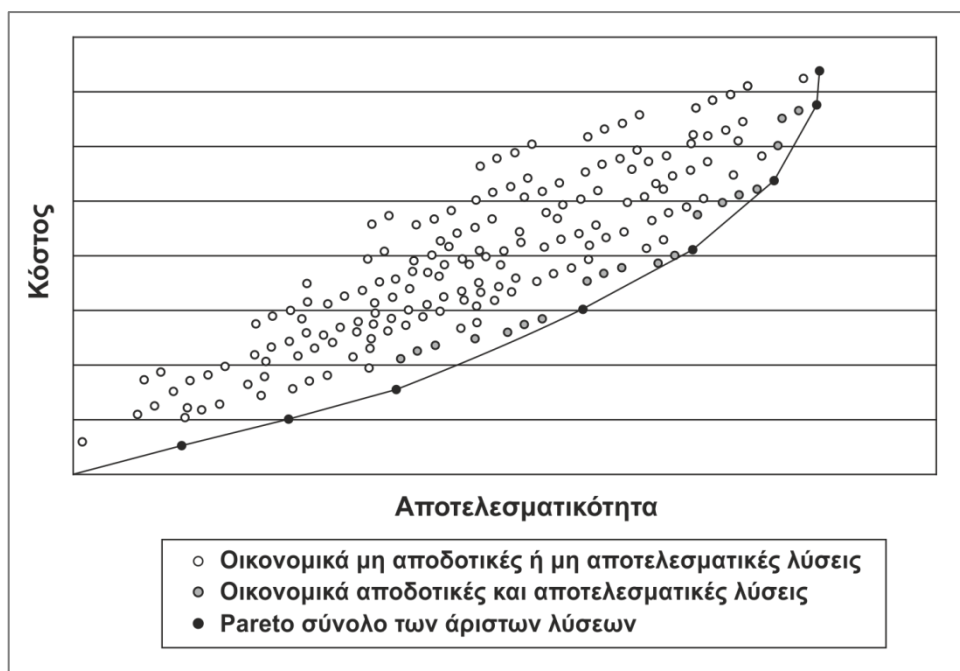
Ακολουθεί ο υπολογισμός του κόστους και της αποτελεσματικότητας για όλους τους εφικτούς συνδυασμούς. Στη γενική περίπτωση και τα δύο μεγέθη προκύπτουν αθροιστικά, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου η υλοποίηση ενός μέτρου μπορεί να επηρεάσει το κόστος ή την αποτελεσματικότητα των επερχόμενων (δηλαδή  $A+B \neq B+A$ ). Στην παρούσα διατριβή γίνεται η παραδοχή πως το κόστος ενός δευτερεύοντος μέτρου προκύπτει αθροίζοντας τα αντίστοιχα μεγέθη των πρωτογενών και η σειρά υλοποίησης τους δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα. Αντίθετα, για την περίπτωση της αποτελεσματικότητας, κάτι τέτοιο δεν μπορεί να ισχύσει στην περίπτωση εφαρμογής επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας που αφορούν την ίδια τελική χρήση. Αναλυτικότερα, η σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας ενός συνδυασμού δύο πρωτογενών μέτρων εξοικονόμησης περιγράφεται στην Ενότητα 8.4.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας, η οποία χωρίζεται σε 2 επιμέρους στάδια, την απόρριψη των οικονομικά ανεπαρκών και των οικονομικά αναποτελεσματικών συνδυασμών. Ως **οικονομικά επαρκής** (*economically efficient*) ορίζεται ένας συνδυασμός όταν μεταξύ μιας σειράς λύσεων με την ίδια αποτελεσματικότητα παρουσιάζει το χαμηλότερο κόστος. Η διαδικασία απόρριψης περιλαμβάνει την κατάταξη όλων των συνδυασμών κατά αύξουσα αποτελεσματικότητα. Αν δύο εξ αυτών έχουν την ίδια αποτελεσματικότητα, τότε επιλέγεται αυτός με το χαμηλότερο κόστος ενώ όλοι οι υπόλοιποι απορρίπτονται. Αντίστοιχα, ως **οικονομικά αποτελεσματικός** (*economically effective*) ορίζεται ένας συνδυασμός, ο οποίος μεταξύ μίας ομάδας λύσεων με το ίδιο κόστος παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή της αποτελεσματικότητας. Η διαδικασία απόρριψης τους είναι αντίστοιχη.



Εικόνα 3.4. Αλγόριθμος αξιολόγησης εναλλακτικών επεμβάσεων





Εικόνα 3.5. Καμπύλη ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας

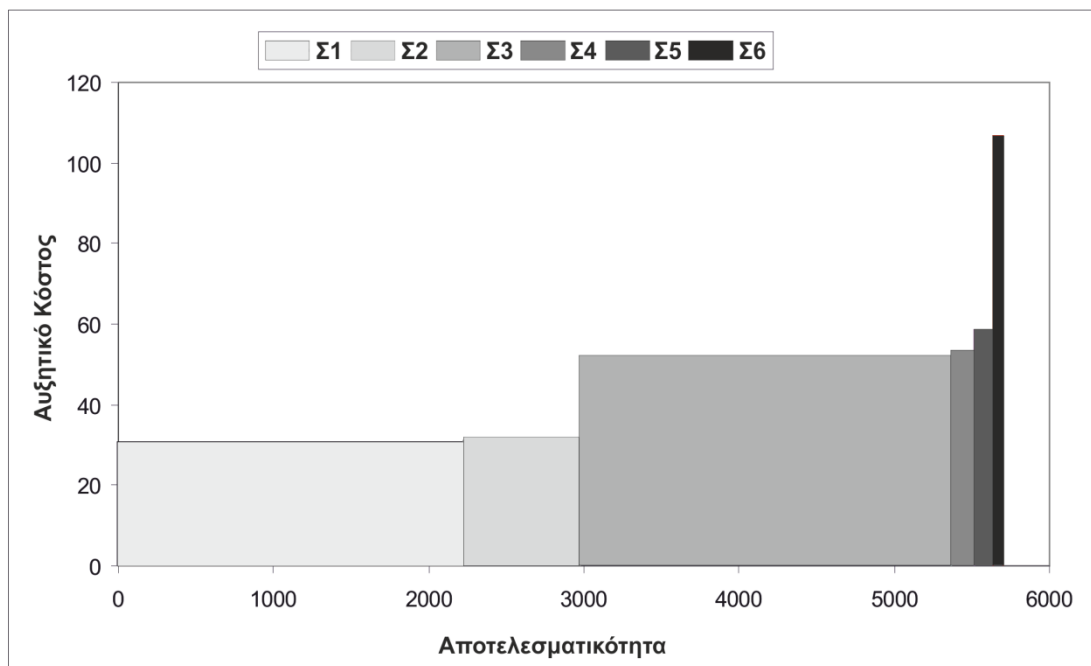
Ενδεικτικά, η μορφή των αποτελεσμάτων του συγκεκριμένου σταδίου παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.5. Κάθε σημείο εκφράζει το κόστος και την αποτελεσματικότητα του κάθε συνδυασμού. Με γκρι χρώμα αποτυπώνονται οι οικονομικά αποδοτικές και αποτελεσματικές λύσεις ενώ η νοητή καμπύλη που τις ενώνει ονομάζεται **Όριο Κόστους-Αποτελεσματικότητας** (*Cost-Effectiveness Frontier*). Όλες οι λύσεις που βρίσκονται επάνω και αριστερά του ορίου και απεικονίζονται με λευκό χρώμα, είναι οικονομικά μη αποδοτικές ή μη αποτελεσματικές.

Ακολουθεί η ανάλυση αυξητικού κόστους σε δύο επιμέρους στάδια. Αρχικά, υπολογίζεται το μέσο κόστος όλων των συνδυασμών που προέκυψαν από την ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας. Το μέσο κόστος κάθε συνδυασμού ορίζεται ως ο λόγος του κόστους προς την αποτελεσματικότητά του. Εντοπίζεται ο συνδυασμός με το μικρότερο μέσο κόστος και όλοι όσοι έχουν χαμηλότερη αποτελεσματικότητα από αυτόν απορρίπτονται.

Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για κάθε επιπρόσθετο επίπεδο απόδοσης. Υπολογίζεται δηλαδή το **μέσο κόστος** (*average cost*) για κάθε επίπεδο, και από όλους τους συνδυασμούς με το ίδιο μέσο κόστος επιλέγεται αυτός με την υψηλότερη αποτελεσματικότητα. Το τελικό σύνολο των συνδυασμών που προκύπτει από τη διαδικασία αυτή είναι το σύνολο των άριστων λύσεων και αποτυπώνεται με μαύρο χρώμα στην Εικόνα 3.5.

Τελευταίο βήμα στην όλη διαδικασία είναι η ανάπτυξη της καμπύλης του αυξητικού κόστους. Υπολογίζεται το **αυξητικό κόστος** (*incremental cost*) ανάμεσα σε δύο εναλλακτικούς συνδυασμούς, το οποίο ορίζεται ως η διαφορά κόστους μεταξύ τους προς την αντίστοιχη διαφορά στην αποτελεσματικότητα. Η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός επαναλήψεων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυξητικού κόστους παρουσιάζονται σε ένα ραβδόγραμμα (Εικόνα 3.6). Κάθε στήλη στο γράφημα εκφράζει το αυξητικό κόστος και την αποτελεσματικότητα της αντίστοιχης λύσης. Η διαφορά ύψους μεταξύ δύο διαδοχικών στηλών υποδηλώνει το επιπλέον κόστος που απαιτείται να καταβληθεί ώστε να επιτευχθεί το επόμενο επίπεδο αποτελεσματικότητας. Το γράφημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων και τον καθορισμό του τελικού σχεδίου δράσης καθώς πιθανές ανωμαλίες ή απότομες κορυφές και κατά συνέπεια ανώμαλη μετάβαση από το ένα επίπεδο στο άλλο υποδεικνύουν τις οικονομικά ασύμφορες λύσεις.



Εικόνα 3.6. Καμπύλη αυξητικού κόστους

### 3.5 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε το προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για την πραγματοποίηση ενεργειακού σχεδιασμού υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Στην ενότητα 3.2 περιγράφηκαν αναλυτικά τα επτά βήματα από τα οποία αποτελείται. Η περιγραφή αυτή υποστηρίχτηκε από τη σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας, όπου έγινε σαφής η αλληλουχία των βημάτων και η μεταξύ τους αλληλεπίδραση. Στη συνέχεια, η διαδικασία συνδέθηκε με τη μελέτη περίπτωσης και με τα δύο εργαλεία που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής και με τα οποία υλοποιείται το μεθοδολογικό πλαίσιο.

Στις επόμενες ενότητες δόθηκε έμφαση στην παρουσίαση των αλγόριθμων επίλυσης των δύο εργαλείων που αναπτύχθηκαν. Στην ενότητα 3.3 αναλύθηκε ο αλγόριθμος επίλυσης του ενεργειακού δικτύου. Πρόκειται για μια επαναληπτική διαδικασία, η οποία συνδυάζει αλγορίθμους επεξεργασίας ενός γράφου και μια συνάρτηση υπολογισμού των εισερχομένων ροών για κάθε κόμβο.

Στην ενότητα 3.4 παρουσιάστηκε ο αλγόριθμος της ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας αλλά και της ανάλυσης αυξητικού κόστους. Τονίστηκε ιδιαίτερα τα σημεία εκείνα που αποτελούν τη συνεισφορά της παρούσας διατριβής με στόχο την ενσωμάτωση στον αλγόριθμο της μεθόδου Monte Carlo.

Το επόμενο δύο κεφάλαια έχουν ως αντικείμενο την παρουσίαση των δύο εργαλείων που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής για την υλοποίηση των αλγορίθμων και την υποστήριξη της μεθοδολογίας.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

---

## 4.1 Εισαγωγή

Το τέταρτο κεφάλαιο ασχολείται αποκλειστικά με την παρουσίαση του εργαλείου ενεργειακού σχεδιασμού που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Μια σύντομη ιστορική αναδρομή είναι αναγκαία για τον εντοπισμό των ελλείψεων στα υφιστάμενα εργαλεία.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά το εργαλείο, χωρίς να επιδιώκεται η δημιουργία ενός οδηγού χρήσης αλλά η κατανόηση των λειτουργιών καθώς και του τρόπου υλοποίησης και εκτέλεσής τους. Καταγράφονται οι καινοτόμες δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στο χρήστη σε σχέση με τα υφιστάμενα, παρουσιάζεται ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός του σχεδιασμού και αναλύονται τα τρία βασικά υποσυστήματα του.

## 4.2 Υφιστάμενα Εργαλεία.

Από τις πρώτες κιόλας προσπάθειες πραγματοποίησης ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού έγινε αντιληπτό πως για την επίλυση του ενεργειακού συστήματος και κατ' επέκταση για τη λήψη αποφάσεων ενεργειακής πολιτικής ήταν αναγκαία η ανάπτυξη υπολογιστικών εργαλείων. Τα πρώτα από αυτά έκαναν την εμφάνισή τους, τη δεκαετία του 1960, πριν δηλαδή από την πετρελαϊκή κρίση. Η κρίση αυτή όμως και η αυξημένη ευαισθητοποίηση γύρω από το ενεργειακό πρόβλημα ήταν οι αιτίες που οδήγησαν στην «έκρηξη» της ανάπτυξης ενεργειακών μοντέλων. Σύμφωνα με τις μελέτες του Διεθνούς Ιδρύματος για την Ανάλυση Εφαρμοσμένων Συστημάτων (IIASA) ήδη μέχρι το 1976 είχαν καταχωρηθεί 144 διαφορετικά μοντέλα, τα οποία όμως προφανώς διαφοροποιούνταν μεταξύ τους ως προς το στόχο και τη μέθοδο που χρησιμοποιούσαν (Roth-Nagel & Voss, 1981).

Στα μέσα της δεκαετίας του 1970 στο Εθνικό Εργαστήριο του Brookhaven (BNL) αναπτύχθηκε ο **Προσομοιωτής Δικτύου Ενεργειακών Συστημάτων** (*Energy Systems Network Simulator*), που βασίστηκε στους **αλγορίθμους διάσχισης δικτύου** (*network traversal algorithms*) και στη χρήση του ενεργειακού συστήματος αναφοράς. Το 1978 παρουσιάστηκε μια νέα έκδοση για τις αναπτυσσόμενες χώρες αλλά η χρηστικότητά της αμφισβητήθηκε, καθότι δεν ήταν βέβαιο πως οι χώρες αυτές θα διέθεταν τους υπολογιστές που απαιτούνταν για την εκτέλεση του λογισμικού (Malone, 1978). Ο Tomkins (1987) παρουσίασε το *Energy Toolbox*, ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων ενεργειακού σχεδιασμού που βασίζεται τόσο στο ενεργειακό σύστημα αναφοράς όσο και στη χρήση γραμμικού προγραμματισμού για την αριστοποίηση του ενεργειακού συστήματος.

**Πίνακας 4.1. Χαρακτηριστικά των κυριότερων σύγχρονων εργαλείων ενεργειακού σχεδιασμού**

Όνομα	Οργανισμός	Διαθεσιμότητα	Προσέγγιση	Μεθοδολογία	Γεωγραφική Κλίμακα	Χρονικός Ορίζοντας	Ελάχιστο Χρονικό Βήμα	Κάλυψη Συστήματος
MARKAL	International Energy Agency (IEA)	Εμπορικό	Τεχνολογική <sup>1</sup>	Ισορροπία	Εθνική/ Περιφερειακή	50 έτη	Ωρα	Πλήρης
LEAP	Stockholm Environment Institute	Εμπορικό <sup>2</sup>	Υβριδική	Προσομοίωση	Εθνική/ Περιφερειακή	Χωρίς Περιορισμό	Έτος	Πλήρης
HOMER	National Renewable Energy Laboratory	Ελεύθερο	Τεχνολογική	Προσομοίωση	Τοπική	1 έτος <sup>3</sup>	Λεπτό	Παραγωγή Ηλ. Ενέργειας
energyPRO	EMD International A/S Aalborg, Denmark	Εμπορικό	Τεχνολογική	Βελτιστοποίηση	Τοπική	50 έτη	Λεπτό	Παραγωγή Ηλ. Ενέργειας
EnergyPLAN	Aalborg University	Εμπορικό	Τεχνολογική	Προσομοίωση	Εθνική/ Περιφερειακή	1 έτος <sup>3</sup>	Ωρα	Πλήρης
NEMS	Energy Information Administration	Ελεύθερο <sup>4</sup>	Οικονομική	Ισορροπία	Εθνική/ Περιφερειακή	50 έτη	Έτος	Πλήρης
MESSAGE	International Institute for Applied Systems Analysis	Ελεύθερο <sup>4</sup>	Τεχνολογική	Ισορροπία	Παγκόσμια	>50 έτη	Πέντε Έτη	Πλήρης
RETScreen	RETScreen International	Ελεύθερο	Τεχνολογική	Φύλλα Εργασίας	Τοπική	50 έτη	Μήνας	Τεχνολογίες ΑΠΕ
POLESTAR	Stockholm Environment Institute	Εμπορικό	Τεχνολογική	Προσομοίωση	Εθνική/ Περιφερειακή	50 έτη	Έτος	Πλήρης

Πηγή: Van Beeck (1999), επικαιροποιημένος και διευρυμένος

<sup>1</sup> Περιλαμβάνει και οικονομική προσέγγιση, οπότε μπορεί να θεωρηθεί εν μέρει υβριδικό.

<sup>2</sup> Το πρόγραμμα διατίθεται ελεύθερο για εκπαιδευτικούς σκοπούς.

<sup>3</sup> Μπορεί να προσομοιώσει 1 έτος κάθε φορά αλλά οι προσομοιώσεις μπορούν να συνδυαστούν για τη δημιουργία σεναρίων με μεγαλύτερο χρονικό ορίζοντα.

<sup>4</sup> Απαιτείται η αγορά των προσομοιωτών.

Την τελευταία δεκαπενταετία ο αριθμός των διαθέσιμων εργαλείων για τον ενεργειακό σχεδιασμό έχει κατακόρυφη άνοδο, κυρίως λόγω των συνεχώς αυξανόμενων υπολογιστικών δυνατοτήτων. Κάθε ένα από τα εργαλεία αυτά έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και δυνατότητες, που εξαρτώνται τις περισσότερες φορές από τους στόχους και την φιλοσοφία των μελετητών και προγραμματιστών. Είναι προφανές, λοιπόν, πως δεν υπάρχει ένα εργαλείο το οποίο να μελετά όλα τα ζητήματα που σχετίζονται με τον ενεργειακό σχεδιασμό.

Οι διάφορες κατηγοριοποιήσεις που επιχειρήθηκαν κατά καιρούς – ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες των Meier (1984) και Kleipeter (1995) – δεν μπορούν πλέον να εφαρμοστούν με ακρίβεια, καθώς υπάρχουν πολύ λίγα μοντέλα που ανήκουν αποκλειστικά σε μια κατηγορία. Για το λόγο αυτό τόσο ο van Beeck (1999) όσο και ο Connolly (2010) προτείνουν την κατηγοριοποίηση των μοντέλων σύμφωνα με τα βασικά τους χαρακτηριστικά ως προς την αντιμετώπιση του προβλήματος. Ο Πίνακας 4.1 καταγράφει τα κύρια χαρακτηριστικά των σημαντικότερων διαθέσιμων εργαλείων και τα κατατάσσει με βάση τους κυριότερους έξι τρόπους κατηγοριοποίησής τους:

1. Με βάση την προσέγγιση που ακολουθείται για τη μοντελοποίηση της ενεργειακής προσφοράς και ζήτησης:
  - Οικονομικά – «Από τα πάνω προς τα κάτω» (*Top-Down*)
  - Τεχνολογικά – «Από τα κάτω προς τα πάνω» (*Bottom-Up*)
  - Υβριδικά, με συνδυασμό και των 2 μεθοδολογιών (*Hybrid*)
2. Με βάση τη μεθοδολογία επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου:
  - **Μοντέλα Προσομοίωσης** (*Simulation Models*), που βασίζονται σε μια λογική απεικόνιση του συστήματος και στοχεύουν σε μια απλοποιημένη προσομοίωση του δικτύου.
  - **Μοντέλα Βελτιστοποίησης** (*Optimization Models*), που αριστοποιούν το σύστημα και παρουσιάζουν την ιδανική λύση για δεδομένες μεταβλητές εισόδου υπό συγκεκριμένους περιορισμούς. Περαιτέρω κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει με βάση το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται.
  - **Οικονομετρικά Μοντέλα** (*Econometric Models*), που εφαρμόζουν στατιστικές μεθόδους για την προεκβολή των ιστορικών δεδομένων και την πρόβλεψη της εξέλιξης του συστήματος.
  - **Μακροοικονομικά Μοντέλα** (*Macroeconomic Models*), που εστιάζουν στη μελέτη της οικονομίας της περιοχής και την αλληλεπίδραση μεταξύ των τομέων του ενεργειακού συστήματος.
  - **Μοντέλα Ισορροπίας** (*Equilibrium Models*), τα οποία χρησιμοποιούνται για να μελετηθεί το ενεργειακό σύστημα ως τμήμα του συνολικού οικονομικού συστήματος και εστιάζουν στις σχέσεις του με αυτό.

- **Μοντέλα Φύλλων Εργασίας (Spreadsheet Models)**, δηλαδή πολύ ευέλικτα συστήματα που θεωρούνται περισσότερο ως πακέτα λογισμικού παρά ως μοντέλα.

Οι δύο πρώτες αυτές κατηγοριοποιήσεις είναι στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους, ενώ σχετίζονται άμεσα και με την μοντελοποίηση του ενεργειακού ισοζυγίου, όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 1.2.2.

### 3. Με βάση τη γεωγραφική περιοχή κάλυψης

Η γεωγραφική κάλυψη εκφράζει τη λεπτομέρεια με την οποία πραγματοποιείται η ανάλυση καθορίζοντας και τη δομή του μοντέλου. Η εφαρμογή των μοντέλων που αναφέρονται σε παγκόσμιο, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο απαιτεί συνήθως πιο συγκεντρωτικά δεδομένα καθώς και μελέτη των σχέσεων μεταξύ των τομέων ενώ έχει ως αποτέλεσμα μια σχετική «απλοποίηση» του ενεργειακού τομέα. Αντίθετα, τα μοντέλα τοπικού επιπέδου ή ακόμα περισσότερο μελέτης ενός συγκεκριμένου επενδυτικού σχεδίου ή μιας συγκεκριμένης διεργασίας απαιτούν λεπτομερέστερα και πιο ακριβή δεδομένα.

### 4. Με βάση το χρονικό ορίζοντα μελέτης

Δεν υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ του βραχυπρόθεσμου, μεσοπρόθεσμου και μακροπρόθεσμου ενεργειακού σχεδιασμού. Σύμφωνα με τους Grubb et al. (1993) ένας διαχωρισμός που θα μπορούσε να γίνει είναι ο εξής: (α) ο βραχυπρόθεσμος σχεδιασμός αναφέρεται σε χρονική περίοδο έως και 5 έτη, (β) ο μεσοπρόθεσμος σχεδιασμός σε περίοδο 3-15 έτη και (γ) ο μακροπρόθεσμος σε περίοδο μεγαλύτερη των 10 ετών. Ο καθορισμός του χρονικού ορίζοντα της μελέτης είναι σημαντικός γιατί διαφοροποιούνται οι κυρίαρχες οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές διεργασίες ανάλογα με τη χρονική κλίμακα.

### 5. Με βάση την κάλυψη του ενεργειακού συστήματος

Ένα μοντέλο μπορεί να επικεντρώνεται σε ένα μόνο τομέα, όπως πολλά από τα πρώτα εργαλεία σχεδιασμού που έδιναν βάρος στην αριστοποίηση κυρίως των πετρελαϊκών διεργασιών, σε περισσότερους του ενός τομείς ή και σε ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα.

### 6. Με βάση το είδος των απαιτούμενων δεδομένων

Τα περισσότερα μοντέλα απαιτούν ποσοτικά δεδομένα ενώ σε κάποια από αυτά συγκεκριμένα μεγέθη πρέπει να εκφράζονται σε νομισματικές μονάδες. Επειδή, όμως, πολλές φορές τέτοια δεδομένα δεν είναι διαθέσιμα ή αξιόπιστα, είναι σημαντικό το μοντέλο να μπορεί να επεξεργαστεί και ποιοτικά δεδομένα.

## 4.3 Γενική Περιγραφή

Το εργαλείο που αναπτύσσεται στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι ένα υπολογιστικό εργαλείο προσομοίωσης του ενεργειακού συστήματος, το οποίο βασίζεται στη δημιουργία εναλλακτικών σεναρίων για την εκτίμηση της εξέλιξής του. Μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε τοπικό όσο και σε περιφερειακό/εθνικό



επίπεδο, ο χρονικός ορίζοντας της μελέτης είναι απεριόριστος ενώ το ελάχιστο επιτρεπτό χρονικό βήμα είναι ένας μήνας. Δεν θέτει περιορισμό στον αριθμό των τομέων που θα μελετηθούν, η ανάλυση γίνεται σε επίπεδο καυσίμου ενώ δέχεται αποκλειστικά ποσοτικά δεδομένα.

Ακολουθεί την τεχνολογική προσέγγιση και βασίζεται στην κατανόηση και μοντελοποίηση του τρόπου παραγωγής, μετατροπής και κατανάλωσης της ενέργειας σε μια περιοχή, κάτω από συγκεκριμένες παραδοχές σχετικά με την εξέλιξη του πληθυσμού, την οικονομική ανάπτυξη και την τεχνολογική πρόοδο. Για την απεικόνιση του ενεργειακού συστήματος της περιοχής χρησιμοποιείται το ενεργειακό σύστημα αναφοράς, όπου οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τις διάφορες διεργασίες παραγωγής, μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας ενώ οι σύνδεσμοι αναπαριστούν τη μεταφορά και διανομή ενέργειας από τον ένα κόμβο στον άλλο

Οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τους κόμβους του ενεργειακού δικτύου είναι οι εξής:

- Δυναμικότητα, το μέγιστο πόσο ενέργειας που μπορούν να επεξεργαστούν ή να παρέχουν.
- Βαθμός απόδοσης, ο λόγος του συνόλου των εξερχομένων ροών προς το σύνολο των εισερχομένων ροών.
- Σύνολο εισερχομένων και εξερχομένων ροών και επιμέρους μερίδια των καυσίμων.
- Προτεραιότητα ικανοποίησης εισερχομένων και εξερχομένων συνδέσμων.

Αντίστοιχα, οι ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τις ακμές του ενεργειακού δικτύου είναι:

- Δυναμικότητα, η μέγιστη ποσότητα ενέργειας που μπορεί να διέλθει από το σύνδεσμο.
- Εισροή, η ποσότητα ενέργειας που εισέρχεται στο σύνδεσμο.
- Εκροή, η ποσότητα ενέργειας που εξέρχεται από το σύνδεσμο.
- Βαθμός απωλειών, ο λόγος της εκροής προς την εισροή.

Τα κύρια στοιχεία του εργαλείου είναι η **Περιοχή** και τα **Σενάρια**. Η περιοχή αποτελεί μια γενική εικόνα του εξεταζόμενου ενεργειακού συστήματος αλλά και του οικονομικού, κοινωνικού και περιβαλλοντικού πλαισίου που το περιβάλλει. Περιλαμβάνει όλα τα απαραίτητα ιστορικά ενεργειακά δεδομένα, καθώς και όλα τα κλιματολογικά, δημογραφικά και μακροοικονομικά δεδομένα. Το κάθε σενάριο είναι μια ανεξάρτητη εκτίμηση της μελλοντικής εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος κάτω από καθορισμένες κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες και μετά την εφαρμογή συγκεκριμένων στρατηγικών ανάπτυξης.

Το εργαλείο που αναπτύσσεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- Ως βάση δεδομένων, παρέχοντας ένα αναλυτικό και ευέλικτο σύστημα διαχείρισης των ενεργειακών πληροφοριών

- Ως εργαλείο πρόβλεψης, επιτρέποντας στον χρήστη να κάνει εκτιμήσεις για την εξέλιξη της παροχής και ζήτησης ενέργειας σε μακροπρόθεσμο χρονικό ορίζοντα
- Ως εργαλείο ανάλυσης και αξιολόγησης ενεργειακών πολιτικών, εξετάζοντας την εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος και εκτιμώντας τις επιπτώσεις σε αυτό των εναλλακτικών ενεργειακών πολιτικών, επενδύσεων και δράσεων.

Αντίθετα, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση του συστήματος ούτε για τη δημιουργία σεναρίων ισορροπίας της αγοράς.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά του είναι η ευελιξία και η ευκολία στη χρήση. Το περιβάλλον εργασίας είναι φιλικό προς το χρήστη. Ακολουθεί τη δομή των παραθύρων, με την οποία είναι εξοικειωμένοι οι περισσότεροι χρήστες, οι οποίοι έχουν μάλιστα την ευχέρεια να αναδιατάξουν τα παράθυρα σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους. Επίσης, προσφέρει τις ακόλουθες καινοτόμες δυνατότητες:

- Εισάγεται η έννοια των προτεραιοτήτων για κάθε σύνδεσμο που ενώνει ένα κόμβο παροχής και έναν κόμβο ζήτησης ενέργειας κατά την επίλυση του δικτύου, τόσο στο επίπεδο της προσφοράς (π.χ. προγραμματισμός ηλεκτροπαραγωγής) όσο και στο επίπεδο της ζήτησης (π.χ. επιλογή παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας σε μια απελευθερωμένη αγορά).
- Προσφέρεται αμεσότητα και ευκολία στη δημιουργία του ενεργειακού συστήματος αναφοράς, το οποίο δεν αποτελεί απλώς μια στατική εικόνα αλλά είναι δυναμικό και όλες οι αλλαγές που γίνονται σε αυτό επηρεάζουν τη δομή του δικτύου.
- Υποστηρίζεται ο υπολογισμός ενός καθορισμένου και αντιπροσωπευτικού συνόλου επιμέρους δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης και ενός συνολικού δείκτη της αειφορίας του ενεργειακού συστήματος.

Η σημαντικότερη, όμως, καινοτομία που εισάγει σε σχέση με τα υπόλοιπα υφιστάμενα εργαλεία είναι η διαχείριση της επικινδυνότητας με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo. Συγκεκριμένα, υποστηρίζεται η επαναληπτική επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου για όλες τις χρονικές στιγμές από το έτος βάσης μέχρι το τελευταίο έτος του χρονικού ορίζοντα της μελέτης. Πρόκειται για μια λειτουργία που δεν εμφανίζει κάποιο άλλο αντίστοιχο εργαλείο μέχρι τη στιγμή συγγραφής της παρούσας διατριβής. Αναλυτικότερα ο χρήστης καλείται να καθορίσει τις αβέβαιες παραμέτρους του μοντέλου του και στη συνέχεια πραγματοποιείται επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου προς την εξαγωγή αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων με ενσωματωμένη την παράμετρο της αβεβαιότητας.

Τέλος, σε προγραμματιστικό επίπεδο επιδιώκεται η ανάπτυξη ενός γενικευμένου επιλύτη δικτύων ο οποίος μπορεί να προσαρμοστεί σε οποιοδήποτε πρόβλημα. Επιπλέον, τα τμήματα της γραφικής απεικόνισης του δικτύου και του αλγορίθμου κατάρτισης και επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου είναι ανεξάρτητα, γεγονός που ενισχύει την παραπάνω επιδίωξη.

## 4.4 Αρχιτεκτονική του Συστήματος

### 4.4.1 Υποσυστήματα

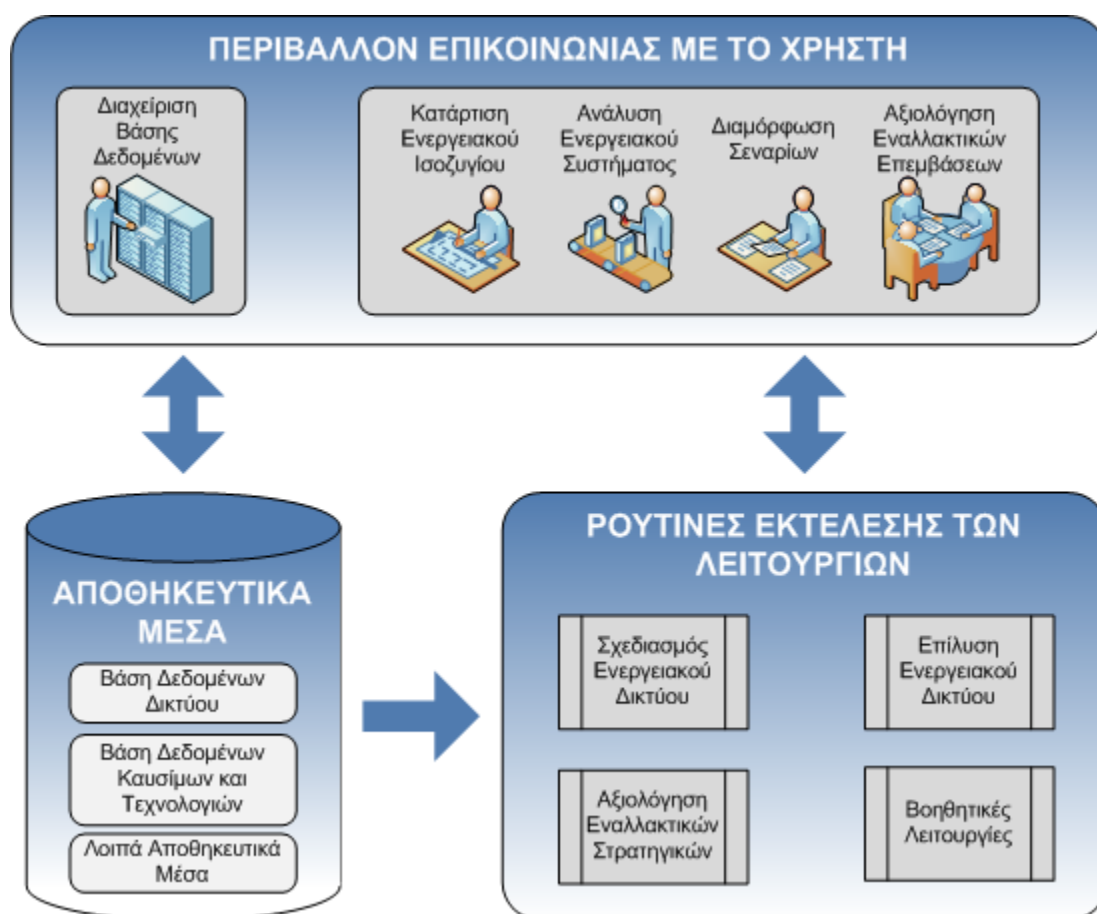
Τα τρία κύρια τμήματα του συστήματος είναι τα εξής:

- Περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη
- Αποθηκευτικά μέσα
- Ρουτίνες εκτέλεσης των λειτουργιών

Ο τρόπος σύνδεσης των τριών αυτών τμημάτων και ένταξής τους σε ένα ενιαίο πλαίσιο λειτουργίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1.

Το περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη είναι το σκέλος του λογισμικού που βλέπει ο χρήστης και με το οποίο αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα τμήματα του εργαλείου. Του επιτρέπει:

- Να χρησιμοποιεί το σύστημα για να εκτελεί τις βασικές του λειτουργίες και να προβάλλει τα αποτελέσματα.
- Να διαχειρίζεται τη βάση δεδομένων, που περιλαμβάνει τις τεχνολογίες και τα καύσιμα, και να τροποποιεί το περιεχόμενό της σύμφωνα με τις ανάγκες του.



Εικόνα 4.1. Αρχιτεκτονική του συστήματος

Η βάση δεδομένων του λογισμικού είναι το κύριο αποθηκευτικό μέσο για τα δεδομένα και τα αποτελέσματα του εργαλείου. Αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα:

- Τη βάση δεδομένων του δικτύου, η οποία περιλαμβάνει τα ενεργειακά δεδομένα για όλα τα στοιχεία του ενεργειακού συστήματος αλλά και τις κοινωνικές, οικονομικές και ενεργειακές παραμέτρους της περιοχής.
- Τη βάση δεδομένων καυσίμων και τεχνολογιών, η οποία περιλαμβάνει πληροφορίες και ιδιότητες για όλα τα καύσιμα και τις τεχνολογίες μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας.

Υπάρχουν, επίσης, και κάποια βοηθητικά αποθηκευτικά αρχεία κειμένου που περιέχουν πληροφορίες για τη γραφική απεικόνιση του δικτύου και τη λειτουργία της εφαρμογής.

Ο πυρήνας του συστήματος είναι η συλλογή των ρουτινών του συστήματος, κάθε μία από τις οποίες αντιπροσωπεύει μια ανεξάρτητη λειτουργία (Πίνακας 4.2), η οποία προσαρμόζεται και ενσωματώνεται στο υπολογιστικό περιβάλλον.

**Πίνακας 4.2. Σύντομη περιγραφή των λειτουργιών του συστήματος**

Όνομα	Περιγραφή
<b>Κύριες Λειτουργίες</b>	
Σχεδιαστής Ενεργειακού Συστήματος	Σχεδιασμός και κατάρτιση του ενεργειακού συστήματος
Προσομοιωτής Ενεργειακού Συστήματος	Δημιουργία σεναρίων και επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου
Αξιολογητής Ενεργειακού Συστήματος	Σύγκριση σεναρίων και αξιολόγηση εναλλακτικών στρατηγικών
<b>Βοηθητικές Λειτουργίες</b>	
Απλοποιημένη Ανάγνωση Δεδομένων	Ανάγνωση δεδομένων από φύλλα εργασίας με καθορισμένη δομή
Υπολογισμός Εκπομπών	Υπολογισμός των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου
Υπολογισμός Δεικτών Βιώσιμης Ανάπτυξης	Υπολογισμός επιμέρους δεικτών και ενός συγκεντρωτικού δείκτη βιώσιμης ανάπτυξης του ενεργειακού συστήματος

#### 4.4.2 Πλατφόρμα Ανάπτυξης

Το λογισμικό επίλυσης του ενεργειακού συστήματος είναι μια εφαρμογή των Microsoft® Windows™, που αναπτύχθηκε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic .NET. Οι βάσεις δεδομένων έχουν δημιουργηθεί με τη χρήση της Microsoft® Access™, για τις οποίες το πλαίσιο προγραμματισμού .NET παρέχει ενσωματωμένη υποστήριξη. Για τη γραφική απεικόνιση του ενεργειακού δικτύου και το σχεδιασμό του ενεργειακού συστήματος αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το FlowChart Component της MindFusion. Για τα γραφήματα των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το Microsoft® Chart Control, ενώ για τους πίνακες ιδιοτήτων των

στοιχείων του γράφου το XP Table Component, ένα πρόσθετο προγραμματισμού (*add-in*) ανοιχτού κώδικα.

Επιπλέον, χρησιμοποιούνται τρεις βιβλιοθήκες που έχουν αναπτυχθεί στο πλαίσιο παλαιότερης ερευνητικής εργασίας από τη Μονάδα Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων (ΜΔΕΠΣ) της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η πρώτη περιέχει συναρτήσεις και μεθόδους για την επεξεργασία, ανάλυση και απλοποίηση ενός δικτύου, η δεύτερη περιλαμβάνει ρουτίνες που επιτρέπουν τις πράξεις μεταξύ χρονοσειρών και τη τρίτη περιέχει τις πιο γνωστές στατιστικές κατανομές και τις ιδιότητες τους καθώς και μια γεννήτρια τυχαίων τιμών για κάθε μια από αυτές.

Οι απαιτήσεις σε λογισμικό είναι:

- Λειτουργικό Σύστημα: Microsoft® Windows XP Service Pack 2 (32bit ή 64bit) ή Microsoft® Windows Vista (32bit ή 64bit) ή Microsoft® Windows 7 (32bit or 64bit) με εγκατεστημένο το πλαίσιο προγραμματισμού .NET (Έκδοση 2.0 ή νεότερη)
- Microsoft® Excel™ 2007 (συμβατό με Microsoft® Excel™ 97, 2000, 2003, XP).

## 4.5 Περιβάλλον Επικοινωνίας Συστήματος-Χρήστη

Το σύστημα διαθέτει 3 κύριες και ισάριθμες βοηθητικές λειτουργίες, οι οποίες το καθιστούν εργαλείο ικανό για τη μελέτη και επίλυση του ενεργειακού συστήματος. Ένα σύγχρονο σύστημα, όμως, εκτός από τις δυνατότητες που προσφέρει, θα πρέπει να είναι φιλικό προς το χρήστη και οι λειτουργίες του να γίνονται εύκολα κατανοητές. Η φιλικότητα και η χρηστικότητα βελτιώνονται με την ενσωμάτωση των παρακάτω χαρακτηριστικών:

- Ανάλυση αποτελεσμάτων με τη χρήση διαγραμμάτων και πινάκων
- Ευελιξία στη διαμόρφωση του γραφικού περιβάλλοντος

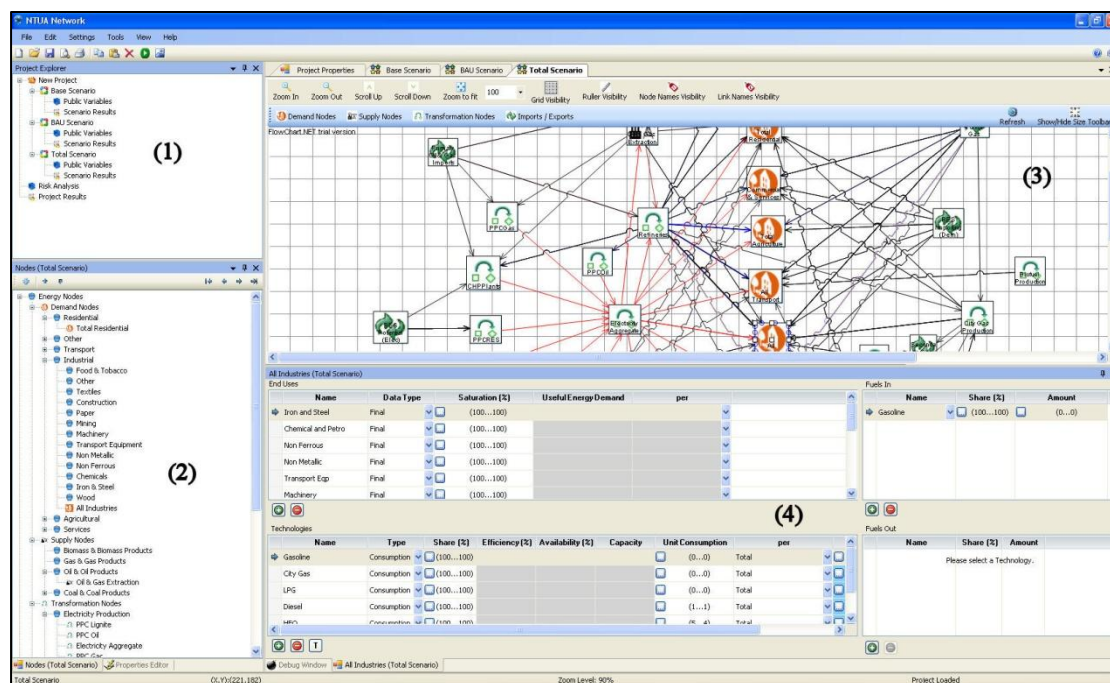
Ο συνδυασμός πινάκων και διαγραμμάτων στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων ισχυροποιεί το ρόλο του συστήματος. Παράλληλα, προσφέρει τη δυνατότητα εξαγωγής των πινάκων και των γραφημάτων σε φύλλο εργασίας του Microsoft® Excel™ για επιπλέον επεξεργασία και μορφοποίησή τους και τη δυνατότητα αποθήκευσης των διαγραμμάτων σε αρχείο εικόνας για την περαιτέρω χρήση τους.

Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η δομή μιας τυπικής οθόνης του γραφικού περιβάλλοντος του συστήματος. Ακολουθεί τη διάταξη σε παράθυρα, με την οποία είναι εξοικειωμένοι οι περισσότεροι χρήστες ηλεκτρονικών υπολογιστών, και είναι χωρισμένη σε τέσσερα τμήματα:

- Δέντρο διαχείρισης της περιοχής (1). Ανάλογα με την επιλογή αλλάζει το περιεχόμενο της κεντρικής οθόνης του συστήματος (χαρακτηριστικά

περιοχής, ενεργειακό σύστημα αναφοράς, ανάλυση επικινδυνότητας, αποτελέσματα).

- Δέντρο της δομής του ενεργειακού δικτύου (2).
- Κεντρική οθόνη, όπου εμφανίζονται τόσο το ενεργειακό δίκτυο όσο και τα αποτελέσματα (3).
- Επεξεργαστής των ενεργειακών ιδιοτήτων των στοιχείων του δικτύου (κόμβων και συνδέσμων) (4).



Εικόνα 4.2. Τυπική οθόνη του συστήματος

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει τη δομή της οθόνης, μετακινώντας τα παράθυρα των τεσσάρων ανεξάρτητων τμημάτων και να προσαρμόσει το γραφικό περιβάλλον στις δικές του προτιμήσεις.

## 4.6 Αποθήκευση Δεδομένων

Τα αποθηκευτικά μέσα που διαθέτει η εφαρμογή είναι δύο ειδών:

- Βάσεις δεδομένων της Microsoft<sup>®</sup> Access<sup>™</sup>
- Αρχεία κειμένου

Κάποια από αυτά αναφέρονται σε όλη την περιοχή μελέτης και το ενεργειακό της σύστημα ενώ τα υπόλοιπα αφορούν το κάθε ένα σενάριο ξεχωριστά. Αναλυτικότερα, για την περιοχή μελέτης αποθηκεύονται τρία αρχεία:

- Μια βάση δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει τη βιβλιοθήκη των καυσίμων και των τεχνολογιών. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει το

περιεχόμενό της, ανάλογα με τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Αναλυτικά, η παραπάνω λειτουργία περιγράφεται στο Παράρτημα 1.

- Ένα αρχείο κειμένου που περιλαμβάνει τις παραμέτρους ανάλυσης και επίλυσης του δικτύου, με κατάληξη .ntua.
- Ένα αρχείο κειμένου που περιλαμβάνει γενικές ρυθμίσεις για τη εμφάνιση του περιβάλλοντος επικοινωνίας του συστήματος με το χρήστη αλλά και πληροφορίες για τον αριθμό των σεναρίων και τον τρόπο αποθήκευσης των δεδομένων, με κατάληξη .conf.

Για κάθε σενάριο αποθηκεύονται πέντε αρχεία:

- Μια βάση δεδομένων που περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες για τους κόμβους και τους συνδέσμους του δικτύου καθώς και τις χρονοσειρές των ενεργειακών στοιχείων (τόσο δεδομένων όσο και αποτελεσμάτων) και των κοινωνικών, οικονομικών και ενεργειακών παραμέτρων.
- Ένα αρχείο κειμένου που περιλαμβάνει τις πληροφορίες για το γραφικό σχεδιασμό του δικτύου (συντεταγμένες, εικόνες, χρώματα) με κατάληξη .scend.
- Ένα αρχείο κειμένου που περιλαμβάνει τις γενικές ρυθμίσεις εμφάνισης για κάθε σενάριο, με κατάληξη .conf.
- Ένα αρχείο κειμένου με κατάληξη .pnb, που περιλαμβάνει τα απαιτούμενα δεδομένα για τις αβέβαιες μεταβλητές του μοντέλου, δηλαδή τη στατιστική κατανομή που τις περιγράφει και τα χαρακτηριστικά της μέτρα.
- Ένα αρχείο κειμένου με κατάληξη .mcr, που περιλαμβάνει τα αποτελέσματα της ανάλυσης Monte Carlo για το επιλεγμένο σύνολο των δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης του συστήματος.

Ο σχεδιασμός και η δομή των δύο βάσεων δεδομένων καθώς και τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στη βιβλιοθήκη παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 1.

## 4.7 Λειτουργία του Συστήματος

Στην παρούσα ενότητα του κεφαλαίου παρουσιάζονται αναλυτικά οι τρεις κύριες λειτουργίες του συστήματος καθώς και ο τρόπος υλοποίησης τους από το χρήστη μέσα από το περιβάλλον επικοινωνίας.

### 4.7.1 Κατάρτιση του Ενεργειακού Ισοζυγίου

Ξεκινώντας μια νέα περιοχή μελέτης, ο χρήστης καλείται να καθορίσει τρεις κατηγορίες παραμέτρων (Εικόνα 4.3):

#### (α) Παραμέτρους που σχετίζονται με την ανάλυση

Προσδιορίζεται ο χρονικός ορίζοντας της μελέτης, τόσο για την ιστορική ανάλυση όσο και για τη μελλοντική εξέλιξη του συστήματος, με βάση τέσσερις παραμέτρους:

- **Πρώτο έτος** (*Start Year*) για το οποίο υπάρχουν ιστορικά δεδομένα.
- **Έτος βάσης** (*Base Year*), το οποίο ορίζεται ως το τελευταίο έτος για το οποίο υπάρχουν ιστορικά δεδομένα.
- **Τελευταίο έτος** (*End Year*), το οποίο αντιστοιχεί στο χρονικό ορίζοντα για οποίο θα πραγματοποιηθεί ο ενεργειακός σχεδιασμός.
- **Χρονικό βήμα** (*Time Step*) της ανάλυσης της μελλοντικής εξέλιξης του συστήματος.

#### (β) Παραμέτρους που σχετίζονται με την προσομοίωση

Συγκεκριμένα απαιτείται ο καθορισμός των ακόλουθων τεσσάρων μεγεθών

- **Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων** (*Maximum Iterations*) που θα πραγματοποιηθεί με στόχο της επίτευξη της σύγκλισης κατά την επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου για ένα έτος.
- **Ελάχιστη αποδεκτή απόκλιση** (*Tolerance*) μεταξύ δύο επαναλήψεων, με την οποία θα επιβεβαιωθεί η σύγκλιση.
- **Συντελεστής υποχαλάρωσης** (*Under Relaxation Factor*), για την ταχύτερη επίτευξη σύγκλισης.
- **Αριθμός των επαναλήψεων Monte Carlo** (*Monte Carlo Iterations*).

The screenshot displays a software interface for setting simulation parameters. At the top, there is a 'Project Name' field with the value 'New Project'. Below this, the interface is divided into three main sections:

- Long Term Planning Parameters:** This section contains four input fields: 'Start Year' (2000), 'Base Year' (2010), 'End Year' (2020), and 'Time Step' (1).
- Simulation Parameters:** This section contains four input fields: 'Maximum Iterations (MaxIter):' (100), 'Tolerance (TOL):' (0.001), 'Under Relaxation Factor (URF):' (0.5), and 'Monte Carlo Iterations:' (100).
- Macroeconomic and Social Parameters:** This section is currently empty and contains a prompt: 'Please add a new Timeseries for a specific parameter'.

Εικόνα 4.3. Καθορισμός παραμέτρων περιοχής μελέτης

#### (γ) Παραμέτρους που αφορούν τη περιοχή μελέτης

Εισάγονται οι διαθέσιμες χρονοσειρές για συγκεκριμένες κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές μεταβλητές, όπως για παράδειγμα ο πληθυσμός, το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν και το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Το επόμενο βήμα είναι η κατάρτιση του ενεργειακού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης για όλα τα έτη, από το πρώτο μέχρι και το έτος βάσης. Ο χρήστης εισάγει όλους τους



κόμβους του δικτύου, με τη λογική «σέρνω και εναποθέτω» (“*drag and drop*”) από τις διαθέσιμες κατηγορίες. Για κάθε έναν από αυτούς εισάγει τα ιστορικά δεδομένα (Εικόνα 4.4) τα οποία αφορούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά μεγέθη:

- Γενικά στοιχεία (π.χ. αριθμός πρότυπων καταναλωτών)
- Ιδιότητες τελικής χρήσης, που περιλαμβάνουν:
  - Ποσοστό κάλυψης
  - Ζήτηση ενέργειας
- Ιδιότητες τεχνολογίας, οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με το είδος του κόμβου (εισαγωγής, παραγωγής, μετατροπής ή κατανάλωσης ενέργειας) και περιλαμβάνουν:
  - Μερίδιο συμμετοχής
  - Βαθμό απόδοσης
  - Διαθεσιμότητα
  - Δυναμικότητα
  - Καταναλισκόμενη ενέργεια
  - Μερίδιο εισερχομένων και εξερχομένων καυσίμων

The screenshot shows a software window titled 'Refineries (Total Scenario)' with two main panels. The left panel is titled 'End Uses' and contains a table with columns: Name, Data Type, Saturation (%), Useful Energy Demand, and per. It lists 'Refineries (Main Process)' and 'Refineries (Aux. Uses)'. The right panel is titled 'Fuels In' and contains a table with columns: Name, Share (%), and Amount. It lists 'Crude Oil' and 'Refinery Feedstocks'. Below these, there is a 'Technologies' section with a table with columns: Name, Type, Share (%), Efficiency (%), Availability (%), Capacity, and Unit Consumption. It lists 'Main Process'. To the right of the technologies section is a 'Fuels Out' section with a table with columns: Name, Share (%), and Amount. It lists 'Refinery Gas', 'LPG', 'Gasoline', and 'Kerosene'.

Name	Data Type	Saturation (%)	Useful Energy Demand	per
Refineries (Main Process)	Final	(100...100)		
Refineries (Aux. Uses)	Final	(100...100)		

Name	Share (%)	Amount
Crude Oil	(100...84,2)	(1763,8...12830,1)
Refinery Feedstocks	(0...15,8)	(0...2407,5)

Name	Type	Share (%)	Efficiency (%)	Availability (%)	Capacity	Unit Consumption
Main Process	Secondary	(100...100)	(99,3...99,3)	(100...100)	(22500...22500)	

Name	Share (%)	Amount
Refinery Gas	(0...2,9)	(0...112)
LPG	(0...3,4)	(0...765)
Gasoline	(13,44...20)	(229...3188)
Kerosene	(4,38...8,6)	(74,9...1935)

**Εικόνα 4.4. Επεξεργαστής ιδιοτήτων ενός κόμβου**

Στη συνέχεια εισάγονται οι σύνδεσμοι του δικτύου, συνδέοντας με τον κέρσορα δύο επιθυμητούς κόμβους, αρκεί να έχουν ένα τουλάχιστον κοινό καύσιμο (στις εκροές του ενός και στις εισροές του άλλου). Παράλληλα, για το συγκεκριμένο σύνδεσμο καθορίζονται:

- το μεταφερόμενο καύσιμο,
- το βαθμό απωλειών και
- η προτεραιότητα παροχής και ζήτησης.

### 4.7.2 Δημιουργία Σεναρίων

Εφόσον ολοκληρωθεί η κατάρτιση του ενεργειακού ισοζυγίου για την περιοχή μελέτης, ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει στη δημιουργία και επίλυση των σεναρίων. Κάθε νέο σενάριο δημιουργείται, χρησιμοποιώντας ως πρότυπο το Σενάριο Βάσης, καθορίζοντας απλά το όνομά του. Αυτόματα δημιουργούνται χρονοσειρές για όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη των κόμβων μέχρι και το τελευταίο έτος της ανάλυσης. Η τιμή που λαμβάνουν ισούται με την τιμή του μεγέθους ( $t_b$ ) για το έτος βάσης.

**Populate Time Series**

**Historical Analysis**  
Enter the historical data for the current timeseries:

Year	Value
1960	0
1961	0
1962	0
1963	0
1964	0
1965	0
1966	51
1967	57
1968	63
1969	63
1970	66
1971	66
1972	59
1973	96
1974	90
1975	95
1976	95
1977	92
1978	89
1979	223
1980	203
1981	230

**Future Analysis**  
Please select the way you want to enter the data for the current timeseries:

Values (selected)  
Growth Rate  
Final Value (Linear)  
Intermediate Values (Linear)

between the base and the end

Year	Value
2009	232
2010	24
2011	42
2012	60
2013	78
2014	96
2015	114
2016	114
2017	113
2018	113
2019	112
2020	112

OK

Εικόνα 4.5. Επεξεργαστής χρονοσειρών

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τις τιμές αυτές μία προς μία. Παράλληλα, όμως, μπορεί να προχωρήσει σε τροποποίηση των χρονοσειρών επιλέγοντας μια από τις ακόλουθες μεθόδους (Εικόνα 4.5):

- Καθορισμός του ετήσιου ρυθμού αύξησης ( $\alpha$ ) του μεγέθους, ο οποίος ορίζεται ως  $\alpha = \frac{t_{i+1} - t_i}{t_{i+1}}$ , όπου  $t_i$ ,  $t_{i+1}$ , οι τιμές για τα έτη  $i$  και  $i+1$  αντίστοιχα. Για τον υπολογισμό των τιμών, θεωρείται ότι αυτές μεταβάλλονται γραμμικά.
- Καθορισμός της τιμής ( $t_f$ ) για το τελευταίο έτος της ανάλυσης ενώ με γραμμική παρεμβολή υπολογίζονται οι τιμές για τα υπόλοιπα έτη.

γ. Καθορισμός των τιμών για ενδιάμεσα έτη ( $t_i$ ), συμπεριλαμβανομένου και του τελευταίου έτους και στη συνέχεια με γραμμική παρεμβολή υπολογισμός των τιμών για τα υπόλοιπα έτη.

Πρέπει να τονιστεί ότι υπάρχει η δυνατότητα ορισμού των παραπάνω μεγεθών όχι με απλή αριθμητική τιμή αλλά με τη μορφή συναρτήσεων. Όλες οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στην μαθηματική έκφραση των συναρτήσεων θεωρούνται από το σύστημα ως εν δυνάμει αβέβαιες. Για το λόγο αυτό συγκεντρώνονται αυτόματα σε έναν πίνακα (Εικόνα 4.6), ο οποίος είναι ξεχωριστός για κάθε σενάριο.

Variable Name	Distribution	Mean	StDev	Min	Mode	Max	Variable Description
FinalEff	Normal	40	1	-1	0	1	Efficiency of Turbine I
FinalEff2	Normal	65	1	-1	0	1	Efficiency of Turbine II
ResGrRate	Normal	0,2	0,1	-1	0	1	Growth Rate of the Residential Sector
CapacityAdd	Triangular	500	1	500	600	700	Capacity Extension for Turbine I

**Εικόνα 4.6. Επεξεργαστής αβέβαιων παραμέτρων**

Για κάθε μια από τις παραμέτρους, ο χρήστης καλείται να ορίσει τη στατιστική κατανομή που περιγράφει τη συμπεριφορά της, μέσα από ένα καθορισμένο σύνολο (κανονική, τριγωνική, ομοιόμορφη), καθώς και τα χαρακτηριστικά της μέτρα. Οι παράμετροι αυτές βρίσκονται σε ένα πίνακα ο οποίος είναι ξεχωριστός για κάθε σενάριο. Με τον τρόπο αυτό ενσωματώνεται η αβεβαιότητα στην εξέλιξη των μεγεθών κατά την επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου.

Τέλος, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει και τη δομή του ενεργειακού συστήματος για κάθε σενάριο ξεχωριστά, εισάγοντας νέους κόμβους, τελικές χρήσεις ή τεχνολογίες.

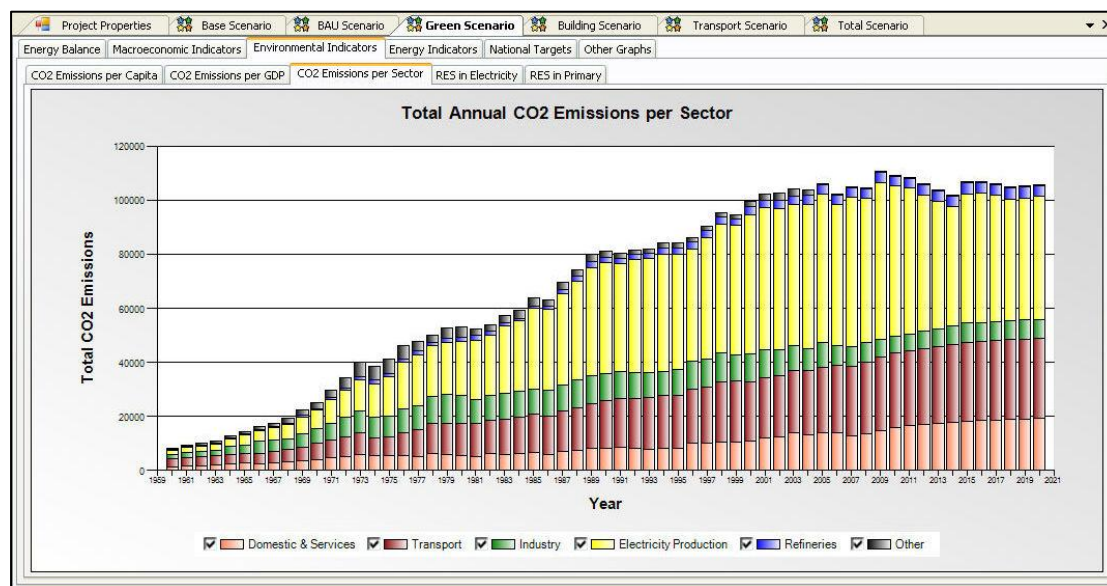
#### 4.7.3 Αποτελέσματα - Σύγκριση Σεναρίων

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων, ο χρήστης μπορεί να προχωρήσει σε εκτέλεση του αλγορίθμου επίλυσης, με ή χωρίς τη μέθοδο Monte Carlo. Η διαδικασία εκτέλεσης των υπολογισμών είναι ξεχωριστή για κάθε σενάριο.

Μετά την ολοκλήρωση της επαναληπτικής διαδικασίας επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου, στην κεντρική οθόνη εμφανίζονται τα αποτελέσματα (Εικόνα 4.7). Για κάθε σενάριο παρουσιάζεται υπό μορφή πίνακα το ενεργειακό ισοζύγιο για όλη την περίοδο μελέτης. Επίσης, για κάθε σενάριο ξεχωριστά απεικονίζονται σε γραφήματα:

- Μακροοικονομικά μεγέθη
- Περιβαλλοντικοί δείκτες
- Οικονομικοί δείκτες
- Εθνικοί ενεργειακοί στόχοι και

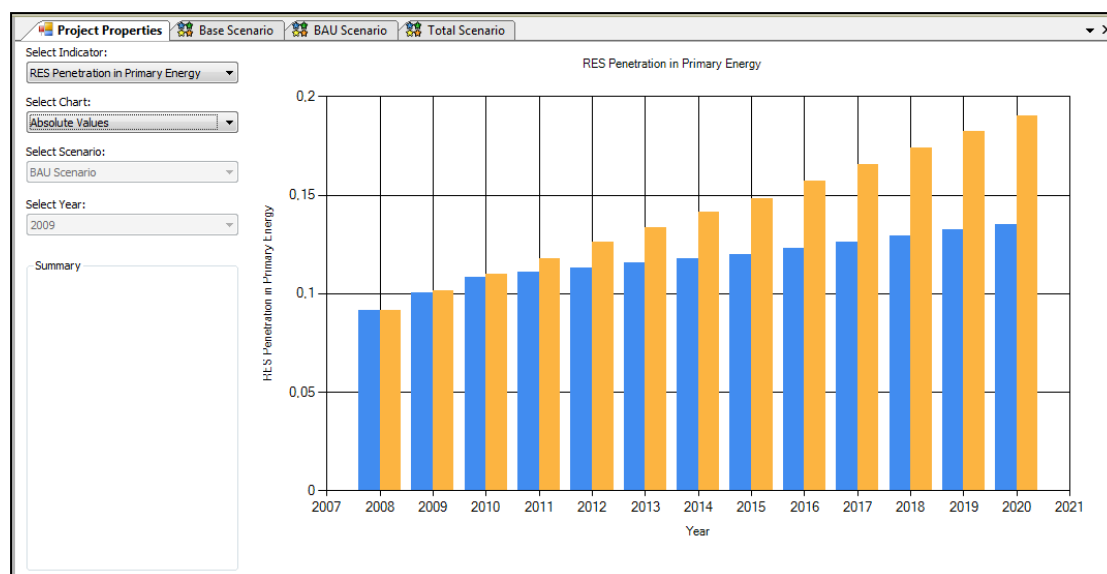
- Ενεργειακά μεγέθη που δεν εντάσσονται σε κάποια από τις προαναφερθείσες κατηγορίες.



Εικόνα 4.7. Τυπική οθόνη παρουσίασης αποτελεσμάτων

Τέλος, για το επιλεγμένο υποσύνολο δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης και τους εθνικούς στόχους, υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης:

- συγκριτικών διαγραμμάτων για όλα τα σενάρια ταυτόχρονα (Εικόνα 4.8) και
- αποτελεσμάτων με ενσωματωμένη την παράμετρο της αβεβαιότητας με τη μορφή ενός ιστογράμματος συχνότητας το οποίο περιλαμβάνει και τα περιγραφικά μέτρα κάθε μεταβλητής (μέση τιμή, διάμεσος, 1ο και 3ο τεταρτημόριο).



Εικόνα 4.8. Οθόνη παρουσίασης συγκριτικών αποτελεσμάτων

## 4.8 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάστηκε το εργαλείο του ενεργειακού σχεδιασμού που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής. Στην ενότητα 4.2 πραγματοποιήθηκε ιστορική αναδρομή από τα πρώτα υπολογιστικά εργαλεία, που εμφανίστηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 μέχρι και τη σημερινή εποχή, κατηγοριοποίηση των σύγχρονων εργαλείων ενεργειακού σχεδιασμού και παρουσίαση υπό μορφή πίνακα των βασικών χαρακτηριστικών των κυριότερων εξ αυτών.

Οι ενότητες 4.3-4.7 αναφέρθηκαν ενδελεχώς στο αναπτυχθέν υπολογιστικό εργαλείο. Η ενότητα 4.3 περιλαμβάνει μια γενική περιγραφή του, αναπτύχθηκε ο τρόπος επίλυσης που ακολουθεί και καταγράφηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά του, τα πλεονεκτήματα που προσφέρει στο χρήστη και τα καινοτόμα στοιχεία που εισάγει. Παράλληλα, έγινε εμβάθυνση στον τρόπο αντιμετώπισης των χαρακτηριστικών ενός ενεργειακού συστήματος και των βασικών εννοιών του ενεργειακού σχεδιασμού.

Στην ενότητα 4.4 έγινε μια σύντομη αναφορά στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του συστήματος. Παρουσιάστηκαν επιγραμματικά τα τρία κύρια υποσυστήματα του εργαλείου (περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη, αποθηκευτικά μέσα, ρουτίνες λειτουργιών) καθώς και ο τρόπος που επικοινωνούν και αλληλεπιδρούν ως ενιαίο σύνολο. Παράλληλα, απαριθμήθηκαν τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξή του και οι απαιτήσεις λογισμικού για την εκτέλεσή του.

Στην ενότητα 4.5 παρουσιάστηκε το πρώτο από τα τρία υποσυστήματα, το περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη. Καταγράφηκαν αναλυτικότερα τα πλεονεκτήματα που προσφέρει, ενώ μέσω της παράθεσης των τυπικών οθονών του συστήματος έγινε σαφής ο τρόπος εκτέλεσης των λειτουργιών.

Η ενότητα 4.6 αφιερώθηκε στην παρουσίαση των αποθηκευτικών μέσων, δηλαδή των βάσεων δεδομένων και των υπόλοιπων απαραίτητων αρχείων για την ομαλή λειτουργία του. Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε ήταν σύντομη ενώ η λεπτομερής παρουσίαση των βάσεων δεδομένων σε επίπεδο δομής και σχεδιασμού γίνεται στο Παράρτημα 1.

Η ενότητα 4.7 επικεντρώθηκε στη λειτουργία του συστήματος. Αναλύθηκαν λεπτομερώς τα βήματα που ακολουθεί ο χρήστης, από τη δημιουργία μιας νέας περιοχής και το σχεδιασμό του ενεργειακού συστήματος αναφοράς της μέχρι την εκτέλεση των υπολογισμών και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Παράλληλα, παρατέθηκαν και επεξηγήθηκαν οι αντίστοιχες οθόνες του συστήματος.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί θα γίνει η παρουσίαση του εργαλείου αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων με την εφαρμογή της ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας και της ανάλυσης αυξητικού κόστους. Ακολουθείται η ίδια δομή με το παρόν κεφάλαιο με το βάρος να δίνεται στη λειτουργία του συστήματος.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΥ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

---

## 5.1 Εισαγωγή

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υλοποίηση του λογισμικού αξιολόγησης των εναλλακτικών επεμβάσεων στο ενεργειακό σύστημα. Η λογική που ακολουθείται είναι όμοια με του κεφαλαίου 4. Αρχικά, παρουσιάζονται τα υφιστάμενα εργαλεία, εντοπίζοντας τις ελλείψεις που υπάρχουν και στη συνέχεια αναλύεται το εργαλείο που αναπτύχθηκε, δίνοντας έμφαση στις λειτουργίες του και τις καινοτομίες που εισάγει.

## 5.2 Υφιστάμενα Εργαλεία

Ο αριθμός των υφισταμένων εργαλείων, τα οποία εκτελούν την ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας στη λήψη αποφάσεων είναι περιορισμένος. Επιπρόσθετα, τα περισσότερα εξ αυτών εξειδικεύονται σε προβλήματα ενός συγκεκριμένου τομέα και δεν έχουν γενική χρήση. Το πρώτο εργαλείο που δημιουργήθηκε για τη λήψη αποφάσεων σε περιβαλλοντικά προβλήματα, με τη χρήση της ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας, ήταν το *ECO-Easy*, το οποίο χρησιμοποιούσε τον αλγόριθμο που παρουσιάστηκε στην Εικόνα 3.3. Πρόκειται για μια εφαρμογή που αναπτύχθηκε σε περιβάλλον MS-DOS από το Σώμα Αξιολόγησης Επενδύσεων Ερευνητικών Προγραμμάτων του Αμερικάνικου Στρατού. Η ανάπτυξή του αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία δύο άλλων εργαλείων που υλοποιούν τον ίδιο αλγόριθμο.

Το πρώτο από αυτά είναι το *IWR Planning Suite* (ή *IWR Plan*) το οποίο αναπτύχθηκε από την Υπηρεσία Υδατικών Πόρων του Σώματος Μηχανικών του Αμερικάνικου Στρατού, με πιο πρόσφατη έκδοση την τέταρτη το 2006 (Rogers and Robinson, 2006). Πέραν της εφαρμογής του αλγόριθμου, το εργαλείο αυτό ενσωματώνει πολλαπλά σενάρια και ανάλυση ευαισθησίας για τις μεταβλητές που προσθέτουν αβεβαιότητα στην τελική απόφαση.

Το δεύτερο έχει αναπτυχθεί από τη ΜΔΕΠΣ στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας «Ανάπτυξη εργαλείου για την εφαρμογή της ανάλυσης κόστους-αποδοτικότητας υπό συνθήκες αβεβαιότητας» (Ντεμίρη, 2005). Η σημαντικότερη καινοτομία του ήταν η προσθήκη της ανάλυσης επικινδυνότητας με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo χωρίς ωστόσο να υποστηρίζεται η ανάλυση της επίδρασης κάθε παραμέτρου ξεχωριστά, αλλά μόνο η συνολική αβεβαιότητα του κόστους και της αποτελεσματικότητας.

Τέλος, ένα άλλο εργαλείο είναι το *Cost Effectiveness Tool*, το οποίο, για την αξιολόγηση εναλλακτικών επενδυτικών σχεδίων, εφαρμόζει την ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας χωρίς να τη συνδυάζει με την ανάλυση αυξητικού κόστους. Λαμβάνει υπόψη, όμως, τους κινδύνους που οφείλονται τόσο στον ανθρώπινο παράγοντα όσο και στο περιβάλλον. Αναπτύσσεται από το Υπουργείο Εμπορίου των

ΗΠΑ και βρίσκεται στην τέταρτη έκδοση (Chapman and Rushing, 2008). Πραγματοποιεί ανάλυση ευαισθησίας για επιλεγμένες μεταβλητές εισόδου και ανάλυση επικινδυνότητας με τη χρήση της μεθόδου Monte Carlo.

### 5.3 Γενική Περιγραφή

Το λογισμικό που αναπτύσσεται στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής εφαρμόζει, σε συνέχεια των προηγούμενων εργασιών της ΜΔΕΠΣ, την ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας και την ανάλυση αυξητικού κόστους. Χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος που προτείνεται από τον Orth (1994), ενσωματώνοντας όμως σε αυτόν την ανάλυση επικινδυνότητας με εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo, όπως παρουσιάστηκε στην Ενότητα 3.4. Η καινοτομία που εισάγει σε σχέση με τα υπόλοιπα μοντέλα που εφαρμόζουν το συγκεκριμένο αλγόριθμο είναι ότι ορίζονται συναρτήσεις που περιγράφουν το κόστος και την αποτελεσματικότητα και εξετάζεται η επίδραση της αβεβαιότητας κάθε παραμέτρου εισόδου ξεχωριστά και όχι μόνο της συνολικής αποτελεσματικότητας και του κόστους. Παράλληλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση εναλλακτικών δράσεων με εφαρμογή σε οποιοδήποτε επιστημονικό πεδίο, καθώς δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ορίσει ο ίδιος τις συναρτήσεις κόστους και αποτελεσματικότητας.

Μια επιπλέον καινοτομία του είναι η διαμόρφωση του προτεινομένου σχεδίου δράσης λαμβάνοντας υπόψη ένα από τα ακόλουθα κριτήρια:

(α) **Ανωμαλία στην καμπύλη αυξητικού κόστους.** Απότομες αλλαγές στην καμπύλη, όπως μια ασυνέχεια ή αιχμή, συνήθως υποδηλώνουν μια ξαφνική άνοδο στο αυξητικό κόστος και άρα οικονομικά ασύμφορη επέμβαση. Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει τη μέγιστη τιμή της ποσοστιαίας αύξησης μεταξύ διαδοχικών δράσεων την οποία θεωρεί αποδεκτή.

(β) **Στόχος αποτελεσματικότητας.** Ανώτατο ή κατώτατο επιθυμητό όριο στην αποτελεσματικότητα, που μπορεί να οφείλεται στον στόχο που έχει τεθεί πριν την πραγματοποίηση της ανάλυσης.

(γ) **Περιορισμός κόστους.** Ανώτατο όριο στο κόστος υλοποίησης των δράσεων, το οποίο οφείλεται σε περιορισμένο διαθέσιμο κεφάλαιο.

Τέλος, ελέγχονται όλες οι παράμετροι και εντοπίζονται εκείνες που επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό το τελικό αποτέλεσμα με στόχο την περαιτέρω μελέτη της συμπεριφοράς τους.

### 5.4 Αρχιτεκτονική του Συστήματος

#### 5.4.1 Γενικά Στοιχεία

Τα τρία κύρια τμήματα του συστήματος είναι τα εξής:

- Περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη
- Αποθηκευτικά μέσα



- Κώδικας εκτέλεσης των λειτουργιών

Το περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη είναι το σκέλος του λογισμικού που βλέπει ο χρήστης και με το οποίο αλληλεπιδρά με τα υπόλοιπα τμήματα του εργαλείου. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του είναι η υλοποίηση όλων των σταδίων του αλγορίθμου με τη μορφή ιεραρχικών επιλογών, συνδέοντας έτσι τη λειτουργία του συστήματος με την εφαρμογή του αλγορίθμου αξιολόγησης. Φαινομενικά οι ιεραρχικές επιλογές περιορίζουν την ελευθερία του χρήστη, αφού είναι αναγκασμένος να ακολουθήσει μια συγκεκριμένη σειρά βημάτων προκειμένου να ορίσει και να επιλύσει το πρόβλημα. Ουσιαστικά όμως, αυτό που αντιλαμβάνεται ο χρήστης είναι μια σειρά διεργασιών που τον οδηγούν σε αυτό που επιθυμεί. Έτσι, το σύστημα αποδεικνύεται όχι μόνο χρηστικό αλλά και εύκολο στην κατανόησή του.

Τα αποθηκευτικά μέσα είναι δευτερεύουσας σημασίας αφού στην πραγματικότητα το μόνο που αποθηκεύεται σε αρχεία κειμένου είναι τα δεδομένα εισόδου, δηλαδή το σύνολο των εναλλακτικών δράσεων με τη μαθηματική έκφραση για την αποτελεσματικότητα και το κόστος, καθώς και οι στατιστικές κατανομές που περιγράφουν τις αβέβαιες παραμέτρους. Δίνεται, βέβαια, η δυνατότητα στο χρήστη να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα, γραφήματα και πίνακες, σε αρχεία εικόνων και φύλλα εργασίας του Microsoft® Excel™ αντίστοιχα, για περαιτέρω χρήση και επεξεργασία.

Το κεντρικό κομμάτι του συστήματος είναι το σύνολο του κώδικα που εκτελεί τις ακόλουθες βασικές λειτουργίες:

- Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας
- Ανάλυση αυξητικού κόστους
- Ανάλυση επικινδυνότητας
- Διαμόρφωση του τελικού σχεδίου δράσης

Αναλυτικά η υλοποίηση των ρουτινών λειτουργίας του λογισμικού παρουσιάζεται στην Ενότητα 5.5.

#### 5.4.2 Πλατφόρμα Ανάπτυξης

Το λογισμικό επίλυσης του ενεργειακού συστήματος είναι μια εφαρμογή των Microsoft® Windows™, που αναπτύχθηκε με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic .NET. Για την γραφική απεικόνιση των δεδομένων εισόδου και των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται το πρόσθετο ανοιχτού κώδικα ZedGraph ενώ για τους πίνακες το πρόσθετο ανοιχτού κώδικα XPTTable.

Επιπλέον, χρησιμοποιείται μια βιβλιοθήκη που έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο παλαιότερης ερευνητικής εργασίας από τη Μονάδα Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων και περιέχει τις πιο γνωστές στατιστικές κατανομές και τις ιδιότητες τους καθώς και μια γεννήτρια τυχαίων τιμών για κάθε μια από αυτές.

Οι απαιτήσεις λογισμικού για την εκτέλεση του εργαλείου είναι λειτουργικό σύστημα: Microsoft® Windows XP Service Pack 2 (32bit ή 64bit) ή Microsoft®

Windows Vista (32bit ή 64bit) ή Microsoft® Windows 7 (32bit or 64bit) με εγκατεστημένο το πλαίσιο προγραμματισμού .NET (Έκδοση 2.0 ή νεότερη)

## 5.5 Λειτουργία του Συστήματος

Καθώς ο χρήστης ξεκινάει τη λειτουργία του συστήματος, καλείται να ορίσει το σύνολο των εναλλακτικών πρωτογενών δράσεων. Εισάγει τον όνομά τους, μια περιγραφή και τις αναλυτικές μαθηματικές εκφράσεις που περιγράφουν το κόστος και την αποτελεσματικότητα κάθε μίας από αυτές (Εικόνα 5.1).

**1. Define all the Available Primary Measures**

ID	Name	Description	Cost Expression	Effectiveness Expression	Mean Cost	Mean Effectiveness
1	1FO	Fuel Oil Plant	$750000 * 0.069 + 9050 + 4194 + \text{DieselRate} * 582990 / 100 + \text{CO2Rate} * 3146$	3495	419409,00	3495,00
2	2NG	Natural Gas Plant	$300000 * 0.069 + 8950 + 5696 + \text{NatGasRate} * 445944 / 100 + \text{CO2Rate} * 1519$	3797	333292,40	3797,00
3	4BI	Biomass Plant	$1000000 * 0.069 + 10000 + 3574 + \text{BiomassRate} * 1261440 / 100 + \text{CO2Rate} * 21$	2978	713714,00	2978,00
4	5WT	Wind Turbine	$2040000 * 0.078 + 10030$	$b * 2177 / 100$	169150,00	2177,00
5	6PV	Photovoltaics	$800000 * 0.078 + 944$	275	63344,00	275,00
6	3CC	Natural Gas Plant Combined Cycle	$230000 * 0.069 + 10800 + 7215 + \text{NatGasRate} * 343034 / 100 + \text{CO2Rate} * 1329$	3797	266285,40	3797,00

**2. Execute the Algorithm**

Without Risk Analysis

With Risk Analysis using Monte Carlo for: 1 Iterations

**3. View the Results**

View the Results Step by Step

Proceed to the Final Results

Status: Start time: - End time: -

Εικόνα 5.1. Αρχική οθόνη του εργαλείου αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων

**Edit the Public Variables**

**List of all the public variables**

Var Name	Distribution	Mean	StDev	Min	Mode	Max
DieselRate	Normal	50	1E-32	-1	0	1
CO2Rate	Triangular	0	1	0	20	40
NatGasRate	Triangular	0	1	40	60	70
BiomassRate	Triangular	0	1	30	50	80
b	Triangular	0	1	1	100	101

**Edit the Available Combinations**

**List of all the acceptable combinations**

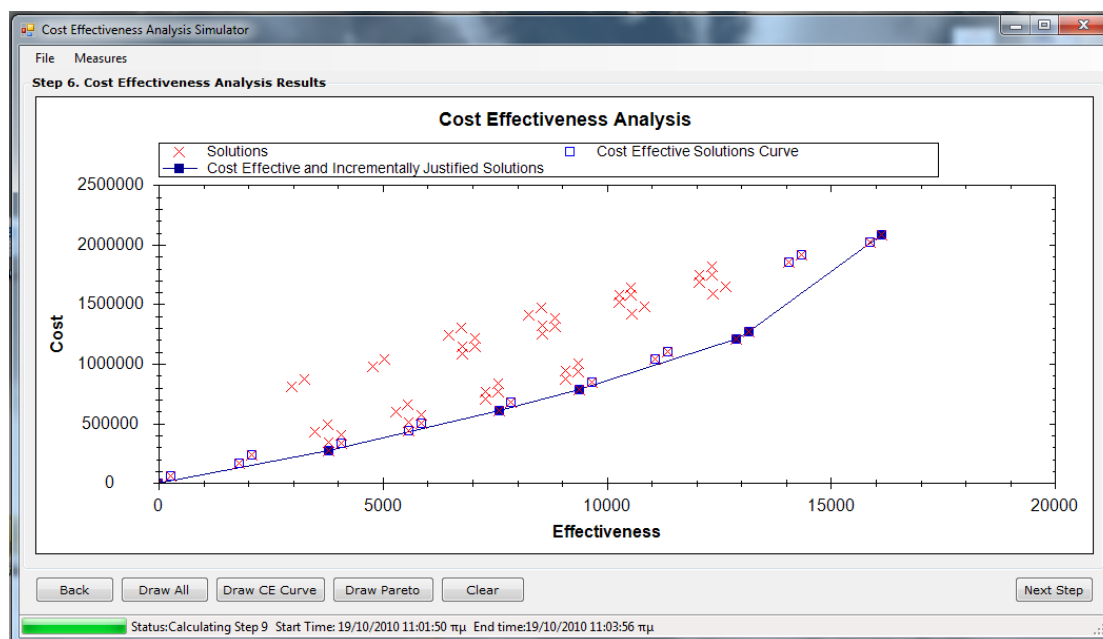
Measures	1FO	2NG	4BI	5WT	6PV	3CC
1FO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2NG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4BI	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5WT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6PV	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3CC	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Close the form and return to the Measures' Editor

Help Close the form and return to the Measures' Editor

Status:

Εικόνα 5.2. (α) Επεξεργασία «αβέβαιων» παραμέτρων και (β) καθορισμός των εφικτών συνδυασμών μεταξύ των πρωτογενών μέτρων



**Εικόνα 5.3.** Αποτελέσματα ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας χωρίς την επίδραση της αβεβαιότητας

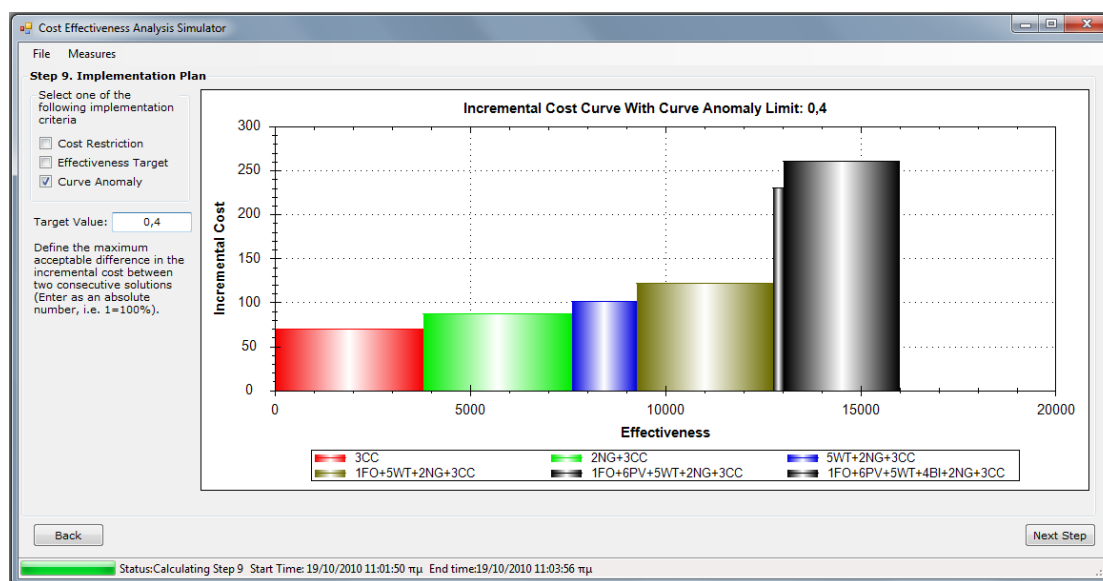
Το σύστημα αναγνωρίζει όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές που εμφανίζονται και υποχρεώνει το χρήστη, πριν προχωρήσει στην εκτέλεση του αλγορίθμου, να δηλώσει τη στατιστική κατανομή που περιγράφει κάθε μία από αυτές (Εικόνα 5.2.α). Παράλληλα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει τους περιορισμούς που υφίστανται στους πιθανούς συνδυασμούς μεταξύ των δράσεων (Εικόνα 5.2.β) με προεπιλεγμένη ρύθμιση να μην υπάρχει κάποιος περιορισμός.

No of Appearances	Action0	Action1	Action2	Action3	Action4	Action5	Action6
590 (29,5%)	No action	3CC	2NG+3CC	5WT+2NG+3CC	1FO+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+4BI+2NG+3CC
428 (21,4%)	No action	3CC	5WT+3CC	5WT+2NG+3CC	1FO+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+4BI+2NG+3CC
356 (17,8%)	No action	3CC	2NG+3CC	1FO+2NG+3CC	1FO+5WT+2NG+3CC	1FO+5WT+4BI+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+4BI+2NG+3CC
234 (11,7%)	No action	3CC	2NG+3CC	1FO+2NG+3CC	1FO+4BI+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+4BI+2NG+3CC
197 (9,85%)	No action	3CC	2NG+3CC	1FO+2NG+3CC	1FO+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+4BI+2NG+3CC
132 (6,6%)	No action	5WT	5WT+3CC	5WT+2NG+3CC	1FO+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+4BI+2NG+3CC
63 (3,15%)	No action	3CC	2NG+3CC	1FO+2NG+3CC	1FO+4BI+2NG+3CC	1FO+5WT+4BI+2NG+3CC	1FO+6PV+5WT+4BI+2NG+3CC

**Εικόνα 5.4.** Σύνολο εναλλακτικών «ιδανικών» λύσεων και συχνότητας εμφάνισης τους

Τελευταίο βήμα είναι ο καθορισμός του αριθμού των επαναλήψεων που θα πραγματοποιηθούν για την εφαρμογή της μεθόδου Monte Carlo. Ακολουθεί η

εκτέλεση του αλγορίθμου, όπως αυτός παρουσιάστηκε στην Ενότητα 3.4, και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Καταγράφονται αναλυτικά όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί, με τη μέση, τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή κόστους και αποτελεσματικότητας, υπό τη μορφή πίνακα καθώς και η διαδοχική απόρριψη ορισμένων εξ αυτών μέχρι τον καθορισμό του άριστου συνόλου λύσεων. Στη συνέχεια σχεδιάζεται το διάγραμμα κόστους-αποτελεσματικότητας με και χωρίς την επίδραση της αβεβαιότητας (Εικόνα 5.3). Στη δεύτερη περίπτωση, οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται με βάση τη μέση τιμή όλων των ανεξάρτητων μεταβλητών.

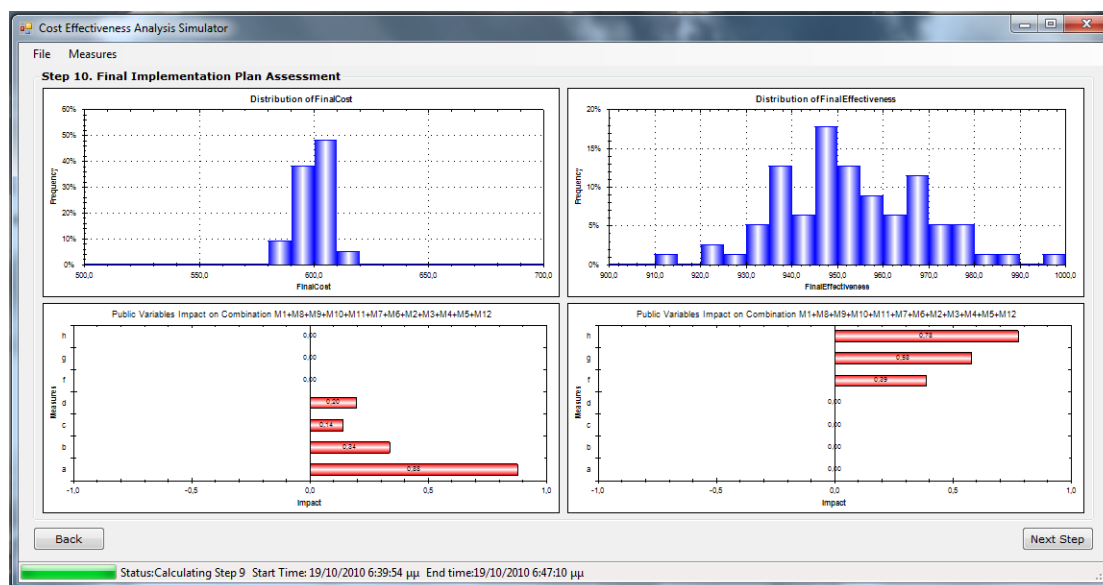


**Εικόνα 5.5. Διαμόρφωση του τελικού σχεδίου δράσης με βάση της καμπύλη αυξητικού κόστους**

Όλοι οι εναλλακτικοί «ιδανικοί» συνδυασμοί λύσεων που προέκυψαν στο σύνολο των επαναλήψεων της ανάλυσης Monte Carlo παρουσιάζονται με τη μορφή πίνακα (Εικόνα 5.4). Περιλαμβάνεται τόσο η αλληλουχία των διαφόρων δράσεων στη διαμόρφωση του συνδυασμού λύσεων όσο και η συχνότητα εμφάνισης καθενός στο σύνολο των επαναλήψεων.

Ο χρήστης επιλέγει έναν από όλους και προχωρά στον καθορισμό του τελικού σχεδίου δράσης χρησιμοποιώντας κάποιο από τα τρία προαναφερθέντα κριτήρια (ανωμαλία στην καμπύλη αυξητικού κόστους, στόχος αποτελεσματικότητας, περιορισμός κόστους) και με τη βοήθεια της καμπύλης αυξητικού κόστους. Οι λύσεις που δεν συμπεριλαμβάνονται σε αυτό σημειώνονται με μαύρο χρώμα (Εικόνα 5.5).

Μετά τον καθορισμό του τελικού σχεδίου δράσης, πραγματοποιείται μια σύντομη καταγραφή των σημαντικότερων χαρακτηριστικών του (Εικόνα 5.6). Παρουσιάζεται η κατανομή του κόστους και της αποτελεσματικότητάς του ενώ αναλύεται και η επίδραση των αβέβαιων ανεξάρτητων παραμέτρων στα δύο αυτά μεγέθη. Το τελευταίο αυτό κομμάτι υλοποιείται με τη βοήθεια ενός διαγράμματος tornado στο οποίο απεικονίζονται οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής (κόστος ή αποτελεσματικότητα) και των ανεξάρτητων παραμέτρων και εντοπίζονται εκείνες με τη μεγαλύτερη θετική ή αρνητική επίδραση.



Εικόνα 5.6. Αξιολόγηση του τελικού σχεδίου δράσης

## 5.6 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο, μετά από μια σύντομη επισκόπηση των υφισταμένων εργαλείων αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων με τη χρήση της μεθόδου κόστους αποτελεσματικότητας, παρουσιάστηκε αναλυτικά το αναπτυχθέν εργαλείο. Αναλύθηκαν τα τρία βασικά υποσυστήματα του δίνοντας ιδιαίτερο βάρος στις βασικές του λειτουργίες και στον τρόπο υλοποίησης και εκτέλεσής τους.

Στην ενότητα 5.2 έγινε μια επισκόπηση των υφιστάμενων εργαλείων, τα οποία χρησιμοποιούνται την ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας σε παραπλήσια επιστημονικά πεδία και προβλήματα. Στη συνέχεια, στην ενότητα 5.3 περιγράφηκε το αναπτυχθέν υπολογιστικό εργαλείο, τονίζοντας τις καινοτομίες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του.

Η ενότητα 5.4 επικεντρώθηκε στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του συστήματος. Παρουσιάστηκαν τα 3 κύρια υποσυστήματα του (περιβάλλον επικοινωνίας με το χρήστη, αποθηκευτικά μέσα, ρουτίνες λειτουργιών), δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στα δύο πρώτα. Επιπροσθέτως, απαριθμήθηκαν τα προγράμματα και τα πρόσθετα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξή του και οι απαιτήσεις λογισμικού για την εκτέλεσή του.

Η ενότητα 5.5 αφιερώθηκε εξ ολοκλήρου στην ανάλυση του τρίτου εκ των υποσυστημάτων του εργαλείου, τις ρουτίνες των λειτουργιών. Αναλύθηκαν λεπτομερώς τα βήματα που ακολουθεί ο χρήστης μέσα από καθορισμένες ιεραρχικές επιλογές για την αξιολόγηση των εναλλακτικών δράσεων. Παράλληλα, παρατέθηκαν και επεξηγήθηκαν οι αντίστοιχες οθόνες του συστήματος.

Με το κεφάλαιο αυτό ολοκληρώνεται η παρουσίαση της μεθοδολογικής προσέγγισης και των εργαλείων που αναπτύχθηκαν για την υποστήριξή της. Στα κεφάλαια που ακολουθούν, στο δεύτερο μέρος της παρούσας διατριβής, περιγράφεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας στο ενεργειακό σύστημα της Ελλάδας για την

πραγματοποίηση ενεργειακού σχεδιασμού στο πλαίσιο των εθνικών στόχων που έχουν τεθεί για το 2020.

ΜΕΡΟΣ Β  
ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΕΛΛΑΔΑ





# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

---

## 6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, το οποίο θα αποτελέσει τη μελέτη περίπτωσης για την εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου που συζητήθηκε στο κεφάλαιο 3. Στόχος είναι η ανάλυση της πορείας του ελληνικού ενεργειακού συστήματος τα τελευταία 50 χρόνια, η εκτίμηση της εξέλιξης που αναμένεται να έχει την επόμενη δεκαετία καθώς και η διαμόρφωση ενός συνολικού σχεδίου δράσης για την επίτευξη των εθνικών στόχων και την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η μελέτη του συστήματος στηρίζεται σε μια αρκετά μεγάλη χρονική περίοδο, στη διάρκεια της οποίας συνέβησαν σημαντικά πολιτικά, οικονομικά αλλά και κοινωνικά γεγονότα τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Ως έτος ολοκλήρωσης της μελέτης καθορίστηκε το 2020, που αποτελεί τη χρονιά ολοκλήρωσης των δράσεων που απορρέουν τόσο από την εθνική όσο και από την ευρωπαϊκή ενεργειακή και περιβαλλοντική πολιτική.

Στις επόμενες παραγράφους υλοποιούνται τα προαπαιτούμενα βήματα για την εφαρμογή της μεθοδολογίας. Καταγράφονται όλες οι διεργασίες που συμμετείχαν διαχρονικά στην παραγωγή και μετατροπή της ενέργειας, όλες οι ενεργειακές μορφές και τα χαρακτηριστικά τους και σχεδιάζεται το ενεργειακό σύστημα αναφοράς της χώρας. Αναλύεται η υφιστάμενη ελληνική και ευρωπαϊκή ενεργειακή νομοθεσία και καθορίζεται το σύνολο των δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης που θα χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του συστήματος.

## 6.2 Γενική Εικόνα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με ιδιαίτερα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (πολλά νησιά, ορεινοί όγκοι) που δημιουργούν ανομοιομορφία στην κατανομή του πληθυσμού. Άμεσο επακόλουθο είναι οι ιδιαίτερες δυσκολίες στη δημιουργία υποδομών για την ανάπτυξη της χώρας. Οι κύριες οικονομικές δραστηριότητες της Ελλάδας είναι η ναυτιλία και ο τουρισμός, με ένα μεγάλο μέρος του πληθυσμού να απασχολείται στο δημόσιο τομέα και στις υπηρεσίες ενώ χαμηλότερο είναι το ποσοστό των εργαζομένων στη βιομηχανία και στον αγροτικό τομέα.

Η σημασία της αποτελεσματικής διαχείρισης της ενέργειας άρχισε να γίνεται αντιληπτή στη χώρα μας κυρίως μετά την περίοδο 1973-1974, όταν σημειώθηκε η πρώτη διεθνής ενεργειακή κρίση, η οποία συνοδεύτηκε από την απότομη αύξηση των τιμών του πετρελαίου. Οι ενεργειακές πολιτικές που υιοθετήθηκαν από το σημείο εκείνο και μετά είχαν ως στόχο τη μείωση της εξάρτησης της χώρας από το πετρέλαιο και την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, τη δημιουργία έργων υποδομής

για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την ενεργειακή διασύνδεσή της με τις γειτονικές χώρες (Τίγκας, 2005).

Τα τελευταία χρόνια η περιβαλλοντική διάσταση της χρήσης ενέργειας γίνεται αντικείμενο ιδιαίτερης προσοχής. Οι εθνικές πολιτικές εναρμονίζονται με την Ευρωπαϊκή Ενεργειακή Πολιτική και το θεσμικό πλαίσιο που διαμορφώνεται σε διεθνές επίπεδο. Η μεγιστοποίηση της αξιοποίησης των εγχώριων ενεργειακών πηγών και η μείωση της εξάρτησης της χώρας από τις εισαγωγές παραμένουν δύο από τους βασικούς άξονες της ενεργειακής στρατηγικής. Σε αυτούς έρχεται να προστεθεί η αποδοτικότερη, αλλά και ταυτόχρονα περιβαλλοντικά φιλικότερη, χρήση της ενέργειας (ΣΕΕΣ, 2008). Στον Πίνακα 6.1 συνοψίζονται τα σημαντικότερα γεγονότα, εθνικά και διεθνή, που επηρέασαν, άλλα λιγότερο και άλλα περισσότερο, την Ελλάδα τα τελευταία 50 χρόνια.

**Πίνακας 6.1. Σημαντικότερα γεγονότα των τελευταίων 50 ετών που επηρέασαν την Ελλάδα**

Έτος	Περιγραφή
<b>1967 - 1974</b>	Περίοδος της Επταετίας - Δικτατορικό Καθεστώς
<b>11/6/1975</b>	Θεμελίωση της 3 <sup>ης</sup> Ελληνικής Δημοκρατίας
<b>1973 &amp; 1979</b>	Διεθνείς Πετρελαϊκές Κρίσεις
<b>1981</b>	Είσοδος στην Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα
<b>1989</b>	Νόμος Απλής Αναλογικής/Τριπλή Εκλογική Αναμέτρηση
<b>1997</b>	Ανάληψη των Ολυμπιακών Αγώνων
<b>2001</b>	Είσοδος στην Οικονομική Νομισματική Ένωση
<b>2004</b>	Διεξαγωγή των Ολυμπιακών Αγώνων
<b>2009-Σήμερα</b>	Οικονομική και Χρηματοπιστωτική Κρίση

### 6.3 Πηγές Δεδομένων

Για την προσομοίωση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος αναζητήθηκαν ενεργειακά, οικονομικά και κοινωνικά δεδομένα για όλη την περίοδο μελέτης. Οι πηγές των δεδομένων αυτών μπορεί να χωριστούν σε έξι μεγάλες κατηγορίες:

- Κρατικές Υπηρεσίες
- Διεθνείς Οργανισμοί
- Ενεργειακές Επιχειρήσεις
- Ιδιωτικοί οργανισμοί
- Επιστημονικά άρθρα και μελέτες
- Άρθρα του ημερήσιου τύπου

### 6.3.1 Κρατικές Υπηρεσίες

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι εξής υπηρεσίες:

- Το **Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής** το οποίο προήλθε από τη συγχώνευση του Υπουργείου Ανάπτυξης και του Υπουργείου Περιβάλλοντος. Η συγχώνευση των δύο υπουργείων η οποία πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διατριβής, είχε ως αποτέλεσμα τη συνύπαρξη τριών ενεργών δικτυακών τόπων ([www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr), [www.ypan.gr](http://www.ypan.gr), [www.minenv.gr](http://www.minenv.gr)). Η μετάπτωση των δεδομένων στο δικτυακό τόπο του νέου υπουργείου ([www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)) δεν έχει ολοκληρωθεί με συνέπεια τα απαιτούμενα δεδομένα να βρίσκονται και στις τρεις ιστοσελίδες.
- Η **Ελληνική Στατιστική Αρχή** (πρώην Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας), η οποία διατηρεί τον ίδιο δικτυακό τόπο ([www.statistics.gr](http://www.statistics.gr)), και μετά τη μετεξέλιξή της.
- Το **Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών**, το οποίο είναι υπεύθυνο για την καταγραφή των εκπεμπόμενων ρύπων για ένα μεγάλο μέρος της χρονικής περιόδου μελέτης.
- Το **Συμβούλιο Εθνικής Ενεργειακής Στρατηγικής**, ένας κρατικός φορέας που συστάθηκε το 2006 με στόχο την πραγματοποίηση του Μακροχρόνιου Ενεργειακού Σχεδιασμού της χώρας σε ετήσια βάση.

Η αξιοπιστία της στατιστικής πληροφορίας που παρέχουν οι παραπάνω κρατικές υπηρεσίες δεν μπορεί να αμφισβητηθεί, καθώς πρόκειται για επίσημους φορείς του ελληνικού κράτους. Τα παρεχόμενα όμως στατιστικά δεδομένα εμφανίζουν ανομοιογένεια και οι χρονοσειρές ασυνέχεια. Να σημειωθεί ότι η κατάσταση ήταν ακόμα πιο δύσκολη κατά την περίοδο που δεν υπήρχαν ψηφιακά αρχεία δεδομένων.

### 6.3.2 Διεθνείς Οργανισμοί

Δεδομένα που ικανοποιούν τις ανάγκες της παρούσας διατριβής συλλέγονται επίσης από την **Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat)**. Διαθέτει λιγότερα δεδομένα από τις αντίστοιχες ελληνικές υπηρεσίες είναι όμως καλύτερα οργανωμένα, σε κοινές μονάδες μέτρησης και οι χρονοσειρές εμφανίζουν συνέχεια.

### 6.3.3 Ενεργειακές Επιχειρήσεις

Οι ιστοσελίδες των τριών κυριοτέρων ενεργειακών επιχειρήσεων (**Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, Δημόσια Επιχείρηση Αερίου, Ελληνικά Πετρέλαια**) χρησιμοποιήθηκαν ως πηγή για την εύρεση ιστορικών δεδομένων, σχετικών με τις αντίστοιχες διεργασίες.

### 6.3.4 Ιδιωτικοί οργανισμοί

Στην προσπάθεια να συμπληρωθούν οι προβλέψεις των κρατικών υπηρεσιών σχετικά με τη μελλοντική εξέλιξη του ενεργειακού συστήματος καθώς και οι προτάσεις τους

για τη διαμόρφωση της εθνικής ενεργειακής στρατηγικής αναζητήθηκαν αντίστοιχες μελέτες που έχουν εκπονηθεί από ιδιωτικές επιχειρήσεις και οργανισμούς. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν εκθέσεις των περιβαλλοντικών οργανώσεων (Greenpeace και WWF) καθώς και της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ).

### **6.3.5 Επιστημονικά άρθρα και μελέτες**

Σημαντικό πλήθος ενεργειακών και οικονομικών ιστορικών δεδομένων σχετικών με το ελληνικό ενεργειακό σύστημα για την περίοδο 1960-1990 αντλήθηκε από τη διδακτορική διατριβή «Χρονική και Χωρική Ανάλυση της Χρήσης Ενέργειας και των Συνεπαγόμενων Εκπομπών Αερίων Ρύπων κατά την Περίοδο 1960-1990 στην Ελλάδα» (Τσιλιγκιρίδης, 1995). Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκαν επιστημονικά άρθρα τα οποία καταγράφονται λεπτομερώς στη βιβλιογραφία της παρούσας διατριβής.

### **6.3.6 Άρθρα και αποσπάσματα του ημερήσιου τύπου**

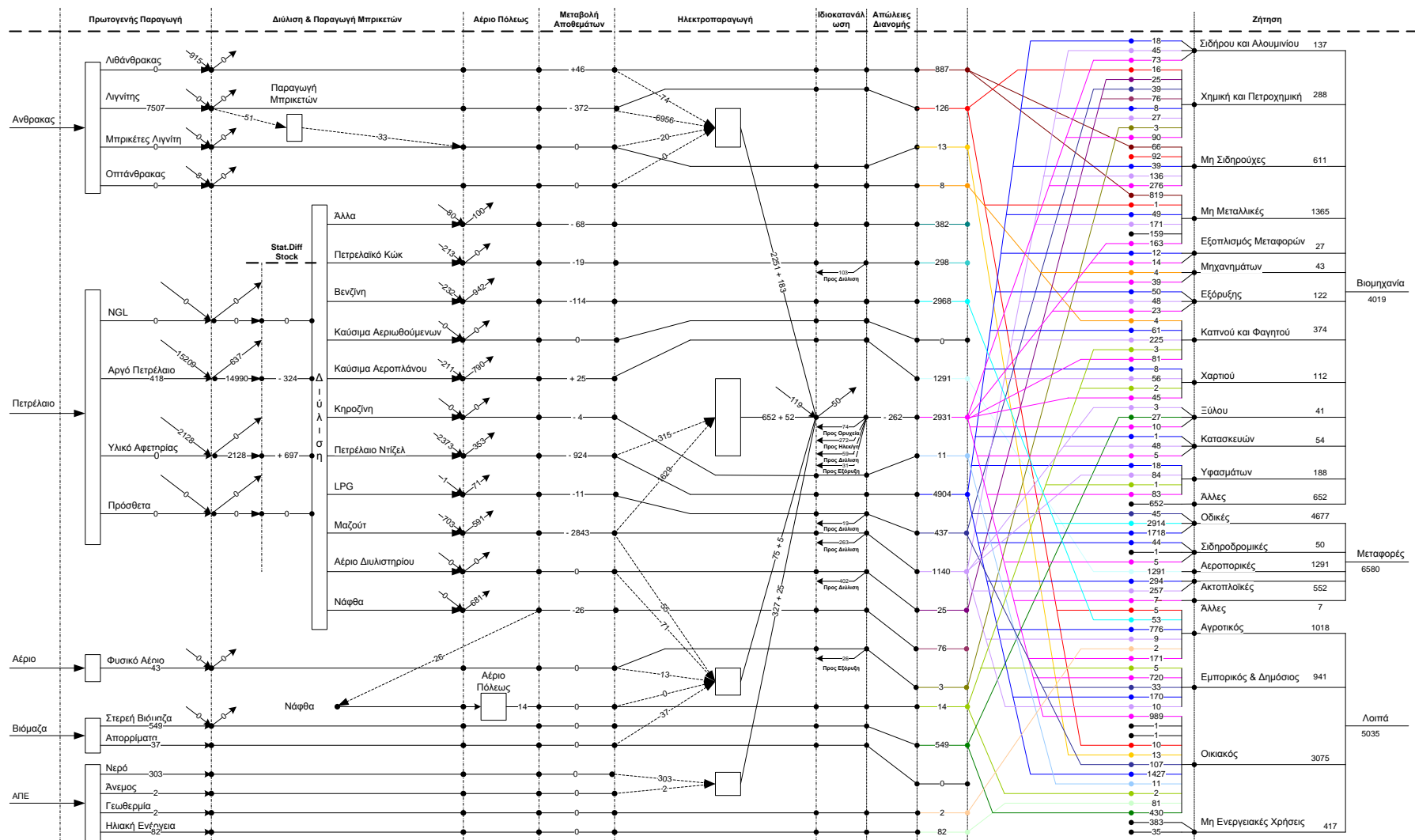
Τα σχετικά άρθρα του ημερήσιου και του εβδομαδιαίου τύπου αποτελούν μια σημαντική πηγή πληροφοριών, καθώς μπορεί να μην χαρακτηρίζονται από έναν απόλυτα επιστημονικό λόγο αλλά καταγράφουν τις τελευταίες εξελίξεις στο χώρο της ενέργειας, οι οποίες δεν έχουν ακόμα αποτυπωθεί στις επίσημες εκθέσεις.

## **6.4 Ενεργειακό Σύστημα Αναφοράς**

Η Εικόνα 6.1 απεικονίζει το ενεργειακό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας. Περιλαμβάνονται οι διεργασίες για όλη την περίοδο μελέτης, οι οποίες απεικονίζονται με τη μορφή κόμβων, και όλες οι ροές ενέργειας μεταξύ των διεργασιών, υπό τη μορφή συνδέσμων.

Στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι διεργασίες παραγωγής και μετατροπής της ενέργειας οι οποίες συμμετέχουν στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα τα τελευταία 45 χρόνια, καθώς και το ενεργειακό μίγμα εισόδου και εξόδου κάθε μίας εξ αυτών.

Οι τρεις κυριότερες διεργασίες, από πλευράς μεριδίου αγοράς και εγκατεστημένης δυναμικότητας, είναι η εξόρυξη του λιγνίτη, η διύλιση του αργού πετρελαίου και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μια σύντομη περιγραφή της εξέλιξης των βασικότερων εξ αυτών τα τελευταία 45 χρόνια. Στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζονται τα καύσιμα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος κατά την περίοδο μελέτης.



**Εικόνα 6.1. Ενεργειακό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας.**

**Παρατήρηση:** Περιλαμβάνει τις διεργασίες και τους συνδέσμους όλη για την περίοδο μελέτης. Οι τιμές είναι σε ktoe και αφορούν το έτος 1995.

**Πίνακας 6.2. Διεργασίες παραγωγής και μετατροπής ενέργειας του ελληνικού ενεργειακού συστήματος (ΥΠΑΝ, 2010)**

Διεργασία	Περίοδος Λειτουργίας	Μίγμα Εισόδου	Μίγμα Εξόδου
<b>Παραγωγή Ενέργειας</b>			
Εξόρυξη Λιγνίτη	1960-σήμερα	Λιγνίτης	Λιγνίτης
Εξόρυξη Αργού Πετρελαίου	1981-σήμερα	Αργό Πετρέλαιο	Αργό Πετρέλαιο
<b>Μετατροπή Ενέργειας</b>			
Λιγνιτικοί Θερμικοί Σταθμοί	1960-σήμερα	Λιγνίτης Λιθάνθρακας Μπρικέτες Λιγνίτη <sup>1</sup>	Ηλεκτρική Ενέργεια
Πετρελαϊκοί Θερμικοί Σταθμοί	1960-σήμερα	Πετρέλαιο Μαζούτ	Ηλεκτρική Ενέργεια
Θερμικοί Σταθμοί Φυσικού Αερίου	1997-σήμερα	Φυσικό Αέριο	Ηλεκτρική Ενέργεια
Σταθμοί Συμπαγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας	1974-σήμερα	Μαζούτ Αέριο Διυλιστηρίου Πετρέλαιο Βιομηχανικά Απόβλητα Φυσικό Αέριο <sup>1</sup>	Ηλεκτρική Ενέργεια Θερμότητα
Διυλιστήρια	1960-σήμερα	Αργό Πετρέλαιο	Αέριο Διυλιστηρίου Υγραέριο Βενζίνη Κηροζίνη Καύσιμα Αεριοθεωμένων Νάφθα Πετρέλαιο Μαζούτ Πετρελαϊκό Κωκ
Σταθμοί Συσσωμάτωσης Μπρικετών	1960-σήμερα	Λιγνίτης	Μπρικέτες Λιγνίτη
Οπτανθρακοκάμινι	1971-1981	Λιθάνθρακας	Αέριο Πόλεως Οπτάνθρακας
Υψικάμινι	1967-1981	Οπτάνθρακας	Αέριο Πόλεως
Παραγωγή Αερίου Πόλεως	1960-1997	Λιθάνθρακας Νάφθα	Αέριο Πόλεως Οπτάνθρακας

<sup>1</sup> Δεν πρόκειται για μίγμα εισόδου αλλά η κάθε μονάδα έχει διαφορετικό καύσιμο εισόδου. Επίσης, η εμφάνιση των πιθανών καυσίμων μεταβάλλεται με το χρόνο (βλ ενότητα 6.3.1).

**Πίνακας 6.3. Καύσιμα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος (ΥΠΑΝ, 2009)**

Ενεργειακή Μορφή		Θερμογόνος Δύναμη (TJ/kt)	Συντελεστής Εκπομπής (tCO <sub>2</sub> /TJ)
<b>Προϊόντα Άνθρακα</b>			
Λιθάνθρακας		27.21	92.71
Οπτάνθρακας		29.31	106.00
Λιγνίτης	Ηλεκτροπαραγωγή	5.29 <sup>1</sup>	122.00
	Βιομηχανία	10.35 <sup>1</sup>	99.18
Μπρικέτες Λιγνίτη		15.28	92.71
<b>Πετρέλαιο και Προϊόντα Πετρελαίου</b>			
Αργό Πετρέλαιο		42.75	-
Υλικό Αφετηρίας		42.50	-
Ασφαλτίνες		45.22	-
Αέριο Διυλιστηρίου		48.15	66.07
Υγραέριο		47.31	62.44
Βενζίνη		44.80	68.61
Κηροζίνη		44.75	71.15
Καύσιμα Αεριοθούμενων		44.59	70.79
Νάφθα		45.01	72.60
Πετρέλαιο Εσωτερικής Καύσης		43.33	73.33
Υπόλειμμα Διύλισης (Μαζούτ)		40.19	76.59
Πετρελαϊκό Κωκ		31.00	99.83
Άλλα Πετρελαϊκά Προϊόντα		40.19	72.60
<b>Λοιπά Καύσιμα</b>			
Φυσικό Αέριο	Εγχώριο	47.7-51.5 MJ/m <sup>3</sup> <sup>2</sup>	59.10
	Εισαγόμενο	33-42 MJ/m <sup>3</sup> <sup>3</sup>	55.82
Βιομάζα / Βιοκαύσιμα			
Βιομηχανικά Απόβλητα			

<sup>1</sup> Μέσος όρος της περιόδου 1990-2007<sup>2</sup> Ανάλογα με τη λεκάνη εξόρυξης<sup>3</sup> Ανάλογα με τη χώρα εισαγωγής

### 6.4.1 Ηλεκτρική Ενέργεια

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1940, το δικαίωμα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας είχε παραχωρηθεί από την Ελληνική Κυβέρνηση σε ιδιωτικές εταιρίες και δημοτικές επιχειρήσεις. Το 1950 ιδρύθηκε η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία σταδιακά εξαγόρασε τις υπόλοιπες εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μέχρι πρόσφατα είχε το μονοπώλιο στην αγορά.

Αρχικός στόχος της επιχείρησης ήταν η εκμετάλλευση των εγχώριων πηγών ενέργειας, ιδίως μετά τις πετρελαϊκές κρίσεις της δεκαετίας του 1970. Ως εκ τούτου, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καλύφθηκε στην ηπειρωτική Ελλάδα από λιγνιτικούς

και υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Αντίθετα, στη νησιωτική Ελλάδα κατασκευάστηκαν αυτόνομες πετρελαϊκές μονάδες και μικρές μονάδες ΑΠΕ. Στα τέλη της δεκαετίας του 1990 εισάγεται η χρήση του φυσικού αερίου στην ηλεκτροπαραγωγή ενώ παράλληλα αυξάνεται η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ με την είσοδο της αιολικής ενέργειας.

Στα τέλη του 1999 ψηφίστηκε από την Ελληνική Βουλή ο Νόμος 2733/99 για την απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας και από το 2001 άρχισαν να αδειοδοτούνται οι πρώτες ιδιωτικές μονάδες. Το 2004 ξεκίνησε τη λειτουργία της η πρώτη ιδιωτική μονάδα ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 140 MW στη Βοιωτία.

#### **6.4.1.1 Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας**

Η Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) έχει σχετικά μικρή ανάπτυξη στην Ελλάδα. Οι πρώτες μονάδες συμπαραγωγής εγκαταστάθηκαν σε μεγάλες ελληνικές βιομηχανίες στις αρχές της δεκαετίας του 1970, με καύσιμο τα βαριά κλάσματα της διύλισης. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 άλλαξε η σύσταση του μίγματος εισόδου και προστέθηκαν στα καύσιμα το αέριο διυλιστηρίου καθώς και βιομηχανικά απόβλητα. Την τελευταία δεκαετία έχουν προστεθεί και εγκαταστάσεις με καύσιμο το φυσικό αέριο. Το σύνολο της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος των μονάδων αυτών είναι σήμερα περίπου 250 MWe, που αντιστοιχεί περίπου στο 2% της εγκατεστημένης ισχύος ηλεκτροπαραγωγής στη χώρα (ΥΠΑΝ, 2009). Το μεγαλύτερο μέρος των μονάδων ΣΗΘ σήμερα βρίσκεται στα διυλιστήρια, σε μεγάλους σταθμούς παραγωγής και σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες.

#### **6.4.2 Στερεά Καύσιμα**

Ο λιγνίτης αποτελεί στην πραγματικότητα μέχρι σήμερα το εθνικό καύσιμο. Η Ελλάδα κατατάσσεται 2<sup>η</sup> στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μετά τη Γερμανία, και 5<sup>η</sup> παγκοσμίως στην παραγωγή λιγνίτη. Σε 70 περίπου λεκάνες σε όλη τη χώρα, έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη περισσότερων από 100 κοιτασμάτων λιγνίτη (ΣΕΕΣ, 2008) και εκτιμάται ότι τα συνολικά αποθέματα του λιγνίτη είναι της τάξης των 3200 εκατομμυρίων τόνων, το 90% των οποίων βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα.

Εξορύσσεται κατά κύριο λόγο σε επιφανειακά ορυχεία από το 1950 και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά στην ηλεκτροπαραγωγή. Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων έχει εκχωρηθεί κυρίως στη ΔΕΗ Α.Ε. και κατά ένα μικρό ποσοστό (3-5%) σε μικρά ιδιωτικά λιγνιτωρυχεία (ΥΠΑΝ, 2007).

#### **6.4.3 Πετρελαϊκά Προϊόντα**

Η Ελλάδα παραμένει μια από τις πλέον ανεξερεύνητες χώρες της Μεσογείου σε ότι αφορά στα κοιτάσματα πετρελαίου. Οι πλέον αισιόδοξες γεωλογικές εκτιμήσεις για την περιοχή του Βορείου Αιγαίου θεωρούν πως, με βάση το εναπομείναν δυναμικό η ημερήσια παραγωγή μπορεί να ανέλθει στα 200,000 βαρέλια ημερησίως, ποσότητα που μπορεί να καλύψει σχεδόν το 50% της εγχώριας ζήτησης (ΣΕΕΣ, 2008).

Παρόλα αυτά, η παραγωγή αργού πετρελαίου στην Ελλάδα είναι ελάχιστη. Μετά την ουσιαστική εξάντληση του κοιτάσματος του Πρίνου, η παραγωγή του οποίου έπεσε από τα 26,000 βαρέλια ημερησίως, τη δεκαετία του 1980 και κάτω από τα 2000 την



πρώτη δεκαετία του 21<sup>ου</sup> αιώνα, όλη η απαιτούμενη ποσότητα αργού πετρελαίου εισάγεται. Όμως, το 2009, ο εντοπισμός τριών νέων εμπορικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου αναζωπύρωσε το ενδιαφέρον των επενδυτών, οι οποίοι αισιοδοξούν ότι μέχρι το 2012 η ημερήσια εξόρυξη πετρελαίου από την περιοχή θα ανέλθει σε εξαψήφιο αριθμό βαρελιών.

#### 6.4.3.1 Δομή της Βιομηχανίας Πετρελαίου

Η εγχώρια διύλιση αργού πετρελαίου ξεκίνησε το 1958 με την ίδρυση του διυλιστηρίου του Ασπρόπυργου. Σήμερα, η ελληνική πετρελαϊκή αγορά αποτελείται από 4 διυλιστήρια (Πίνακας 6.4), περίπου 20 εταιρίες εμπορίας και πάνω από 8,000 κέντρα λιανικής πώλησης (Λόης, 2009). Η απελευθέρωση της αγοράς έγινε το 1992 και σήμερα δύο εταιρείες μοιράζονται το συνολικό κύκλο εργασιών (ΕΛ.ΠΕ 75% και ΜΟΤΟΡ ΟΙΛ 25%).

Η αγορά βρίσκεται σε ένα καθεστώς σχετικής ισορροπίας, με τη συνολική παραγωγή προϊόντων πετρελαίου των τεσσάρων διυλιστηρίων να ανέρχεται σε 19 εκατομμύρια μετρικούς τόνους ετησίως και τις συνολικές ανάγκες της ελληνικής αγοράς να διαμορφώνονται σε 21 εκατομμύρια περίπου. Η παραγωγή τους είναι πλεονασματική, έναντι της ζήτησης, σε βενζίνη (700 kt/έτος) και μαζούτ (700 kt/έτος) και ελλειμματική σε πετρέλαιο ντίζελ (1800 kt/έτος). Για την κάλυψη της υπολειπόμενης, από την παραγωγική δυναμικότητα των διυλιστηρίων, ζήτησης, πραγματοποιούνται αντίστοιχες εισαγωγές (ΥΠΑΝ, 1997).

**Πίνακας 6.4. Δυναμικότητα των ελληνικών διυλιστηρίων**

Εταιρεία	Ελληνικά Πετρέλαια Α.Ε.			Motor Oil
Γεωγραφική Θέση	Ασπρόπυργος	Θεσσαλονίκη	Ελευσίνα	Άγιοι Θεόδωροι
Έτος Κατασκευής	1958	1966	1972	1972
Δυναμικότητα (kt/έτος)	6,200	3,300	5,000	4,500

#### 6.4.4 Φυσικό Αέριο

Η είσοδος του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας πραγματοποιήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1990. Από το 1997 άρχισαν να εισάγονται σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου ενώ παράλληλα κατασκευάστηκε και το σύστημα διανομής του σε ολόκληρη την επικράτεια.

Τα σημεία εισόδου του φυσικού αερίου στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα είναι τρία. Το πρώτο βρίσκεται στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα, από όπου εισέρχεται στον κεντρικό αγωγό φυσικό αέριο από τη Ρωσία. Το δεύτερο είναι στα ελληνοτουρκικά σύνορα, όπου το εθνικό σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου διασυνδέεται με το τουρκικό σύστημα μεταφοράς. Το τρίτο σημείο εισόδου φυσικού αερίου βρίσκεται στη νήσο Ρεβυθούσα, στον κόλπο της Πάχης Μεγάρων, όπου υπάρχουν οι εγκαταστάσεις εκφόρτωσης, αποθήκευσης και επαναεριοποίησης του υγροποιημένου φυσικού αερίου από την Αλγερία, συνολικής χωρητικότητας 130,000 κυβικών

μέτρων (ΔΕΠΑ, 2009). Στα τέλη του 2005 ψηφίστηκε από το ελληνικό κοινοβούλιο ο Νόμος 3428/2005 για την απελευθέρωση της αγοράς του φυσικού αερίου.

### 6.4.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι δυο κυρίαρχες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ελλάδας τον 20<sup>ο</sup> αιώνα ήταν το υδροηλεκτρικό δυναμικό, που χρησιμοποιούταν αποκλειστικά για ηλεκτροπαραγωγή, και οι παραδοσιακές μορφές βιομάζας, που χρησιμοποιούνταν στον οικιακό τομέα για θέρμανση και μαγείρεμα. Στα μέσα της δεκαετίας του 1980 ξεκίνησε η μαζική χρήση της ηλιακής ενέργειας, κυρίως για θέρμανση του νερού στον οικιακό τομέα. Τέλος, στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα εμφανίστηκαν οι πρώτες εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή με διαρκώς αύξουσα πορεία.

#### 6.4.5.1 Βιοκαύσιμα

Η χρήση των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα είναι σε αρχικό στάδιο ενώ γίνονται προσπάθειες για την περαιτέρω διείσδυση τους στην αγορά. Από τα τέλη του 2005 έως και το 2008 στην Ελλάδα δραστηριοποιούνται 10 εταιρείες παραγωγής βιοντίζελ με συνολική δυναμικότητα 575,000 MT ετησίως και 2 εταιρείες εμπορίας βιοντίζελ από χώρες της Ε.Ε. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται από τις μονάδες παραγωγής είναι εισαγόμενα λάδια σε ποσοστό 75% και εγχώρια παραγόμενα λάδια. Η διάθεση του βιοντίζελ ξεκίνησε το Δεκέμβριο του 2005 από την εταιρεία ΕΛ.ΒΙ – ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΟΠΕΤΡΕΛΑΙΑ ΑΒΕΕ (ΥΠΑΝ, 2000β).

Αντίθετα, μέχρι στιγμής δεν υπάρχει παραγωγή ή εισαγωγή βιοαιθανόλης για τη χρήση της ως καυσίμου στις μεταφορές αλλά μόνο για την παρασκευή αλκοολούχων ποτών και φαρμάκων.

## 6.5 Εθνικοί Ενεργειακοί Στόχοι

Το θεσμικό πλαίσιο που αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του κλάδου ενέργειας γίνεται ολοένα και αυστηρότερο. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής, όπου, σύμφωνα με το World Energy Outlook, ο κλάδος της ενέργειας είναι υπεύθυνος για το 61% των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΣΕΕΣ, 2009). Υπό αυτό το πρίσμα διαμορφώνεται και η ευρωπαϊκή πολιτική για την ενέργεια και το περιβάλλον με τρεις κεντρικούς άξονες:

- Διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- Μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου
- Ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση ενέργειας

Μπορεί να λεχθεί ότι οι τρεις αυτοί στόχοι είναι αλληλένδετοι και ότι η επίτευξη του ενός βοηθάει στην επίτευξη των υπόλοιπων δύο. Στο πλαίσιο αυτό διαμορφώνονται και οι στόχοι του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για τα επόμενα χρόνια, με πρώτο σημαντικό ορόσημο το έτος 2020.

### 6.5.1 Διείσδυση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας η Ευρωπαϊκή Ένωση συνέταξε οδηγίες και έλαβε αποφάσεις που αφορούν στην προώθηση της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η καταληκτική οδηγία, που τροποποιεί όλες τις προηγούμενες, είναι η Οδηγία 2009/28/EK σύμφωνα με την οποία:

- Για κάθε κράτος-μέλος έχει καθοριστεί αναλογικά ένας στόχος διείσδυσης των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, έτσι ώστε η συνολική διείσδυση στην Ε.Ε. να φτάσει το 20% έως το 2020. Για την Ελλάδα, ο εθνικός συνολικός στόχος για το 2020 είναι συμμετοχή των ΑΠΕ σε ποσοστό 18% στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Η ελληνική κυβέρνηση με το Νόμο 3851/2010 για τις ΑΠΕ που ψηφίστηκε τον Μάιο του 2010 δεσμεύτηκε πως το ποσοστό διείσδυσης θα φτάσει και στην Ελλάδα το 20%. Διευκρινίζεται ότι:
  - Ο όρος **Ακαθάριστη Τελική Κατανάλωση Ενέργειας** (*Gross Final Energy Consumption*) περιλαμβάνει τα βασικά ενεργειακά προϊόντα που παραδίδονται για ενεργειακούς σκοπούς προς τελική χρήση, συμπεριλαμβανομένης της ιδιοκατανάλωσης ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας στις διεργασίες παραγωγής και μετατροπής αλλά και των απωλειών κατά τη διανομή και μεταφορά.
  - Ο όρος **Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές** (*Energy from Renewable Sources*) περιλαμβάνει την ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές (ήτοι αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική), από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρος υγειονομικής ταφής αέρια, από τα αέρια που παράγονται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και από τα βιοαέρια.
  - Στην ακαθάριστη τελική ενέργεια από ΑΠΕ αθροίζονται (α) η ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας προερχόμενη από ΑΠΕ, (β) η ακαθάριστη κατανάλωση ΑΠΕ για ψύξη και θέρμανση και (γ) η τελική κατανάλωση βιοκαυσίμων στις μεταφορές.
- Στον τομέα των μεταφορών, όλα τα κράτη μέλη πρέπει να εξασφαλίσουν ότι το μερίδιο των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση θα ισούται με 10% έως το 2020. Διευκρινίζεται ότι:
  - Η τελική κατανάλωση στον τομέα των μεταφορών περιλαμβάνει μόνον τη βενζίνη, το πετρέλαιο ντίζελ, τα βιοκαύσιμα που καταναλίσκονται στις οδικές και σιδηροδρομικές μεταφορές και την ηλεκτρική ενέργεια.
  - Για τον υπολογισμό της ενέργειας από ΑΠΕ που καταναλίσκεται στις μεταφορές λαμβάνονται υπόψη όλες οι μορφές ανανεώσιμης ενέργειας που καταναλώνονται σε όλες τις μορφές μεταφορών.

Στη λογική αυτή κινείται και ο Νόμος 3468/2006 του ελληνικού κράτους, σύμφωνα με τον οποίο η συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ, στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, καθορίζεται σε ποσοστό 20,1% μέχρι το 2010 και σε ποσοστό 29% μέχρι το 2020. Η ελληνική κυβέρνηση με το Νόμο 3851/2010 αναθεώρησε τον παραπάνω στόχο και δεσμεύτηκε πως το ποσοστό διείσδυσης θα φτάσει το 40% το 2020.

### **6.5.2 Μείωση των Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου**

Ο στόχος που αρχικά είχε υιοθετήσει η Ευρωπαϊκή Ένωση, με βάση τις δεσμεύσεις από το Πρωτόκολλο του Κιότο, σχετικά με τις εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου (ΑΤΘ) ήταν η μείωση τους κατά 20% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Είχε καταναμωθεί αναλογικά για κάθε χώρα και για την Ελλάδα η αρχική δέσμευση προέβλεπε περιθώριο αύξησης κατά 25% για την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με το 1990. Ο στόχος αυτός επεκτάθηκε μέχρι το 2020 με πρόσφατη απόφαση της Ε.Ε. (406/2009/ΕΚ), η οποία καθορίζει μια συνολική μείωση των εκπομπών κατά 14% σε σχέση με τα επίπεδα του 2005. Με την ίδια αυτή απόφαση, πλέον, το 2005 καθιερώθηκε ως το έτος αναφοράς.

Το συνολικό ποσοστό μείωσης έχει επιμεριστεί σε δύο κατηγορίες:

- (α) Μείωση κατά 21% για τους κλάδους που ανήκουν στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και
- (β) Μείωση κατά 10% για τους υπόλοιπους τομείς, με καταμερισμό της μείωσης στα κράτη μέλη (4% για την Ελλάδα).

Στο ΣΕΔΕ ανήκουν οι εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής, οι εγκαταστάσεις καύσης, τα διυλιστήρια, οι εγκαταστάσεις παραγωγής σιδήρου και χάλυβα, οι τσιμεντοβιομηχανίες, οι ασβεστοποιίες, οι υαλουργίες, οι εγκαταστάσεις παραγωγής κεραμικών, ορισμένες βιομηχανίες παραγωγής χαρτιού και χαρτονιού και βιομηχανίες τροφίμων, ενώ από το 2012 στο ΣΕΔΕ θα ενταχθούν και οι αεροπορικές μεταφορές. Από το 2013, για τη βιομηχανία διευρύνεται το πεδίο εφαρμογής, συμπεριλαμβάνοντας, μεταξύ άλλων, εγκαταστάσεις παραγωγής αλουμίνας και λιπασμάτων. Επίσης, εισάγεται η υποχρέωση αγοράς δικαιωμάτων εκπομπών για το σύνολο των εκπομπών των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, σημειώνεται πως οι εκπομπές από διεθνείς θαλάσσιες μεταφορές και δεξαμενόπλοια δεν λαμβάνονται υπόψη στους εθνικούς υπολογισμούς.

### **6.5.3 Εξοικονόμηση Ενέργειας**

Σύμφωνα με την Οδηγία 2006/32/ΕΚ, η Ελλάδα υποχρεούται μέχρι το 2016 να μειώσει την τελική εγχώρια ενεργειακή κατανάλωση κατά 9% σε σχέση με τη μέση κατανάλωση της πενταετίας 2001-2005, αφαιρουμένων των τομέων που εμπίπτουν στο σύστημα εμπορίας ρύπων. Παράλληλα, όμως, για το 2020 ισχύει ο στόχος του Action Plan for Energy Efficiency της Ευρωπαϊκής Ένωσης για μείωση της συνολικής πρωτογενούς ενέργειας κατά 20%. Ο στόχος αυτός είναι ενδεικτικός και η μόνη δέσμευση προκύπτει από την Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

## 6.6 Προτεινόμενο Σύνολο Ενεργειακών Δεικτών

Οι ενεργειακοί δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή για τη μελέτη του ελληνικού ενεργειακού συστήματος παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5 και αναλύονται λεπτομερώς στις παραγράφους που ακολουθούν. Η επιλογή τους βασίζεται στα υφιστάμενα σύνολα δεικτών που έχουν προταθεί από τους διεθνείς οργανισμούς. Κύρια πηγή είναι οι «Ενεργειακοί Δείκτες για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη», που δημοσιεύτηκαν από το Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (IAEA et al., 2005), και οι οποίοι αποτελούν το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύνολο δεικτών σε παρόμοιες μελέτες (Pereira et al., 2008. Streimikiene et al., 2007, Streimikiene and Šivickas, 2008).

**Πίνακας 6.5. Προτεινόμενο σύνολο δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης του ενεργειακού συστήματος**

ΔΕΙΚΤΗΣ	ΘΕΜΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
<b>Οικονομική Συνιστώσα</b>		
<b>ΟΙΚ1</b>	Χρήση	Κατανάλωση ενέργειας κατά κεφαλή
<b>ΟΙΚ2</b>	Παραγωγικότητα	Συνολική και ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας ενεργειακή ένταση
<b>ΟΙΚ3</b>	Εξάρτηση	Λόγος των καθαρών εισαγωγών καυσίμων προς τη συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας
<b>ΟΙΚ4</b>	Διαφοροποίηση	Μερίδια καυσίμων στο συνολικό ενεργειακό μίγμα
<b>Περιβαλλοντική Συνιστώσα</b>		
<b>ΠΕΡ1</b>	Κλιματική Αλλαγή	Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (CO <sub>2</sub> ) κατά κεφαλή ή ανά μονάδα ΑΕΠ
<b>ΠΕΡ2</b>	ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση	Μερίδιο ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας
<b>ΠΕΡ3</b>	ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή	Μερίδιο ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή
<b>ΠΕΡ4</b>	ΑΠΕ στις Μεταφορές	Μερίδιο ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών
<b>Κοινωνική Συνιστώσα</b>		
<b>ΚΟΙ1</b>	Πρόσβαση	Ποσοστό νοικοκυριών με πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια ή σε εμπορικές μορφές ενέργειας
<b>ΚΟΙ2</b>	Οικονομική Εφικτότητα	Ποσοστό του εισοδήματος ενός νοικοκυριού που δαπανάται για αγορά καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας
<b>ΚΟΙ3</b>	Κοινωνική Ανισότητα	Ποσοστό των δαπανών ενός νοικοκυριού για αγορά καυσίμων και ηλεκ. ενέργειας ανά κατηγορία εισοδήματος

Παράλληλα, όμως, διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εκφράζουν τις απαιτήσεις και τους στόχους της εθνικής και ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής σχετικά με τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΠΕΡ2, ΠΕΡ3, ΠΕΡ4), τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (ΠΕΡ1) και την ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση ενέργειας (ΟΙΚ1). Ειδική αναφορά αξίζει να γίνει στην κοινωνική συνιστώσα, όπου η επιλογή των τριών δεικτών υπαγορεύτηκε κατά βάση από τη διαθεσιμότητα δεδομένων για τον υπολογισμό τους κατά την τελευταία πεντηκονταετία.

## 6.6.1 Οικονομικοί Δείκτες

### 6.6.1.1 Χρήση Ενέργειας

Ο δείκτης που περιγράφει τη χρήση ενέργειας ορίζεται ως η ετήσια χρήση ενέργειας ανά κάτοικο και ανάλογα με το σκοπό και τις ανάγκες της μελέτης μπορεί να εκφραστεί ως η κατά κεφαλή συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας, τελική κατανάλωση ενέργειας ή τελική κατανάλωση μιας συγκεκριμένης μορφής ενέργειας.

Η κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο αποτελεί δείκτη οικονομικής και κοινωνικής ευημερίας καθώς η ενέργεια αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την οικονομική ανάπτυξη αλλά και την παροχή υπηρεσιών που βελτιώνουν την ποιότητα ζωής. Χαμηλή τιμή του δείκτη υποδηλώνει περιορισμένη πρόσβαση των κατοίκων στην ενέργεια. Έχουν προταθεί διάφορα κατώτατα επιτρεπτά όρια για την κατανάλωση ενέργειας ανά κάτοικο. Σύμφωνα με το Παγκόσμιο Συμβούλιο Ενέργειας (WEC, 2000), οι ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις κατά κεφαλήν ετησίως είναι 1,000 kWh. Ειδικότερα για την ηλεκτρική ενέργεια, η μελέτη του Γερμανικού Συμβουλίου για την Κλιματική Αλλαγή θεωρεί πως οι ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις για την κάλυψη των ετήσιων αναγκών κατά κεφαλή είναι 450 kWh σε ένα πενταμελές νοικοκυριό ή 500 kWh σε ένα διμελές νοικοκυριό (WBGU, 2004). Οι τιμές που συναντώνται γενικά στη βιβλιογραφία κυμαίνονται από 300 έως 700 kWh κατά κεφαλήν ετησίως.

Αντίθετα μια πολύ υψηλή τιμή υποδηλώνει πιθανή υπερκατανάλωση ενέργειας με κίνδυνο εξάντλησης των αποθεμάτων και περιβαλλοντική επιβάρυνση. Ο δείκτης αυτός θα πρέπει λοιπόν να μελετάται σε συνάρτηση με την απόδοση του ενεργειακού συστήματος και την ποικιλομορφία του μείγματος της καταναλισκόμενης ενέργειας προκειμένου να εξασφαλιστεί ασφαλές συμπέρασμα.

Όσον αφορά τη σχέση του με την ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική, ο συγκεκριμένος δείκτης μπορεί να συνδεθεί με την Οδηγία 2006/32/EK. Για το λόγο αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ο δείκτης ορίζεται ως η κατά κεφαλή τελική κατανάλωση ενέργειας.

### 6.6.1.2 Παραγωγικότητα

Η παραγωγικότητα εκφράζεται συνήθως ως η ενεργειακή ένταση του συνολικού ενεργειακού συστήματος ή κάποιου επιμέρους τομέα οικονομικής δραστηριότητας (πρωτογενούς, δευτερογενούς, τριτογενούς). Στη πρώτη περίπτωση ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας ή της τελικής κατανάλωσης ενέργειας προς το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν και μετράται σε μονάδες ενέργειας (kTOE, kWh) ανά νομισματική μονάδα. Στη δεύτερη περίπτωση ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας ανά μονάδα οικονομικής δραστηριότητας, συμπεριλαμβανομένης και της ιδιοκατανάλωσης, και μετράται σε μονάδες ενέργειας (kTOE, kWh) ανά μονάδα έκφρασης του όγκου της δραστηριότητας (τόνοι παραγόμενου προϊόντος, προστιθέμενη αξία προϊόντος, κλπ.).

Η ενεργειακή ένταση εκφράζει το συνδυασμό τόσο των δομικών όσο και των τεχνολογικών χαρακτηριστικών του ενεργειακού συστήματος ή ενός συγκεκριμένου

τομέα προς την αποτελεσματική και αποδοτική χρήση της ενέργειας. Ο αντίστροφος λόγος της ενεργειακής έντασης είναι στην πραγματικότητα η ενεργειακή απόδοση. Η βελτίωση της απόδοσης και η αποδέσμευση της οικονομικής ανάπτυξης από την ενεργειακή κατανάλωση είναι δύο σημαντικοί πυλώνες της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η συνολική ενεργειακή ένταση δεν είναι ένας ιδανικός δείκτης αποτύπωσης της ενεργειακής απόδοσης, της βιώσιμης χρήσης της ενέργειας και της τεχνολογικής προόδου. Το άθροισμα της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας εξαρτάται τόσο από τις δραστηριότητες του κάθε τομέα όσο και από εξωγενείς παράγοντες όπως το κλίμα, η γεωγραφία και η δομή της οικονομίας. Θα πρέπει, λοιπόν, η εξέλιξη του συγκεκριμένου δείκτη να μελετάται σε συνάρτηση με τη μεταβολή της ενεργειακής έντασης ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας, και να ελέγχεται ποιοί από τους παραπάνω παράγοντες είναι αυτοί που επηρεάζουν περισσότερο την μεταβολή της.

Τέλος, αν και η έκφραση της επιμέρους ενεργειακής έντασης κάθε τομέα σε μονάδες ενέργειας ανά μονάδα φυσικού προϊόντος αποτελεί την πιο αντιπροσωπευτική αποτύπωση της απόδοσης σε συγκεκριμένες διεργασίες μετατροπής, η χρήση του λόγου της κατανάλωσης ενέργειας προς την προστιθέμενη αξία του προϊόντος είναι πιο χρήσιμη τόσο για τη σύνδεση της απόδοσης με την οικονομική δραστηριότητα όσο και για τη σύγκριση της απόδοσης μεταξύ διαφόρων τομέων της οικονομίας.

#### **6.6.1.3 Ενεργειακή Εξάρτηση**

Η ενεργειακή εξάρτηση ορίζεται ως ο λόγος των καθαρών εισαγωγών (των συνολικών εισαγωγών αφαιρουμένων των εξαγωγών) προς τη συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας και αναφέρεται είτε στο σύνολο των καυσίμων είτε σε μια συγκεκριμένη μορφή ενέργειας. Εκφράζει το βαθμό στον οποίο μια χώρα βασίζεται στις εισαγωγές και στην εξωτερική βοήθεια για να καλύψει τις ενεργειακές της ανάγκες.

Η διατήρηση μιας σταθερής παροχής ενέργειας είναι θεμελιώδους σημασίας για τη την αειφόρο ανάπτυξη ενός ενεργειακού συστήματος. Εξασφαλίζεται με αυτό τον τρόπο η ικανοποίηση της ενεργειακής ζήτησης χωρίς διακυμάνσεις στις τιμές. Οι συχνές μεταβολές στις ποσότητες των εισαγωγών προκαλούν αντιθέτως αβεβαιότητα στο ισοζύγιο ενέργειας, που σχετίζεται τόσο με την ποσότητα της παρεχόμενης ενέργειας όσο και με το κόστος της.

Όσον αφορά στην ευρωπαϊκή ενεργειακή νομοθεσία, η ενεργειακή ασφάλεια συνδέεται τόσο με την Πράσινη Βίβλο σχετικά με την «Ευρωπαϊκή Στρατηγική για Βιώσιμη, Ανταγωνιστική και Ασφαλή Ενέργεια» όσο και με τους στόχους για την «ενεργειακή ανεξαρτησία» των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Streimikiene & Šivickas, 2008).

#### **6.6.1.4 Διαφοροποίηση**

Η διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος εκφράζεται μέσω των μεριδίων των καυσίμων στη συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας, στην τελική κατανάλωση

ενέργειας ή στην ηλεκτροπαραγωγή και στην ουσία αποτυπώνει την ποικιλομορφία του ενεργειακού συστήματος.

Σχετίζεται τόσο με την οικονομική όσο και με την περιβαλλοντική συνιστώσα της βιώσιμης ανάπτυξης. Όσον αφορά στην οικονομική διάσταση, η ύπαρξη πολλών και διαφορετικών καυσίμων στο μίγμα της πρωτογενούς ενέργειας είναι μια ένδειξη ενεργειακής ασφάλειας και μη εξάρτησης από μια μόνο ενεργειακή πηγή. Ως εκ τούτου, το «κατάλληλο» ενεργειακό μίγμα για μια χώρα βασίζεται σε ένα ευρείας διασποράς χαρτοφυλάκιο εγχώριων και εισαγόμενων καυσίμων και μορφών ενέργειας. Το μίγμα των καυσίμων επηρεάζει επίσης την ενεργειακή ένταση του συστήματος.

Από περιβαλλοντική σκοπιά, το μίγμα της πρωτογενούς ενέργειας παίζει πρωτεύοντα ρόλο, καθώς ένα μίγμα πλούσιο σε ΑΠΕ έχει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση σε σχέση με ένα αντίστοιχο που στηρίζεται αποκλειστικά σε ορυκτά καύσιμα. Ένα ισορροπημένο μίγμα με τουλάχιστον τρεις κύριες διαφορετικές πηγές πρωτογενούς ενέργειας και με όσο το δυνατό χαμηλότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι ιδανικό για τη βιώσιμη ανάπτυξη ενός ενεργειακού συστήματος.

## **6.6.2 Περιβαλλοντικοί Δείκτες**

### **6.6.2.1 Κλιματική Αλλαγή**

Η κλιματική αλλαγή εκφράζεται είτε από τις ετήσιες κατά κεφαλήν εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που οφείλονται στις διεργασίες παραγωγής, μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας, είτε από το λόγο των εκπομπών αυτών προς το ΑΕΠ. Στη δεύτερη περίπτωση, το μέγεθος που προκύπτει ονομάζεται «ένταση εκπομπών» και μπορεί να εξειδικευτεί για συγκεκριμένους τομείς του ενεργειακού συστήματος.

Η σύνδεση του δείκτη αυτού με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα είναι προφανής, καθώς τα αέρια του θερμοκηπίου είναι η σημαντικότερη αιτία για το πρόβλημα της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Όσον αφορά στην ευρωπαϊκή νομοθεσία, ο δείκτης της κλιματικής αλλαγής συνδέεται άμεσα αφενός μεν με το Πρωτόκολλο του Κιότο, που δέσμευε τις χώρες οι οποίες το είχαν επικυρώσει για μείωση των εκπομπών, αφετέρου δε με την Απόφαση 406/2009/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στο πλαίσιο της μελέτης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, ως δείκτης θα χρησιμοποιηθούν οι εκπομπές CO<sub>2</sub>, που μπορούν να συγκριθούν διαχρονικά και επιπλέον αποτελούν το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου. Παράλληλα, όμως, θα υπολογιστούν και οι συνολικές εκπομπές, διότι παρόλο που δεν αποτελούν συγκρίσιμο διαχρονικά μέγεθος, χρησιμεύει για τον έλεγχο της επίτευξης ή μη του στόχου που ορίζεται από την ευρωπαϊκή νομοθεσία.

### **6.6.2.2 Διείσδυση των ΑΠΕ**

Η διείσδυση των ΑΠΕ εκφράζεται ως το μερίδιό τους στην τελική κατανάλωση ενέργειας, στην κατανάλωση του τομέα των μεταφορών και στην ηλεκτροπαραγωγή. Επιλέγονται αυτοί οι τρεις τομείς δεδομένου ότι οι δύο εξ αυτών σχετίζονται με την



οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την προώθηση των ΑΠΕ (2009/28/ΕΚ) ενώ ο τρίτος αποτελεί το αντικείμενο του Νόμου 3851/2010 της Ελληνικής Δημοκρατίας.

Ο δείκτης αυτός, πέραν της προφανούς σύνδεσής του με την περιβαλλοντική βιωσιμότητα, συνδέεται άμεσα και με την οικονομική συνιστώσα του προβλήματος, δεδομένου ότι οι ΑΠΕ, ως εγχώριες κατά βάση πηγές ενέργειας, ευνοούν την ενεργειακή ασφάλεια και τη διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος.

### **6.6.3 Κοινωνικοί Δείκτες**

#### **6.6.3.1 Πρόσβαση**

Ο δείκτης που εκφράζει την πρόσβαση της ενέργειας ορίζεται ως το ποσοστό των νοικοκυριών που έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια ή σε άλλες σύγχρονες «εμπορικές» μορφές ενέργειας για την κάλυψη των βασικών αναγκών τους.

Αν και η ενέργεια δεν είναι μια από τις βασικές προτεραιότητες του ανθρώπου, όπως η τροφή, το νερό, το κατάλυμα και η υγεία, στις μέρες μας αποτελεί σίγουρα ένα απαραίτητο στοιχείο για την εξασφάλιση όλων των παραπάνω. Δυσκολία πρόσβασης σε σύγχρονες μορφές ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερο βιοτικό επίπεδο και άσχημες συνθήκες διαβίωσης, με πιθανές σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των καταναλωτών (καύση ξύλων σε κλειστό χώρο, χρήση εύφλεκτων υλικών για φωτισμό).

#### **6.6.3.2 Οικονομική Εφικτότητα**

Η οικονομική εφικτότητα ορίζεται ως το ποσοστό του εισοδήματος ενός νοικοκυριού που δαπανάται για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών (καύσιμα, ηλεκτρική ενέργεια). Η ενέργεια θα πρέπει να είναι διαθέσιμη σε ελεγχόμενες τιμές και ο εν λόγω δείκτης να είναι σχετικά χαμηλός. Διαχρονικά θα πρέπει να παραμένει σταθερός ή να μειώνεται, δηλαδή ο ρυθμός αύξησης των τιμών της ενέργειας να είναι μικρότερος ή ίσος από τον αντίστοιχο των μισθών.

#### **6.6.3.3 Κοινωνική Ανισότητα**

Η κοινωνική ανισότητα εκφράζεται ως το ποσοστό των δαπανών ανά νοικοκυριό για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ή ως το συνολικό ετήσιο ποσό το οποίο δαπανάται για το σκοπό αυτό, για καθορισμένες κατηγορίες εισοδήματος. Μια εναλλακτική πρόταση είναι η άμεση σύγκριση της καταναλισκόμενης ενέργειας ανά νοικοκυριό και ανά κατηγορία εισοδήματος. Είναι πιθανόν αυτή η προσέγγιση να εκφράζει καλύτερα τις κοινωνικές διακρίσεις, όμως δεν είναι εφικτός ο διαχρονικός υπολογισμός του δείκτη για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα λόγω έλλειψης δεδομένων.

Σε απόλυτα μεγέθη είναι αναμενόμενο πως οι υψηλότερες κατηγορίες εισοδήματος δαπανούν μεγαλύτερα ποσά για την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών. Όμως τα ποσοστά των ποσών αυτών επί των συνολικών δαπανών πρέπει να είναι συγκρίσιμα για όλες τις κατηγορίες. Η διαφοροποίηση μεταξύ των κατηγοριών, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο λόγο στις υψηλές τιμές των καυσίμων, έχει ως

αποτέλεσμα την περιθωριοποίηση ορισμένων κοινωνικών ομάδων και μπορεί να οδηγήσει σε αναταραχές.

## 6.7 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο έγινε μια σύντομη παρουσίαση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Στην ενότητα 6.2 καταγράφηκαν σε συντομία τα σημαντικότερα γεγονότα που επηρέασαν την Ελλάδα από το 1960 έως και σήμερα. Στην ενότητα 6.3 παρουσιάστηκε συνοπτικά το ελληνικό ενεργειακό σύστημα. Καταγράφηκαν όλες οι διεργασίες παραγωγής, μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας και όλα τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται σε αυτές, μαζί με τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Τέλος, διαμορφώθηκε το ενεργειακό σύστημα αναφοράς της περιοχής.

Στην ενότητα 6.4 παρατέθηκαν οι διατάξεις της ευρωπαϊκής και της ελληνικής νομοθεσίας που σχετίζονται με την ενέργεια και συνοψίστηκαν οι εθνικοί ενεργειακοί και περιβαλλοντικοί στόχοι για την επόμενη δεκαετία. Με βάση την προηγηθείσα επισκόπηση διαμορφώθηκε ένα μικρό και αντιπροσωπευτικό σύνολο δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης, το οποίο αναλύθηκε στην ενότητα 6.5. Παρουσιάστηκαν οι εννέα δείκτες που αποτελούν το σύνολο αυτό, ο τρόπος υπολογισμού τους και ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε καθένας από αυτούς.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί πραγματοποιείται η ιστορική ανάλυση του συστήματος, ελέγχεται η βιώσιμη ανάπτυξη του και εξετάζεται η πορεία προς την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

---

## 7.1 Εισαγωγή

Έχοντας συνοψίσει τις ενεργειακές διεργασίες και τα καύσιμα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος την εθνική και ευρωπαϊκή νομοθεσία καθώς και το σύνολο των δεικτών που θα χρησιμοποιηθεί, ακολουθεί η εφαρμογή των πρώτων βημάτων του μεθοδολογικού πλαισίου.

Παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα, ενεργειακά, δημογραφικά και μακροοικονομικά, που απαιτούνται για την προσομοίωση του συστήματος (Βήμα 1<sup>ο</sup>) και τονίζονται οι δυσκολίες που συναντήθηκαν κατά τη συλλογή τους. Δημιουργείται το ενεργειακό σύστημα αναφοράς του συστήματος στο εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού (Βήμα 2<sup>ο</sup>) και εισάγονται όλα τα δεδομένα.

Ακολουθεί, η ιστορική ανάλυση του συστήματος για την περίοδο 1960-2007 (Βήμα 3<sup>ο</sup>). Υπολογίζεται η απαιτούμενη παροχή ενέργειας για την κάλυψη της ζήτησης και τα αποτελέσματα επαληθεύονται με βάση τα αντίστοιχα δεδομένα του Υπουργείου Ανάπτυξης ενώ παράλληλα βαθμονομείται το μοντέλο του ελληνικού ενεργειακού συστήματος και συμπληρώνονται οποιαδήποτε κενά υπάρχουν στα δεδομένα. Παράλληλα, ελέγχεται αν το επιλεγμένο σύνολο δεικτών είναι αντιπροσωπευτικό μπορεί να απεικονίσει όλες τις αλλαγές που συνέβησαν στην Ελλάδα την περίοδο αυτή.

## 7.2 Συλλογή Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων είναι μια επίπονη διαδικασία και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή γιατί αποτελεί τη βάση για την ανάλυση που θα ακολουθήσει. Όσον αφορά στα ενεργειακά δεδομένα, οι κυριότερες πηγές είναι το Υπουργείο Ανάπτυξης και η ΔΕΗ.

Συγκεκριμένα, από το ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, το οποίο δημοσιεύεται ετησίως από το Υπουργείο Ανάπτυξης, λαμβάνονται:

- η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για όλους τους τομείς και
- τα μερίδια του ενεργειακού μίγματος εισόδου και εξόδου καθώς και οι αποδόσεις των ενεργειακών μετατροπών (πλην της ηλεκτροπαραγωγής).

Από τη ΔΕΗ, συλλέγονται τα δεδομένα του ενεργειακού μίγματος εισόδου και εξόδου για την ηλεκτροπαραγωγή, τα οποία είναι διαθέσιμα σε επίπεδο μονάδας. Τα δημογραφικά δεδομένα συγκεντρώνονται από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (Ελ. Στατ, 2010) ενώ τα μακροοικονομικά δεδομένα συλλέγονται από τη Στατιστική Υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Eurostat, 2010). Τέλος, πιθανά κενά στις παραπάνω χρονοσειρές καλύπτονται από άλλες μελέτες που διαθέτουν δεδομένα για το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα (Τσιλιγκιρίδης, 1995 και Heston et al., 2006).

Στις παραγράφους που ακολουθούν παρατίθενται και σχολιάζονται τα κυριότερα δημογραφικά, μακροοικονομικά και ενεργειακά δεδομένα ενώ στην παράγραφο 7.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και εξετάζεται η διαχρονική πορεία της Ελλάδας προς τη βιώσιμη ανάπτυξη

### 7.2.1 Μακροοικονομικά και Δημογραφικά Δεδομένα

Οι χρονοσειρές των απαιτούμενων μακροοικονομικών και δημογραφικών μεγεθών για την χρονική περίοδο 1960-2007 παρατίθενται στον Πίνακα 7.1 και απεικονίζονται σχηματικά στην Εικόνα 7.1. Πρόκειται για τον πληθυσμό της χώρας, το Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ), τόσο το συνολικό όσο και για κάθε κλάδο οικονομικής δραστηριότητας, καθώς και το κατά κεφαλή εθνικό εισόδημα.

Η συλλογή των δεδομένων ήταν αρκετά δύσκολη λόγω μεταβολών στη μέθοδο μέτρησης των μεγεθών αυτών κατά τα τελευταία 50 έτη. Όσον αφορά στον πληθυσμό, υπήρχε μία σύγχυση μεταξύ του μόνιμου και του πραγματικού πληθυσμού στην απογραφή της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας για τα πρώτα έτη της περιόδου μελέτης. Επίσης, για τον υπολογισμό του ΑΕΠ έχουν χρησιμοποιηθεί 3 διαφορετικές μέθοδοι και δεν υπάρχει συνέχεια στις χρονοσειρές. Το πρόβλημα επιδεινώθηκε και από τη νομισματική αλλαγή του 2001 από δραχμές σε ευρώ. Η τελική χρονοσειρά που παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.1 και θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια στους υπολογισμούς προέρχεται από τη Στατιστική Υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, που είχε τα πιο ολοκληρωμένα και ομοιόμορφα δεδομένα (συνεχή και εκφρασμένα στις ίδιες μονάδες).

**Πίνακας 7.1. Εξέλιξη του πληθυσμού, του συνολικού ΑΕΠ καθώς και του ΑΕΠ των κλάδων οικονομικής δραστηριότητας (εκατ. € σε σταθερές τιμές 2005) και του κατά κεφαλή εθνικού εισοδήματος (€ σε σταθερές τιμές 2005) (Eurostat, 2009)**

Έτος	Πληθυσμός	Συνολικό ΑΕΠ	ΑΕΠ Πρωτογενούς	ΑΕΠ Δευτερογενούς	ΑΕΠ Τριτογενούς	Εθνικό Εισόδημα Κατά Κεφαλή
1960	8,327,405	28,529	6,594	7,376	14,558	3,301
1961	8,398,050	32,296	8,499	8,055	15,742	3,712
1962	8,448,233	32,414	7,372	8,406	16,636	3,697
1963	8,479,625	36,253	9,018	9,197	18,038	4,090
1964	8,510,429	39,526	9,108	10,656	19,762	4,420
1965	8,550,333	43,935	10,191	11,993	21,752	4,965
1966	8,613,651	46,789	10,375	12,794	23,619	5,260
1967	8,716,441	49,441	10,626	13,629	25,187	5,466
1968	8,740,765	53,003	9,848	15,918	27,237	5,855
1969	8,772,764	59,132	10,696	18,603	29,833	6,520
1970	8,792,806	79,391	9,107	22,681	47,602	8,721
1971	8,831,036	85,710	9,835	24,948	50,927	9,341
1972	8,888,628	93,589	10,997	27,721	54,872	10,101
1973	8,929,086	99,210	12,919	30,476	55,815	10,623
1974	8,962,023	96,227	12,095	26,948	57,184	10,175

1975	9,046,542	100,021	11,822	27,448	60,751	10,471
1976	9,167,190	105,129	12,462	29,362	63,305	10,916
1977	9,308,479	107,676	11,385	30,666	65,625	11,030
1978	9,429,959	113,455	12,517	32,039	68,899	11,453
1979	9,548,258	115,623	11,659	34,253	69,712	11,420
1980	9,642,505	117,749	13,325	33,832	70,592	11,693
1981	9,729,350	117,742	13,360	33,370	71,012	11,426
1982	9,789,513	114,460	13,536	30,855	70,070	11,067
1983	9,846,627	112,638	12,237	30,927	69,474	10,759
1984	9,895,801	112,782	12,826	30,628	69,328	10,666
1985	9,934,294	116,039	13,007	31,697	71,335	11,035
1986	9,967,264	116,028	12,079	32,217	71,732	11,088
1987	10,000,644	113,681	11,505	30,092	72,084	10,898
1988	10,037,037	117,575	12,385	30,799	74,391	11,187
1989	10,089,550	121,246	12,733	31,477	77,036	11,514
1990	10,160,551	119,096	11,030	30,736	77,329	11,294
1991	10,256,282	119,709	12,524	29,522	77,663	11,217
1992	10,369,828	119,622	11,116	28,478	80,027	11,212
1993	10,465,534	120,704	10,393	28,091	82,220	11,354
1994	10,553,032	119,787	11,254	27,198	81,335	11,242
1995	10,634,391	122,290	10,901	26,242	85,147	11,473
1996	10,709,150	124,477	10,206	26,608	87,663	11,686
1997	10,776,531	128,440	9,877	25,694	92,870	12,051
1998	10,834,910	133,130	9,839	27,443	95,848	12,467
1999	10,882,607	136,157	9,704	27,968	98,485	12,593
2000	10,917,457	142,112	9,365	29,777	102,970	13,118
2001	10,949,953	147,646	9,457	31,582	106,607	13,740
2002	10,987,559	154,025	9,062	30,019	114,944	14,408
2003	11,023,532	164,806	9,023	31,370	124,413	15,478
2004	11,061,735	172,678	8,499	33,516	130,662	16,218
2005	11,103,929	186,890	9,178	36,574	141,138	17,517
2006	11,148,533	198,491	7,759	39,670	151,062	18,557
2007	11,192,849	213,168	8,183	41,809	163,176	

Στην Εικόνα 7.1 διακρίνονται σαφώς τρεις περίοδοι ανάπτυξης της χώρας:

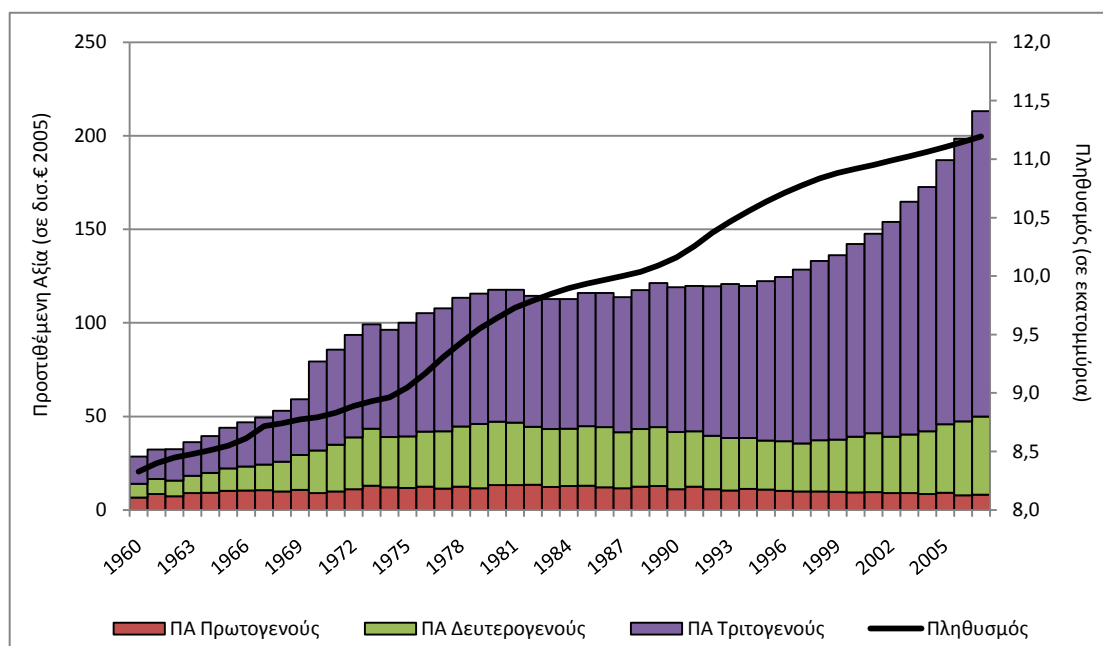
- Μια ήπια ανοδική πορεία (1960-1977)
- Μια περίοδο στασιμότητας (1978-1994) και
- Μια έκρηξη της οικονομικής ανάπτυξης (1995-2007)

Η ελληνική οικονομία αναπτύχθηκε ταχύτατα μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και τον εμφύλιο. Η κατεστραμμένη το 1948 Ελλάδα άρχισε να αναπτύσσεται με πολύ υψηλό ρυθμό κατά τη δεκαετία του 1950 και του 1960. Η τελωνειακή ένωση με την Ευρωπαϊκή Κοινότητα, το Νοέμβριο του 1962, είχε ως αποτέλεσμα ακόμα ταχύτερη ανάπτυξη που εκφράστηκε με τη βελτίωση των υποδομών (νέα κτίρια, νέοι δρόμοι), ίδρυση βιομηχανικών μονάδων, αύξηση της παραγωγικότητας και εμφάνιση του

τουρισμού. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης την περίοδο 1960-1970 αγγίζει το 11%, που αποτελεί μια από τις υψηλότερες τιμές παγκοσμίως για την εποχή εκείνη.

Κατά τη διάρκεια της επταετίας, λόγω και των πολιτικών που εφάρμοζε το καθεστώς, παρατηρείται αύξηση στο ΑΕΠ της χώρας, χαμηλός πληθωρισμός και χαμηλά ποσοστά ανεργίας. Μια ελαφρά κάμψη στην αρχή της δεκαετίας του 1970 οφείλεται τόσο στην πτώση της δικτατορίας και τα γεγονότα που επακολούθησαν αλλά και στις διεθνείς συγκυρίες, όπως η πετρελαϊκή κρίση του 1973. Η μεταπολίτευση βρήκε την ελληνική οικονομία σε στασιμότητα.

Η αυστηρή οικονομική πολιτική που ακολουθήθηκε την περίοδο 1974-1980 είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση και πάλι του ΑΕΠ με ετήσιο ρυθμό της τάξης του 3-4% και οδήγησε στην ένταξη της χώρας στην Ευρωπαϊκή Ένωση ως το δέκατο μέλος. Παρά την ευνοϊκή αυτή εξέλιξη, από το 1980 και μετά η κατάσταση αλλάζει και η χώρα εισέρχεται σε μια νέα, μεγαλύτερη αυτή τη φορά, περίοδο στασιμότητας, η οποία θα διαρκέσει για τα επόμενα 15 χρόνια. Ο ρυθμός αύξησης του ΑΕΠ την περίοδο αυτή είναι μηδενικός, ως αποτέλεσμα των δημοσιονομικών πολιτικών που ακολουθήθηκαν. Η κατάσταση επιβαρύνθηκε και από την πολιτική αστάθεια που οφειλόταν στην εφαρμογή του νόμου της απλής αναλογικής και την τριπλή εκλογική διαδικασία το 1989.



**Εικόνα 7.1. Πληθυσμός, ΑΕΠ και προστιθέμενη αξία των κλάδων οικονομικής δραστηριότητας (εκατ. € σε σταθερές τιμές 2005)**

Τα πρώτα σημάδια ανάκαμψης εμφανίστηκαν μετά το 1993 όταν και έγιναν οι πρώτες οργανωμένες προσπάθειες να αξιοποιηθούν οι δυνατότητες που παρείχε η Ευρωπαϊκή Ένωση και να σταθεροποιηθεί η ελληνική οικονομία. Η ραγδαία αύξηση του ΑΕΠ, που παρατηρείται από τα μέσα της δεκαετίας του 1990, επιταχύνεται από την ανάληψη των Ολυμπιακών Αγώνων το 1997, και τις επενδύσεις σε υποδομές που αυτή προκάλεσε. Στην αύξηση αυτή βοήθησαν, επίσης, τόσο η είσοδος της χώρας

στην Οικονομική και Νομισματική Ένωση (ΟΝΕ) το 2001 όσο και η πρώτη και μοναδική ανατίμηση της δραχμής στην ιστορία της, που ήταν άμεση συνέπεια του γεγονότος αυτού. Τη στιγμή που συγγράφεται η παρούσα διατριβή η κατάσταση έχει αλλάξει άρδην και η χώρα κινείται με μηδενικούς ή και αρνητικούς ρυθμούς ανάπτυξης ως αποτέλεσμα τόσο της διεθνούς οικονομικής κρίσης όσο και των λανθασμένων χειρισμών του παρελθόντος. Αυτό θα ληφθεί υπόψη κατά τη διαμόρφωση των σεναρίων της μελλοντικής εξέλιξης των μεγεθών.

Μελετώντας τους τομείς οικονομικής δραστηριότητας ξεχωριστά παρατηρείται διαχρονικά διαφορετική συμπεριφορά σε κάθε έναν από αυτούς. Η προστιθέμενη αξία του πρωτογενούς τομέα εμφανίζει αυξητική πορεία μέχρι και τα τέλη της δεκαετίας του 1970 με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 4%. Η άνοδος αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην αγροτική εκβιομηχάνιση που ολοκληρώθηκε μέσα στη δεκαετία του 1960. Από το 1981 μέχρι και σήμερα η προστιθέμενη αξία του μειώνεται συνεχώς με μέσο ετήσιο ρυθμό περίπου 2%.

Αντίθετα, ο δευτερογενής και ο τριτογενής τομέας ακολουθούν πορεία που αντικατοπτρίζει τη γενικότερη εικόνα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, όπως προκύπτει και από τον Πίνακα 7.2. Η μόνη τους διαφορά είναι ότι τη δεκαετία 1980-1995 ο δευτερογενής τομέας παρουσιάζει αρνητικό ρυθμό ανάπτυξης ενώ ο τριτογενής συνεχίζει την ανοδική πορεία αλλά με χαμηλότερο ρυθμό. Τέλος, παρατηρείται ότι, σε όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, ο τριτογενής τομέας έχει το μεγαλύτερο μερίδιο στη διαμόρφωση του ΑΕΠ.

**Πίνακας 7.2. Ρυθμός αύξησης της προστιθέμενης αξίας των τριών κλάδων οικονομικής δραστηριότητας**

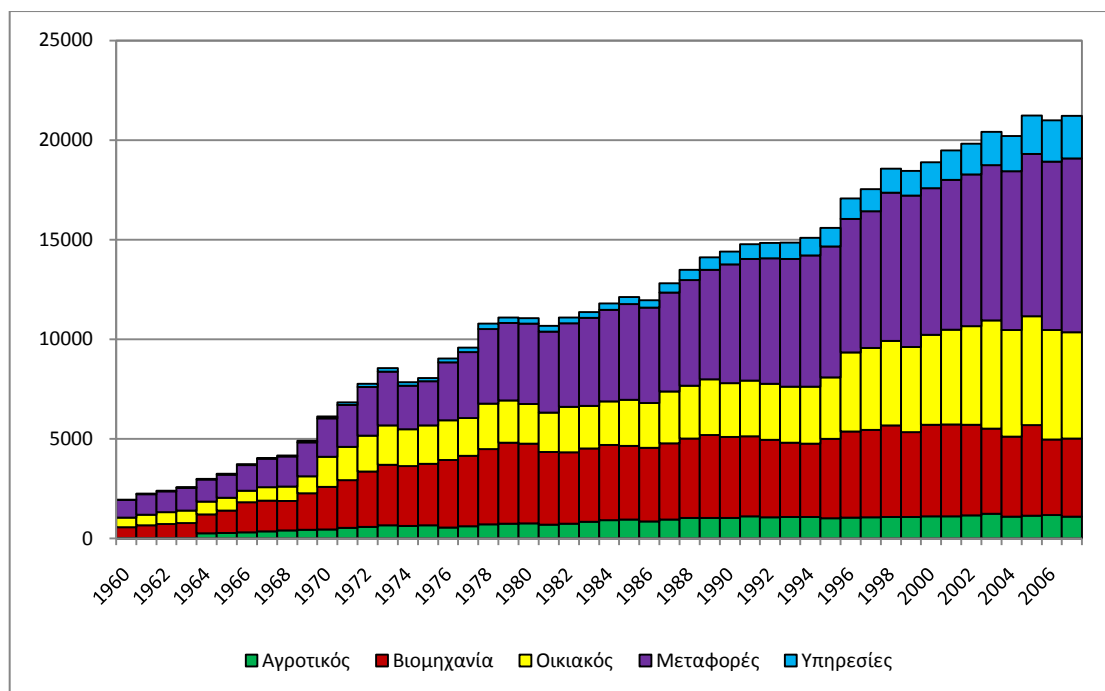
Χρονική Περίοδος	Πρωτογενής Τομέας	Δευτερογενής Τομέας	Τριτογενής Τομέας
<b>1960-1979</b>	+4%	+9%	+9%
<b>1980-1995</b>	-1%	-2%	+1%
<b>1996-2007</b>	-2%	+4%	+5%

### 7.2.2 Τελική Κατανάλωση Ενέργειας

Η κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα εμφανίζει αύξουσα πορεία τα τελευταία 50 χρόνια (Εικόνα 7.2). Ξεκινώντας από 2,000 kTOE το 1960 ξεπέρασε τους 20,000 kTOE το 2001 και εξακολουθεί να έχει αυξητικές τάσεις. Μέχρι το 1982 η εξέλιξη της ήταν ανάλογη με την αντίστοιχη του ΑΕΠ. Σε όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960 και μέχρι το 1973, παρατηρείται έντονη αύξηση, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της επταετίας. Μέσα σε επτά χρόνια η κατανάλωση υπερδιπλασιάστηκε από 4,250 kTOE το 1967 σε 9,200 kTOE το 1973.

Μελετώντας τις επιμέρους συνιστώσες της κατανάλωσης, διαπιστώνεται πως οι μεταφορές είναι ο κυρίαρχος τομέας και παρουσιάζουν σταθερή ανοδική πορεία. Η απότομη αύξηση, όμως, οφείλεται κατά βάση στην αντίστοιχη αύξηση του οικιακού και του βιομηχανικού τομέα. Την περίοδο εκείνη παρατηρήθηκε έντονη οικιστική και βιομηχανική δραστηριότητα. Τη δεκαετία του 1970 οικοδομήθηκαν περίπου 730,000 νέα κτίρια στην Ελλάδα που ήρθαν να προστεθούν στα 2,000,000 υφιστάμενα.

Παράλληλα, την περίοδο 1963-1975 πραγματοποιήθηκε η τρίτη και σημαντικότερη φάση της εκβιομηχάνισης στη χώρα (μετά από την εκβιομηχάνιση επί Τρικούπη και εκείνη του 1930).



**Εικόνα 7.2. Τελική κατανάλωση ενέργειας (σε kTOE)**

Η ανοδική πορεία της κατανάλωσης ενέργειας διακόπτεται απότομα δυο φορές τα επόμενα δέκα χρόνια, ως συνέπεια εθνικών και διεθνών γεγονότων. Η ανατροπή της δικτατορίας καθώς και οι διεθνείς πετρελαϊκές κρίσεις του 1973 και του 1979 είχαν ως αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας τις διετίες που ακολούθησαν τις κρίσεις, δηλαδή 1974-75 και 1980-81 αντίστοιχα. Τα γεγονότα του 1973 είχαν, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.2, αρκετά πιο έντονες συνέπειες και το ενεργειακό σύστημα χρειάστηκε περίπου τρία χρόνια για να επανέλθει στην ανοδική του πορεία.

Σημαντική διαφοροποίηση, ως προς την οικονομική ανάπτυξη της χώρας, παρατηρείται τη δεκαετία του 1980. Ενώ το ΑΕΠ παρέμεινε στάσιμο, η κατανάλωση ενέργειας συνέχισε την ανοδική πορεία με τον ίδιο ρυθμό, κυρίως λόγω της ανάπτυξης του τριτογενούς τομέα. Η ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των υπηρεσιών αυξήθηκε από 4,000 kTOE το 1980 σε 6,000 kTOE το 1990 ενώ στις μεταφορές σχεδόν τετραπλασιάστηκε (από 280 kTOE σε 1,000 kTOE).

Η τελευταία διακοπή της ανοδικής αυτής πορείας παρατηρείται το 1986 και είναι μικρότερης έντασης από τις δύο προηγούμενες. Οι δυο τομείς που επηρεάζονται περισσότερο είναι ο οικιακός και ο αγροτικός. Πιθανή αιτία αποτελεί το ατύχημα στον πυρηνικό σταθμό του Τσερνομπίλ, στη σημερινή Ουκρανία, που σημειώθηκε τον Απρίλιο του έτους αυτού.

Τέλος την εξαετία 1996-2001, και ιδιαίτερα τη διετία 1996-1998, παρατηρείται μια απότομη αύξηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας σε σχέση με τα προηγούμενα και τα επόμενα χρόνια. Σημειώνεται ταυτόχρονα με την ανάληψη των Ολυμπιακών



Αγώνων το 1997, γεγονός που σηματοδότησε την έναρξη μεγάλων έργων ανάπτυξης στη χώρα. Μέσα σε πέντε χρόνια η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 5000 kTOE (από 15,000 kTOE το 1995 σε 20,000 kTOE το 2001). Για να γίνει αντιληπτό το μέγεθος της αύξησης, σημειώνεται ότι η προηγούμενη ισόποση αύξηση συντελέστηκε σε διάστημα 20 ετών.

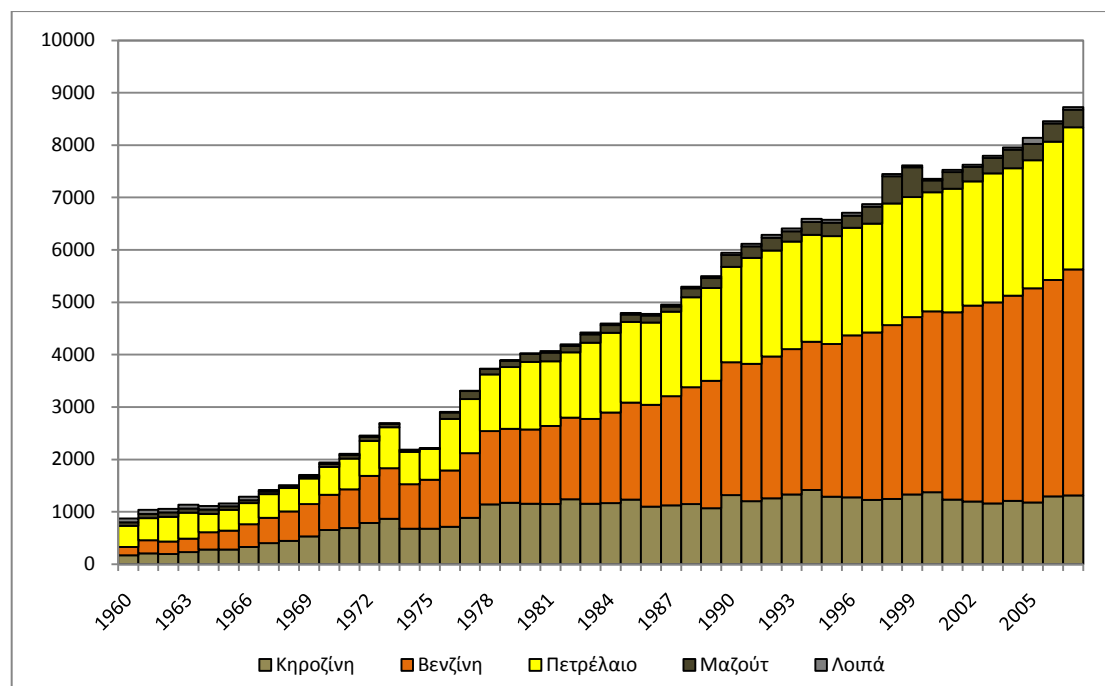
Εκτός από τη συνολική κατανάλωση ενέργειας, η Εικόνα 7.2 επιτρέπει τον εντοπισμό των τομέων εκείνων που διαχρονικά υπήρξαν οι σημαντικότεροι καταναλωτές του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Οι μεταφορές αποτέλεσαν τα τελευταία 35 χρόνια τον τομέα με την υψηλότερη κατανάλωση, με ποσοστό που κυμαινόταν από 35%-45% επί του συνόλου. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980 ο δεύτερος σημαντικότερος καταναλωτής ενέργειας ήταν ο βιομηχανικός τομέας με μερίδιο κοντά στο 30%. Η στασιμότητα, όμως, της βιομηχανίας στην Ελλάδα, σε συνδυασμό με την άνοδο του βιοτικού επιπέδου, είχε ως αποτέλεσμα τη σχετική αύξηση της κατανάλωσης στον οικιακό τομέα, ο οποίος πλέον αποτελεί το δεύτερο σημαντικότερο καταναλωτή με ποσοστό κοντά στο 25% και με συνεχώς αυξητικές τάσεις.

Στις επόμενες παραγράφους εξετάζονται ξεχωριστά οι κυριότεροι τομείς οικονομικής δραστηριότητας της Ελλάδας, καταγράφοντας και εξετάζοντας τη διαχρονική εξέλιξη της καταναλισκόμενης ενέργειας.

#### **7.2.2.1 Τομέας Μεταφορών**

Ο τομέας των μεταφορών είναι ο τομέας με το μεγαλύτερο μερίδιο (35%-45%) στην κατανάλωση τελικής ενέργειας σε όλη τη διάρκεια της χρονικής περιόδου μελέτης. Εμφανίζει πολύ ομαλή συμπεριφορά και η αύξηση της κατανάλωσης μπορεί να θεωρηθεί γραμμική ( $R^2=0.989$ ). Η επίδραση της πετρελαϊκής κρίσης του 1973 είναι πολύ πιο εμφανής στον τομέα των μεταφορών, σε σχέση με την συνολική τελική κατανάλωση, ενώ αντίστοιχα ξεχωρίζει και η απότομη αύξηση στην κατανάλωση (κυρίως μαζούτ) τα έτη 1998-1999 (Εικόνα 7.3).

Όσον αφορά στο ενεργειακό μίγμα, τα κυρίαρχα καύσιμα είναι τρία, η βενζίνη, η κηροζίνη και το πετρέλαιο ντίζελ. Μέχρι το 1978, η κατανάλωση και των τριών αυξάνονταν έντονα με ετήσιο ρυθμό από 8%-14% και τα επιμέρους μερίδια ήταν παρόμοια, της τάξης του 30-35% στο σύνολο του ενεργειακού μίγματος. Έκτοτε, η συνολική ετήσια καταναλισκόμενη ποσότητα κηροζίνης παρέμεινε σταθερή, κοντά στους 1,200 kTOE. Αντίθετα, η κατανάλωση βενζίνης και πετρελαίου αυξάνει συνεχώς με μέσο ετήσιο ρυθμό 3-4%. Σήμερα τα ποσοστά συμμετοχής των τριών αυτών καυσίμων στο ενεργειακό μίγμα του τομέα των μεταφορών είναι 50%, 30% και 15% για βενζίνη, πετρέλαιο και κηροζίνη αντίστοιχα. Το φυσικό αέριο (κυρίως στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς) και τα βιοκαύσιμα έχουν κάνει την εμφάνισή τους τα τελευταία χρόνια αλλά ακόμα το συνολικό ποσοστό συμμετοχής τους δεν ξεπερνά το 1%. Η κατάσταση αυτή αναμένεται να αλλάξει τα επόμενα χρόνια στα πλαίσια της διείσδυσης των ΑΠΕ και στον τομέα των μεταφορών.



Εικόνα 7.3. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στον τομέα των μεταφορών (σε kTOE)

### 7.2.2.2 Βιομηχανικός Τομέας

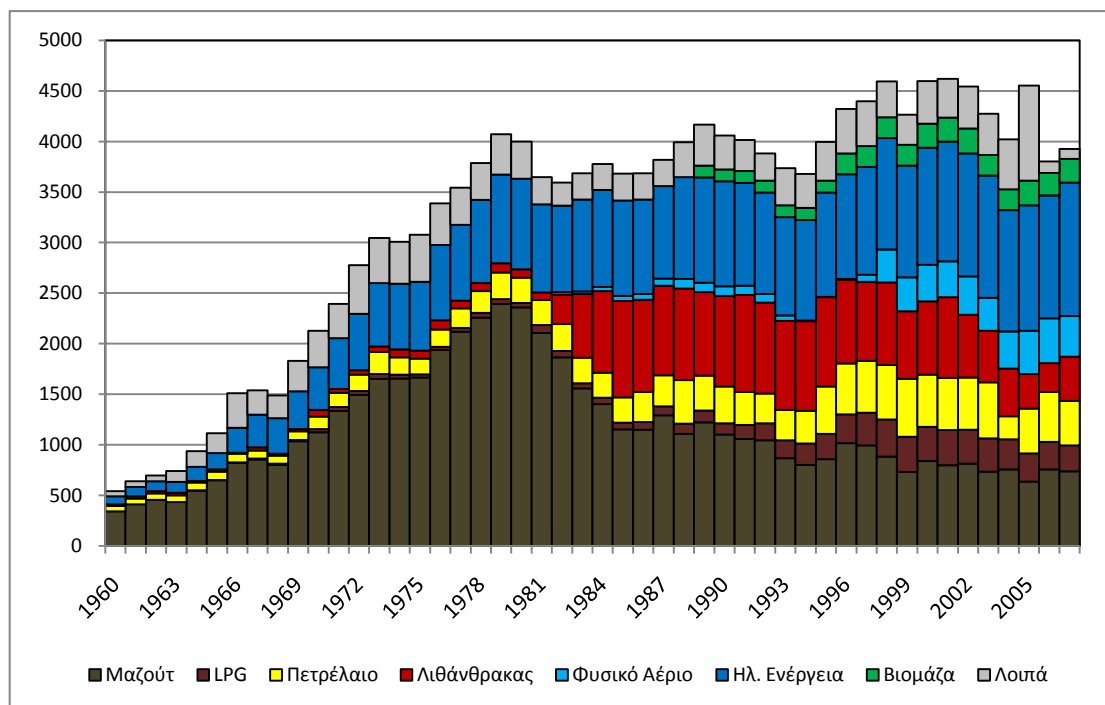
Ο βιομηχανικός τομέας αποτέλεσε έναν από τους δύο κυριότερους καταναλωτές του συστήματος μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970. Στη διαχρονική εξέλιξη της κατανάλωσης (Εικόνα 7.4) διακρίνονται ουσιαστικά δύο φάσεις.

Από το 1960 έως το 1980 παρατηρείται σημαντική αύξηση στην κατανάλωση από 1,000 kTOE σε 4,000 kTOE με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 10%. Την περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκε η τρίτη φάση της εκβιομηχάνισης στην Ελλάδα και λειτούργησαν πολλές νέες βιομηχανικές μονάδες (μη σιδηρούχες, μη μεταλλικές, εξόρυξης, τροφίμων, καπνού και χάρτου). Την ίδια περίοδο, την κυρίαρχη θέση στο μίγμα καυσίμων έχει το μαζούτ με ποσοστό συμμετοχής που ξεπερνά το 55%.

Τα επόμενα 15 χρόνια (1980-1995) η συνολική ετήσια κατανάλωση παραμένει σταθερή (~3,800 kTOE). Είναι η περίοδος κατά την οποία έχουμε στροφή από τη βαριά βιομηχανία στη μεταποίηση. Παράλληλα, μεταβάλλεται σημαντικά το μίγμα καυσίμων με το μερίδιο του μαζούτ να μειώνεται κατακόρυφα και να υποκαθίσταται από ανθρακικά προϊόντα (λιθάνθρακας, λιγνίτης). Αυτό ήταν αποτέλεσμα της εφαρμογής πολιτικών απεξάρτησης από τις εισαγωγές του πετρελαίου και εκμετάλλευσης των εγχώριων πηγών ενέργειας.

Η τελευταία αλλαγή συντελέστηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1990 με την σταδιακή αύξηση και σταθεροποίηση της συνολικής ετήσιας κατανάλωσης στους 4,300 kTOE. Επίσης, παρατηρείται η είσοδος στο μίγμα καυσίμων του φυσικού αερίου (σε ποσοστό 10%) σε βάρος κυρίως των ανθρακικών προϊόντων και λιγότερο των πετρελαϊκών. Τέλος, ο βιομηχανικός τομέας ήταν και παραμένει ο τομέας με την μεγαλύτερη ανομοιομορφία στις επιμέρους τελικές χρήσεις και τη μεγαλύτερη ποικιλομορφία στις ενεργειακές μορφές που καταναλώνονται.

Τέλος, θεωρώντας πως τα πετρελαϊκά και ανθρακικά προϊόντα καθώς και το φυσικό αέριο ικανοποιούν τις θερμικές ανάγκες, αυτές διατηρούνται σταθερές μετά το 1980. Αντίθετα, οι ηλεκτρικές ανάγκες παρουσιάζουν σταθερή αυξητική πορεία καθόλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης.



Εικόνα 7.4. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στο βιομηχανικό τομέα (σε kTOE)

### 7.2.2.3 Οικιακός Τομέας

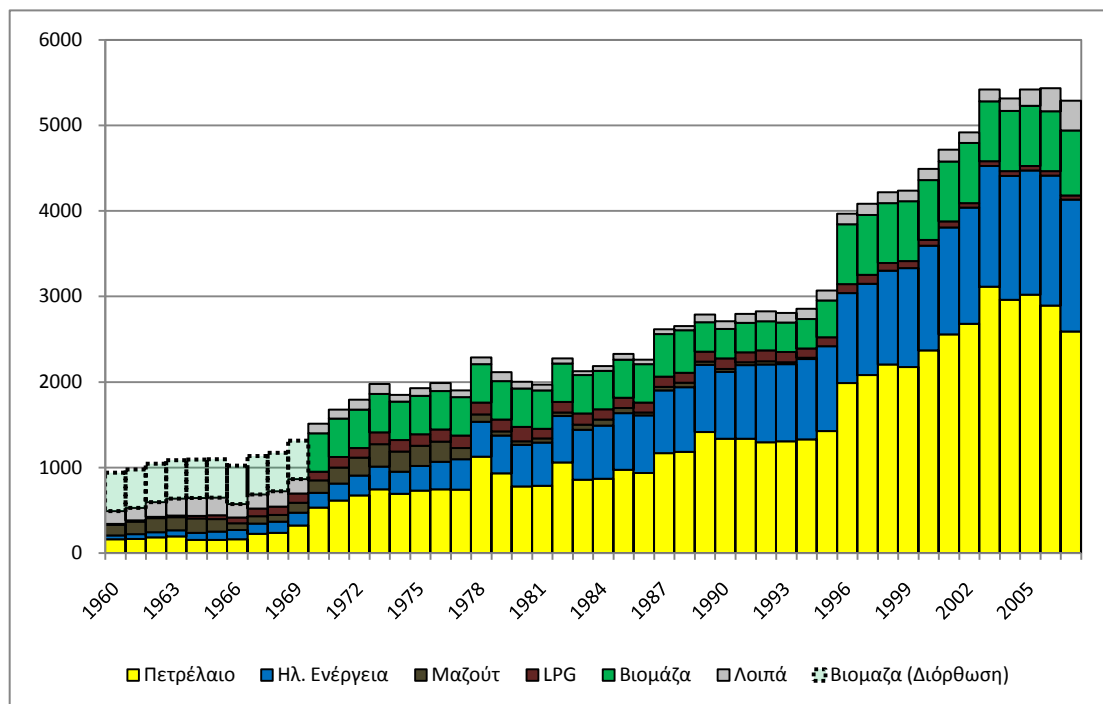
Στην εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας του οικιακού τομέα (Εικόνα 7.5) εντοπίζονται οι ακόλουθες τρεις διακριτές περιόδους, στις οποίες η κατανάλωση αυξάνει, κατά προσέγγιση γραμμικά:

- 1960-1969 με μέσο ετήσιο ρυθμό 7% ( $R^2=0.8817$ )
- 1970-1995 με μέσο ετήσιο ρυθμό 3% ( $R^2=0.9187$ )
- 1996-2007 με μέσο ετήσιο ρυθμό 4% ( $R^2=0.9102$ )

Βέβαια, την περίοδο 1970-1995 εμφανίζονται αυξομειώσεις στη συνολική κατανάλωση που οφείλονται, κατά κύριο λόγο, στις μεταβολές της κατανάλωσης πετρελαίου. Επιπλέον, το 1975 θεσπίστηκε ο Κανονισμός για την απαγόρευση της χρήσης του μαζούτ στη κεντρική θέρμανση. Την επόμενη δεκαετία το μερίδιο του μηδενίστηκε και αντικαταστάθηκε από το πετρέλαιο και την ηλεκτρική ενέργεια.

Παράλληλα, στην Εικόνα 7.5 παρατηρείται ασυνέχεια στην κατανάλωση ενέργειας σε δύο περιπτώσεις, το 1970 και το 1996. Η μεγάλη αύξηση του 1970 οφείλεται στην «ξαφνική» εισαγωγή της βιομάζας στον οικιακό τομέα. Είναι όμως πιθανόν να υπάρχει κάποιο λάθος στα δεδομένα του ενεργειακού ισοζυγίου ή να μη συλλέγονταν στοιχεία για τις παραδοσιακές μορφές καυσίμων μέχρι τότε. Αυτό ενισχύεται και από το ότι η κατανάλωση βιομάζας παραμένει σταθερή τα επόμενα χρόνια. Παρόλα αυτά,

και χωρίς τη συμμετοχή της βιομάζας, η αύξηση παραμένει απότομη και οφείλεται στην έντονη οικιστική δραστηριότητα της περιόδου εκείνης.



**Εικόνα 7.5. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα (σε kTOE)**

Αντίθετα, η μεγάλη αύξηση του 1996 ισοκατανέμεται σε όλα τα καύσιμα και η αυξητική αυτή πορεία συνεχίζεται και τα επόμενα χρόνια. Αντανακλά την άνοδο του βιοτικού επιπέδου την τελευταία δεκαετία και την εμφάνιση νέων τεχνολογιών τελικής χρήσης (π.χ. κλιματιστικά, Η/Υ).

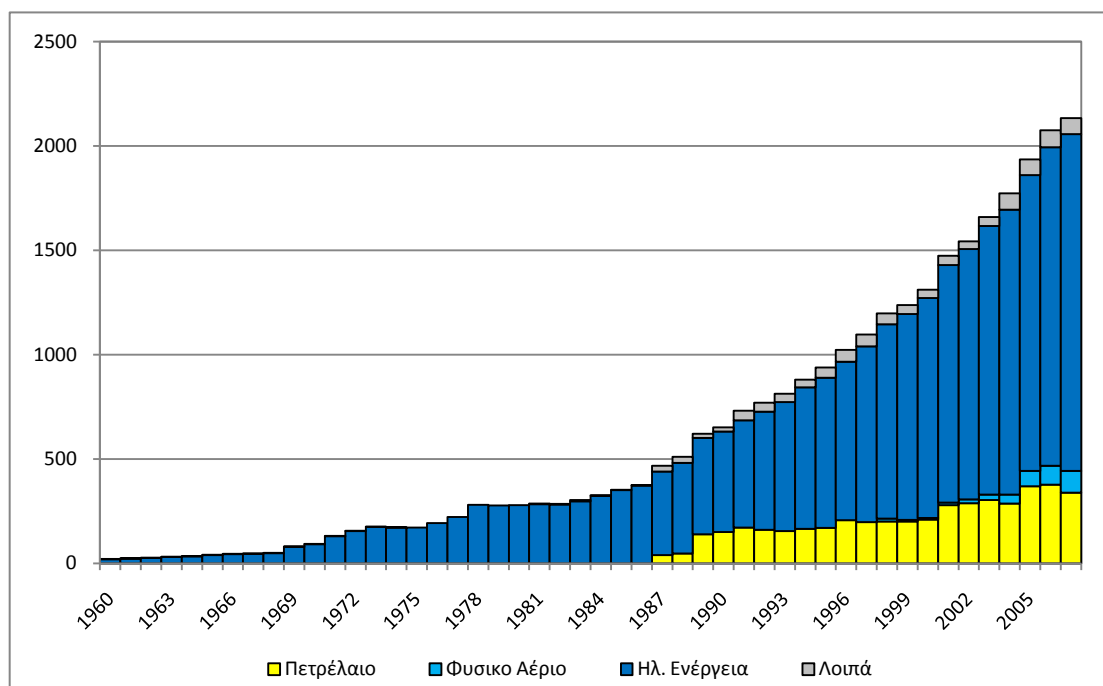
Τέλος, διαχρονικά τα μεγαλύτερα ποσοστά της καταναλισκόμενης ενέργειας στον οικιακό τομέα αντιστοιχούν στο πετρέλαιο ντίζελ (>50%), στην ηλεκτρική ενέργεια (25%) και στις παραδοσιακές μορφές βιομάζας (15%). Η είσοδος του φυσικού αερίου στον οικιακό τομέα πραγματοποιήθηκε το 1999 και ακολούθησε αυξητικές τάσεις, φτάνοντας το 4% το 2007.

#### 7.2.2.4 Εμπορικός Τομέας

Ο εμπορικός τομέας είναι ο τομέας με την πιο μεγάλη χρονική υστέρηση στην ανάπτυξη αλλά ταυτόχρονα και την πιο ομαλή πορεία. Η εξέλιξη της κατανάλωσης (Εικόνα 7.6) περιγράφεται ικανοποιητικά από την εκθετική κατανομή ( $R^2=0.969$ ).

Μέχρι το 1986 ο ρυθμός αύξησης είναι σχετικά χαμηλός και η καταναλισκόμενη ενέργεια δεν ξεπερνά το 3% της συνολικής κατανάλωσης. Από το 1987 η κατανάλωση ενέργειας εκτινάσσεται, γεγονός που οφείλεται κατά βάση στην αύξηση της τουριστικής κίνησης που παρατηρήθηκε εκείνη την περίοδο στην Ευρώπη και επηρέασε και την Ελλάδα. Συγκεκριμένα μέσα σε δέκα χρόνια ο αριθμός των αφίξεων τουριστών στην Ελλάδα διπλασιάστηκε, από 5,000,000 ετησίως περίπου την περίοδο 1974-1984 σε 10,000,000 το 1993. Πλέον ο ετήσιος αριθμός αφίξεων τουριστών στην Ελλάδα είναι μεγαλύτερος από 17,500,000 ετησίως (Ελ. Στατ, 2010)

Την ίδια περίοδο εισάγεται στον εμπορικό τομέα και το πετρέλαιο ντίζελ ενώ μέχρι τότε η καταναλισκόμενη ενέργεια ήταν αποκλειστικά ηλεκτρική.



**Εικόνα 7.6. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στον εμπορικό τομέα (σε kTOE)**

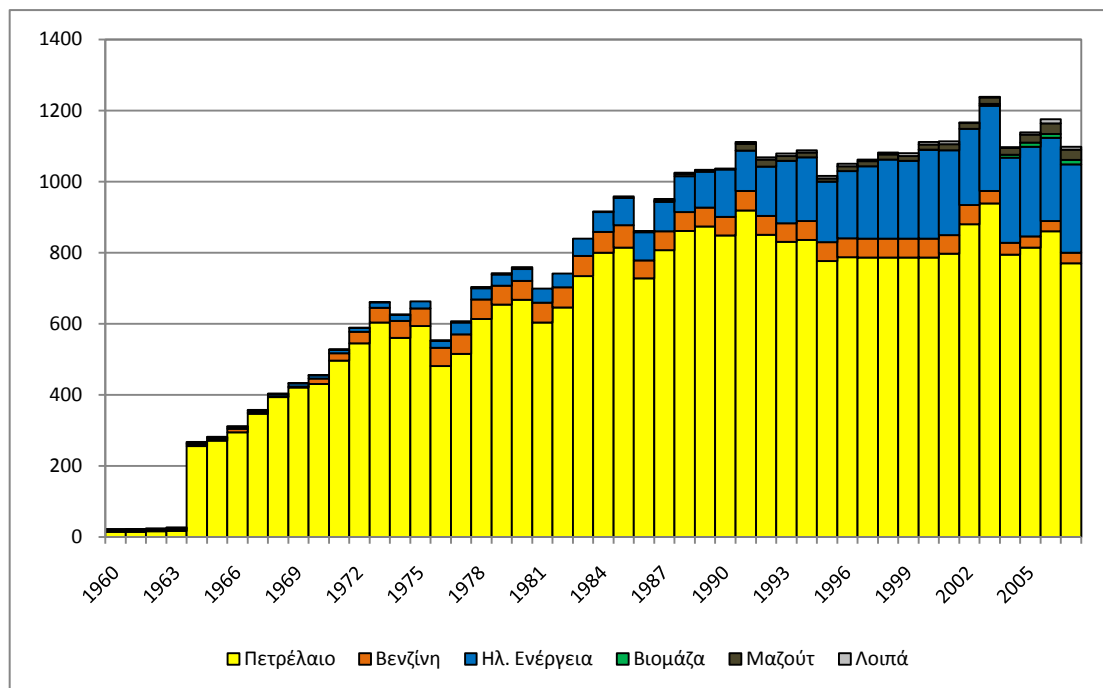
Στα τέλη του εικοστού αιώνα, ο ρυθμός μεταβολής αυξάνεται ακόμα περισσότερο λόγω της λειτουργίας των μεγάλων εμπορικών κέντρων στα αστικά κέντρα, τα οποία άρχισαν να αντικαθιστούν τα συνοικιακά καταστήματα. Τέλος, την ίδια εποχή εισάγεται το φυσικό αέριο, η συμμετοχή του οποίου όμως παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα (~5%). Ηλεκτρική ενέργεια και πετρέλαιο παραμένουν ακόμα οι δύο κυρίαρχες ενεργειακές μορφές με μερίδια 75% και 15% αντίστοιχα.

#### 7.2.2.5 Αγροτικός Τομέας

Η κατανάλωση ενέργειας στον αγροτικό τομέα εμφανίζει τον υψηλότερο ρυθμό ανάπτυξης την περίοδο 1965-1973 (~5%). Στα τέλη της δεκαετίας του 1960 και στις αρχές της επόμενης συντελέστηκε και ολοκληρώθηκε σε μεγάλο βαθμό η εκβιομηχάνιση του τομέα, η οποία είχε αρχίσει τις δύο προηγούμενες δεκαετίες, συνεπικουρούμενη από τα αρδευτικά και εγχειοβελτιωτικά έργα. Ενδεικτικά αναφέρεται πως ο αριθμός των τρακτέρ σχεδόν διπλασιάστηκε σε πέντε χρόνια και από 28,000 τρακτέρ το 1963 άγγιξε τις 52,000 το 1968 (Eurostat, 2007). Διατηρούνται, πάντως, επιφυλάξεις για το κατά πόσο το ξαφνικό άλμα από τους 35 kTOE το 1963 στους 250 kTOE το 1964 οφείλεται αποκλειστικά στην ανάπτυξη του τομέα ή και στην έλλειψη αξιόπιστων δεδομένων.

Την τετραετία 1974-1977 και την διετία 1981-1982 παρατηρείται πτωτική πορεία στην κατανάλωση ενέργειας που οφείλεται κυρίως στις υψηλές, λόγω της κρίσης, τιμές του πετρελαίου. Το 1986 η μεγάλη πτώση που παρατηρείται στην κατανάλωση ενέργειας οφείλεται στο ατύχημα του πυρηνικού αντιδραστήρα στο Τσέρνομπιλ, το οποίο προκάλεσε τη διστακτικότητα των καταναλωτών στην αγορά αγροτικών

προϊόντων, και κατά συνέπεια τη διστακτικότητα των αγροτών να καλλιεργήσουν τις διαθέσιμες εκτάσεις. Από το 1990 και μετά η κατανάλωση ενέργειας σταθεροποιήθηκε λίγο πάνω από τους 1,100 kTOE ετησίως. Ενδιαφέρον, τέλος, παρουσιάζει η διαπίστωση πως τα χρόνια της μεγάλης ξηρασίας στις αρχές της δεκαετίας του 1990 (1989-1993) η κατανάλωση ενέργειας είναι υψηλότερη από το μέσο όρο της περιόδου εκείνης. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει πιθανότατα την αυξημένη ανάγκη για άντληση υδάτων.



**Εικόνα 7.7. Κατανάλωση τελικής ενέργειας στον αγροτικό τομέα (σε kTOE)**

Όσον αφορά στο μίγμα καυσίμων, τα πρώτα χρόνια της περιόδου μελέτης το πετρέλαιο ντίζελ ήταν το μόνο καταναλισκόμενο καύσιμο. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 άρχισε να χρησιμοποιείται η βενζίνη ενώ η ηλεκτρική ενέργεια εμφανίζεται λίγο αργότερα, με την εισαγωγή ηλεκτρικών αντλιών και την κατασκευή των θερμοκηπίων. Την τελευταία εικοσαετία η κατάσταση σταθεροποιήθηκε με το ντίζελ να καλύπτει το 80% της συνολικής κατανάλωσης και την ηλεκτρική ενέργεια με τη βενζίνη το υπόλοιπο 20%.

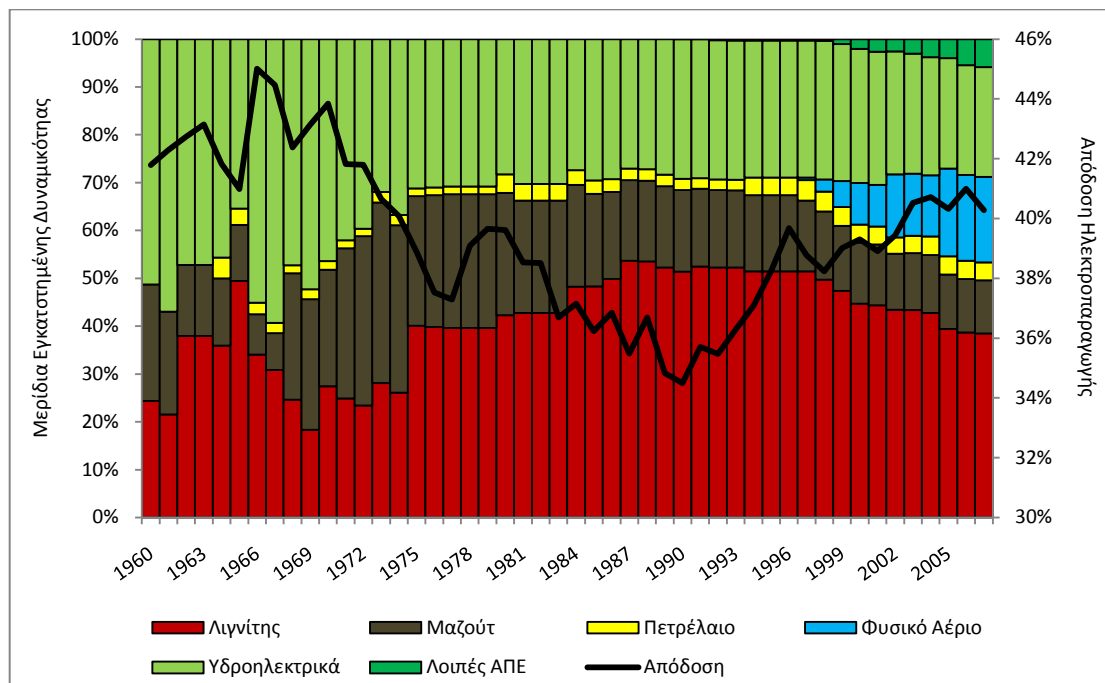
### 7.2.3 Διεργασίες Παραγωγής και Μετατροπής Ενέργειας

Για κάθε διεργασία παραγωγής ή μετατροπής ενέργειας απαιτείται να προσδιοριστούν η δυναμικότητα, η απόδοση και τα μερίδια των καυσίμων του μίγματος εισόδου και εξόδου.

#### 7.2.3.1 Ηλεκτροπαραγωγή

Η Εικόνα 7.8 αποτυπώνει την εξέλιξη του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής της Ελλάδας για την περίοδο μελέτης. Απεικονίζεται η διαχρονική εξέλιξη των δύο πιο ενδεικτικών μεγεθών του:

- της ποσοστιαίας συμμετοχής των διαφόρων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ και
- της συνολικής απόδοσης του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, η οποία ορίζεται ως το πηλίκο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το σύνολο των καταναλισκόμενων πρωτογενών μορφών ενέργειας.

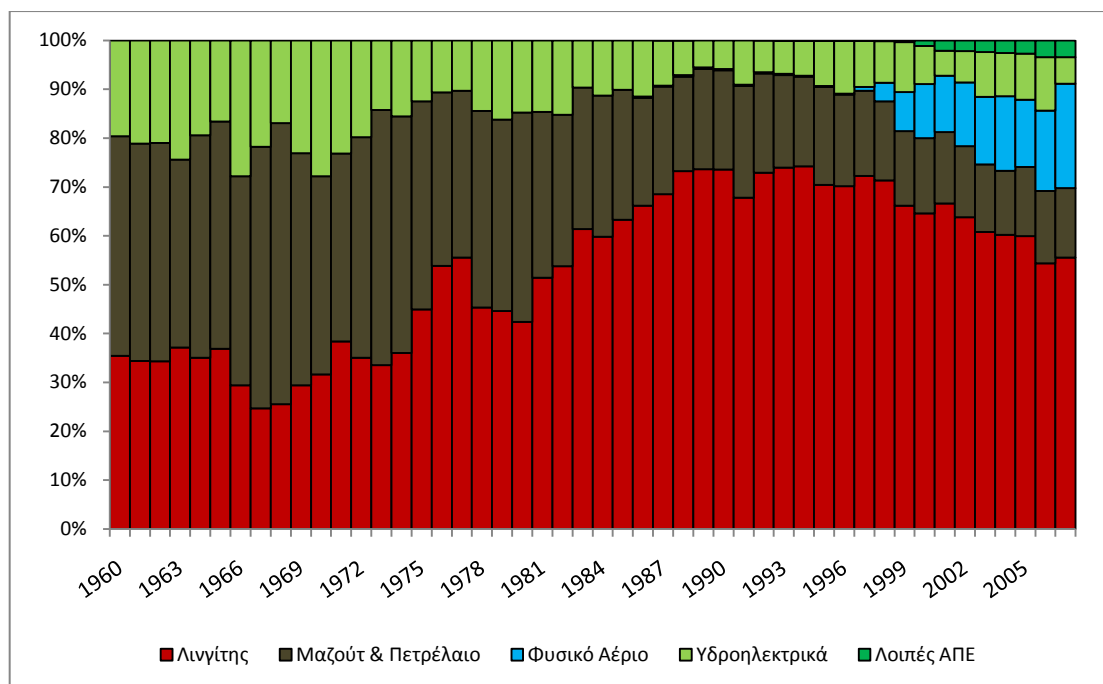


**Εικόνα 7.8. Μερίδια εγκατεστημένης ισχύος ηλεκτροπαραγωγής ανά είδος μονάδας σε συνάρτηση με τη συνολική απόδοση της ηλεκτροπαραγωγής**

Με μια πρώτη παρατήρηση, εντοπίζονται δύο χαρακτηριστικά του συστήματος:

- Η έντονη εξάρτηση από δύο ορυκτά καύσιμα, το εισαγόμενο πετρέλαιο και από τον εγχώριο λιγνίτη
- Η προσπάθεια απεξάρτησης από τις εισαγόμενες ενεργειακές μορφές μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, με σταδιακή αύξηση του μεριδίου του λιγνίτη

Σημειώνεται, επίσης, πως η υψηλή εγκαταστημένη ισχύς των υδροηλεκτρικών είναι σε κάποιο βαθμό παραπλανητική. Αυτό προκύπτει σαφώς από τη σύγκριση του παραπάνω διαγράμματος με την Εικόνα 7.9, όπου παρουσιάζονται τα μερίδια συμμετοχής κάθε μονάδας στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Το μερίδιο της υδροηλεκτρικής παραγωγής είναι πολύ μικρότερο σε σχέση με το αντίστοιχο της εγκατεστημένης ισχύος και μεταβάλλεται διαρκώς. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται εκτός από την ηλεκτροπαραγωγή τόσο για την κάλυψη αναγκών άρδευσης/ύδρευσης όσο και για τη ρύθμιση των αποθεμάτων. Η πολιτική διαχείρισης των υδατικών αποθεμάτων είναι ένα πολύπλοκο ζήτημα και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, κοινωνικούς, πολιτικούς καθώς και κλιματικούς, όπως για παράδειγμα η ξηρασία της περιόδου 1989-1993.



**Εικόνα 7.9. Ποσοστιαία σύσταση του μίγματος ηλεκτροπαραγωγής**

Στην Εικόνα 7.8 παρουσιάζεται επίσης η διαχρονική εξέλιξη της απόδοσης της ηλεκτροπαραγωγής. Μελετώντας τη, σε αντιδιαστολή με την ποσοστιαία συμμετοχή των διαφόρων τεχνολογιών στο μίγμα της ηλεκτροπαραγωγής, διακρίνονται τέσσερις περίοδοι.

Η πρώτη περίοδος διαρκεί δέκα χρόνια, από το 1960 έως το 1970, και η απόδοση παρουσιάζει αυξητικές τάσεις από 42% σε 46%. Η ελάχιστη τιμή που εμφανίζεται την περίοδο αυτή ισούται με 41% το 1965.

Η δεύτερη περίοδος εκτείνεται από το 1970 έως το 1990 με την απόδοση να παρουσιάζει διαρκή πτωτική πορεία από 46% το 1970 σε 34% το 1990, που αποτελεί και τη χαμηλότερη τιμή της απόδοσης του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής καθόλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Μια μικρή διακοπή της πτωτικής πορείας παρατηρείται στις αρχές της δεκαετίας του 1980 με την απόδοση να κυμαίνεται σε τιμές ελαφρώς χαμηλότερες του 40%.

Κατά τη διάρκεια των δύο αυτών περιόδων, δηλαδή μέχρι και το 1990, η απόδοση της ηλεκτροπαραγωγής μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς το μερίδιο του λιγνίτη. Ο λιγνίτης, είχε διαχρονικά το μεγαλύτερο μερίδιο στο μίγμα εισόδου του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής και είναι φυσικό να διαμορφώνει αυτός τη συνολική απόδοση.

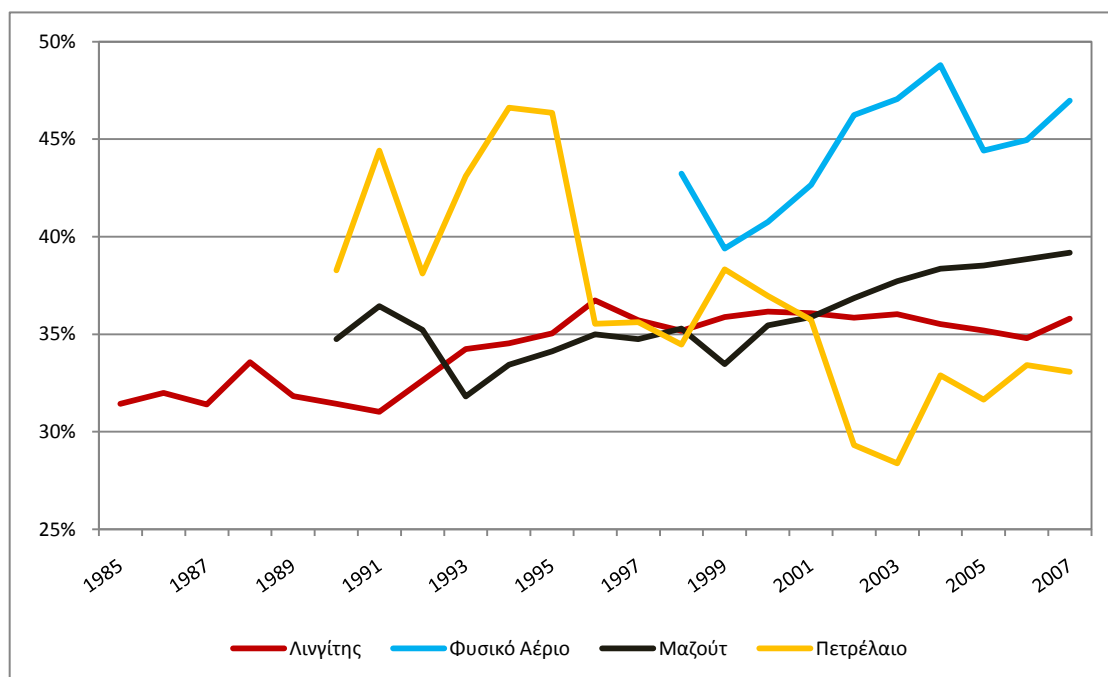
Από το σημείο εκείνο και μετά η κατάσταση αλλάζει και για την περίοδο 1990-1996 η απόδοση παρουσιάζει συνεχή αυξητική πορεία από το 34% στο 40% παρόλο που το ποσοστό συμμετοχής των διαφόρων τεχνολογιών παραμένει σταθερό. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον αυξημένο βαθμό απόδοσης των νέων λιγνιτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής που εντάχθηκαν στο σύστημα από το 1991, κάτι που



επιβεβαιώνεται και από την Εικόνα 7.10, όπου παρουσιάζεται ο βαθμός απόδοσης ηλεκτροπαραγωγής ανά είδος μονάδας.

Από το 1997 μέχρι και σήμερα ο βαθμός απόδοσης παραμένει της τάξης του 40% με ελαφρές αυξητικές τάσεις. Είναι προφανές πως η μικρή αυτή αλλά σταθερή αύξηση οφείλεται στην είσοδο νέων τεχνολογιών στο μίγμα ηλεκτροπαραγωγής. Συγκεκριμένα, από τη χρονιά εκείνη εισάγεται το φυσικό αέριο, του οποίου το μερίδιο στη συνολική εγκατεστημένη ισχύ είναι σήμερα μεγαλύτερο από 15%. Επίσης, δύο χρόνια αργότερα, το 1999, ξεκινούν να λειτουργούν σε μεγάλη κλίμακα μονάδες ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, πέραν των υδροηλεκτρικών μονάδων, και κατά κύριο λόγο αιολικά πάρκα.

Οι επιμέρους αποδόσεις ανά είδος μονάδας ηλεκτροπαραγωγής δεν είναι διαθέσιμες για όλη τη χρονική διάρκεια της περιόδου μελέτης αλλά μόνο για την περίοδο 1985-2007 και η εξέλιξή τους παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.10, με βάση τα στοιχεία κατανάλωσης και παραγωγής της ΔΕΗ. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης οι αποδόσεις για τα έτη 1960-1985 λαμβάνονται αρχικά ίσες με την τιμή του 1985 και διορθώνονται στη συνέχεια, καθώς βαθμονομείται το μοντέλο ως προς την απαιτούμενη παροχή πρωτογενούς ενέργειας.



**Εικόνα 7.10. Βαθμός απόδοσης ηλεκτροπαραγωγής ανά είδος μονάδων**

Η αύξηση που παρατηρείται στο βαθμό απόδοσης των λιγνιτικών μονάδων στις αρχές της δεκαετίας του 1990 οφείλεται στην προσθήκη νέων σύγχρονων μονάδων, με υψηλότερο βαθμό απόδοσης (Πίνακας 7.3). Η αντίστοιχη πτώση των πετρελαϊκών μονάδων οφείλεται στη γήρανση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων χωρίς να υπάρχει σημαντική προσθήκη νέων. Τέλος, ο βαθμός απόδοσης των μονάδων φυσικού αερίου αυξάνεται από 40% το 1999, όταν πρωτοεμφανίστηκαν, σε 48% το 2007.

Για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα, στον Πίνακα 7.3 παρουσιάζεται η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής ανά πενταετία κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών. Τονίζεται πως οι τιμές είναι προσεγγιστικές καθώς και εδώ υπάρχουν διαφορές στα μεγέθη ανάλογα με την πηγή.

**Πίνακας 7.3. Εγκατεστημένη ισχύς ηλεκτροπαραγωγής (σε MW)**

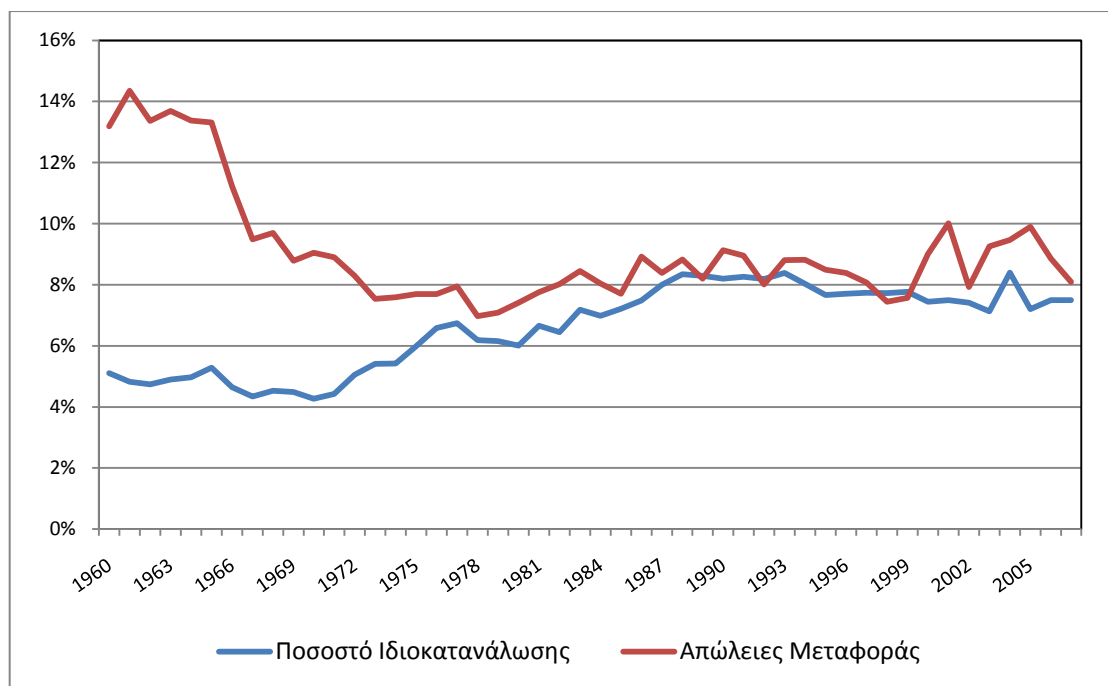
Έτος	Μαζούτ	Λιγνίτης	Πετρέλαιο	Φυσικό Αέριο	Υδροηλεκτρικά	Λοιπές ΑΠΕ
1960	80	80	0	0	168	0
1965	80	80	0	0	212	0
1970	544	613	41	0	1,036	0
1975	1,224	1,813	74	0	1,411	0
1980	1,279	2,113	194	0	1,411	0
1985	1,329	3,323	194	0	2,029	0
1990	1,403	4,233	194	0	2,404	3
1995	1,403	4,533	327	0	2,523	27
2000	1,403	4,899	409	960	3,072	223
2007	1,525	5,288	517	2,454	3,150	804

Πηγή: ΔΕΗ (2009), ΥΠΕΚΑ (2010) και ΕΛΕΤΑΕΝ (2010)

Τα μερίδια εισόδου και εξόδου δεν χρειάζεται να προσδιοριστούν καθώς πρόκειται στην πλειοψηφία τους για διεργασίες με ένα καύσιμο εισόδου και ένα καύσιμο εξόδου. Εξαιρέση αποτελούν οι λιγνιτικές μονάδες, όπου καταναλώνονταν στο παρελθόν πολύ μικρές ποσότητες λιθάνθρακα και μπρικετών που αντιστοιχούσαν σε ποσοστό 3-4% στο συνολικό μίγμα εισόδου. Για τις βοηθητικές καταναλώσεις, τα δεδομένα λαμβάνονται από το ισοζύγιο ενέργειας του Υπουργείου Ανάπτυξης στο σύνολο του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.

Παράλληλα, εξετάζεται η συσχέτιση μεταξύ της ιδιοκατανάλωσης και της τελικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και η διαχρονική εξέλιξη του βαθμού απωλειών κατά τη μεταφορά και τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 7.11, το δίκτυο μεταφοράς και διανομής της ΔΕΗ βελτιώθηκε αισθητά την περίοδο 1960-1973 και ο βαθμός απωλειών μειώθηκε από το 14% στο 8%. Έκτοτε, παραμένει σταθερός σε αυτά τα επίπεδα, λίγο πάνω ή κάτω από το 8%.

Όσον αφορά στην ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στις μονάδες παραγωγής της, παρατηρείται μια ελαφρά αύξηση από 5%, στο οποίο βρισκόταν την περίοδο 1960-1970, σε 8%, στο οποίο παραμένει από το 1990 μέχρι και σήμερα. Η αύξηση αυτή παρατηρείται την περίοδο 1970-1990 και εκ πρώτης όψεως φαίνεται να συσχετίζεται με την αύξηση του μεριδίου των λιγνιτικών μονάδων την ίδια περίοδο. Ασφαλέστερα συμπεράσματα θα μπορούσαν να εξαχθούν από την ιδιοκατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένα τα οποία δεν είναι όμως διαθέσιμα για την περίοδο μελέτης.



**Εικόνα 7.11. Απώλειες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και μερίδια ιδιοκατανάλωση στην ηλεκτροπαραγωγή.**

### 7.2.3.2 Διυλιστήρια

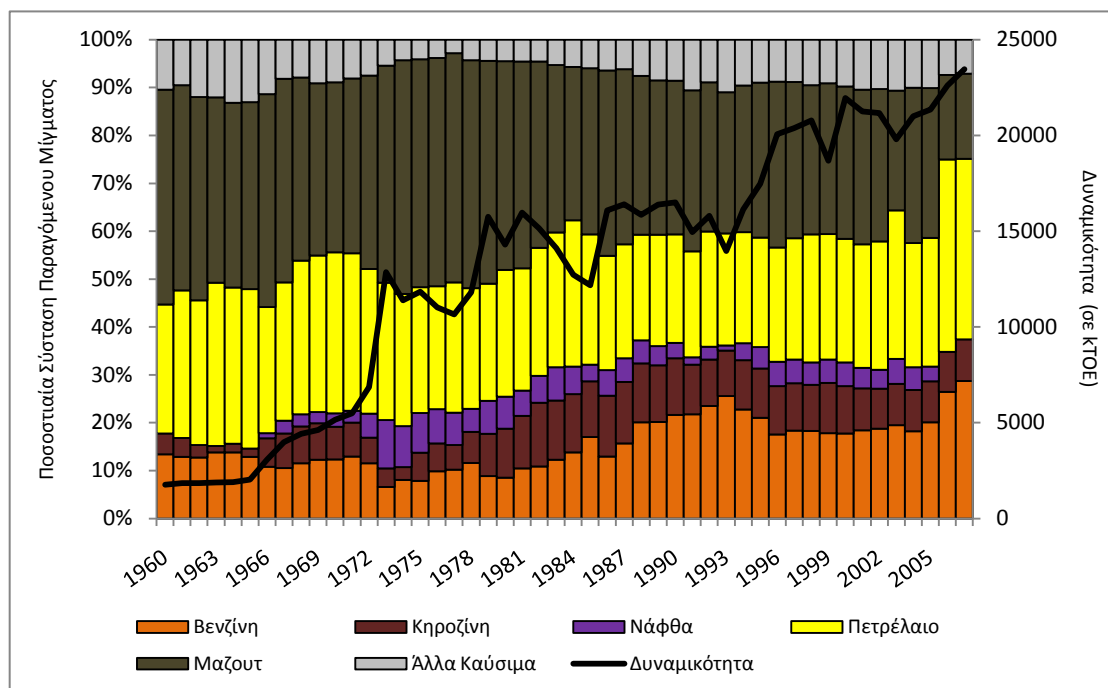
Στην Εικόνα 7.12 παρουσιάζεται η εξέλιξη της δυναμικότητας των ελληνικών διυλιστηρίων αλλά και της ποσοστιαίας σύστασης του παραγόμενου μίγματος. Λόγω έλλειψης δεδομένων, η δυναμικότητα εκφράζεται σε μονάδες ενέργειας, αντιπροσωπεύοντας το ενεργειακό περιεχόμενο του διυλιζόμενου αργού και ως εκ τούτου οι αυξομειώσεις μεταξύ διαδοχικών ετών δεν οφείλονται απαραίτητα σε μεταβολές στην εγκατεστημένη ισχύ. Παρόλα αυτά, οι εξελίξεις των τελευταίων 50 ετών μπορούν να μελετηθούν και να εξαχθούν συμπεράσματα για τις διαμορφούμενες τάσεις.

Η αρχική δυναμικότητα των διυλιστηρίων ήταν της τάξης των 2,000 kTOE. Το μέγεθος αυτό διπλασιάζεται την περίοδο 1966-1967, όταν ιδρύεται το διυλιστήριο της Θεσσαλονίκης, αλλά εκτοξεύεται από 5,000 kTOE το 1970 σε 12,000 kTOE το 1973. Η αύξηση αυτή οφείλεται στην ίδρυση των διυλιστηρίων της Ελευσίνας και των Αγίων Θεοδώρων αλλά και στο διπλασιασμό της δυναμικότητας του διυλιστηρίου του Ασπροπύργου. Τα επόμενα χρόνια προστίθενται μερικές ακόμα μικρότερες μονάδες και η δυναμικότητα για τα έτη 1980-1995 παραμένει σταθερή κοντά στους 15,000 kTOE.

Αυτό που μεταβάλλεται είναι η σύσταση του παραγόμενου μίγματος. Μέχρι το 1980 το μαζούτ αποτελούσε το κύριο προϊόν της διύλισης, με μερίδιο που έφτανε μέχρι και το 50% κάποια έτη. Τη δεκαετία, όμως, που ακολούθησε εγκαταστάθηκαν και λειτούργησαν νέες μονάδες επεξεργασίας του μαζούτ (καταλυτική πυρόλυση, καταλυτική αναμόρφωση, απόσταξη υπό κενό) προς προϊόντα ελαφρύτερα και υψηλότερης προστιθέμενης αξίας (κυρίως βενζίνες και πετρέλαιο ντίζελ). Η τάση αυτή συνεχίζεται μέχρι σήμερα στο πλαίσιο των αυστηρών περιβαλλοντικών

προδιαγραφών της Ε.Ε. Η τελευταία σημαντική μεταβολή παρατηρείται τη διετία 1994-1996 με τη δυναμικότητα να αυξάνει κατά 4,000 kTOE (16,600 το 1994, 20,600 το 1996) λόγω της επέκτασης του διυλιστηρίου του Ασπρόπυργου.

Όσον αφορά το μίγμα εισόδου, μέχρι το 1985 ήταν αποκλειστικά αργό πετρέλαιο ενώ στη συνέχεια εμπλουτίστηκε με υλικό αφετηρίας σε αναλογία 88%-12%.

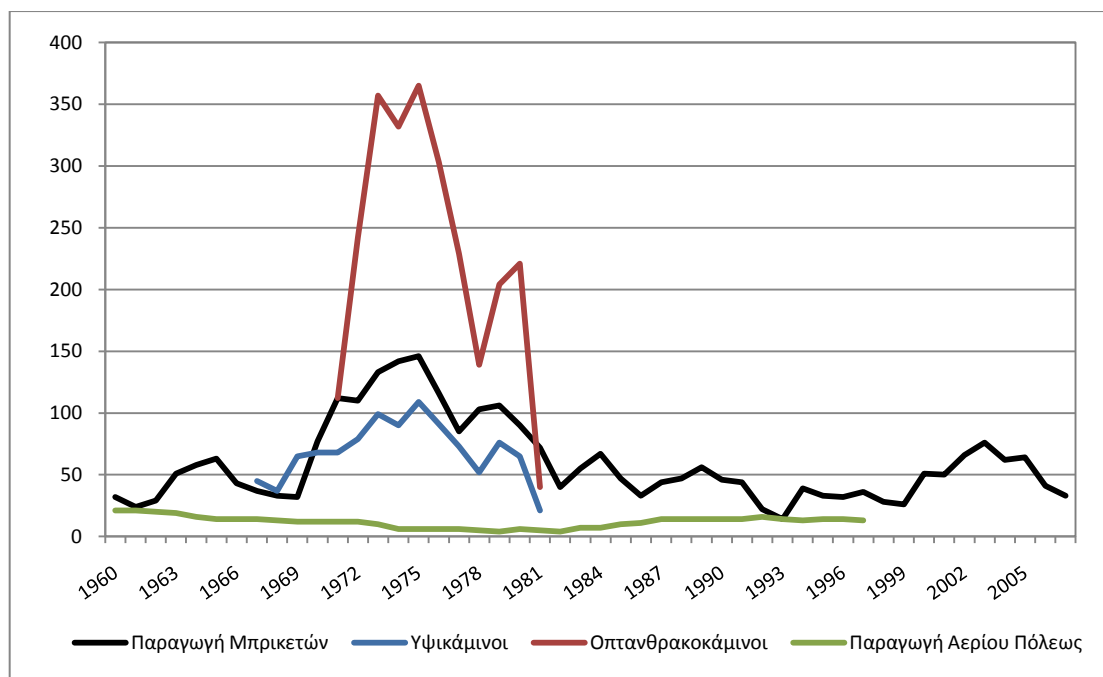


**Εικόνα 7.12. Δυναμικότητα των διυλιστηρίων και ποσοστιαία σύσταση του παραγόμενου μίγματος.**

### 7.2.3.3 Λοιπές Διεργασίες

Για τις υπόλοιπες δευτερεύουσες διεργασίες (οπανθρακοκάμιννοι, υψικάμιννοι, παραγωγή αερίου πόλεως, παραγωγή μπρικετών λιγνίτη) τα δεδομένα είναι αρκετά ασαφή. Δεν μπορεί λοιπόν να εξαχθεί κάποιο σαφές συμπέρασμα για την εξέλιξη του βαθμού απόδοσης.

Στην Εικόνα 7.13 παρουσιάζεται η εξέλιξη της δυναμικότητας των διεργασιών αυτών σε μονάδες ενέργειας, οι οποίες εκφράζουν το ενεργειακό περιεχόμενο των παραγόμενων καυσίμων (αέριο πόλεως ή μπρικέτες λιγνίτη). Επισημαίνεται, ότι οι περισσότερες εκ των διεργασιών σχετίζονταν με την παραγωγή του αερίου πόλεως και έχουν σταματήσει τη λειτουργία τους. Εξάιρεση αποτελεί η παραγωγή των μπρικετών λιγνίτη. Για το λόγο αυτό στην Εικόνα 7.13 δεν υπάρχουν στοιχεία για όλα τα έτη της περιόδου μελέτης. Ακριβή στοιχεία για την περίοδο λειτουργίας κάθε μιας από τις διεργασίες δίνονται στον Πίνακα 6.2.



Εικόνα 7.13. Δυναμικότητα των δευτερευουσών ενεργειακών διεργασιών (σε kTOE)

## 7.3 Διαχρονική Μελέτη της Βιωσιμότητας

Όλα τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα εισάγονται στο εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού, όπως περιγράφεται στο Παράρτημα Π.1.3, και επιλύεται το ενεργειακό ισοζύγιο, επαληθεύοντας τα στοιχεία που δημοσιεύονται από το Υπουργείο Ανάπτυξης. Παράλληλα υπολογίζονται οι ενεργειακοί δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης για 47 χρόνια, από το 1960 έως το 2007.

### 7.3.1 Κοινωνική Συνιστώσα

#### 7.3.1.1 Προσβασιμότητα

Ο Πίνακας 7.4 παρουσιάζει την εξέλιξη του ποσοστού των νοικοκυριών με πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια και σε σύγχρονες υπηρεσίες ενέργειας για δύο από τις κυριότερες οικιακές ενεργειακές χρήσεις, θέρμανση χώρου και μαγείρεμα. Οι τιμές δεν είναι συνεχείς, καθώς μέχρι το 1968 η απογραφή ανέσεων των νοικοκυριών γινόταν κάθε χρόνο ενώ στη συνέχεια ανά εξαετία και τα τελευταία χρόνια ανά πενταετία. Επίσης, το 1974 τα δημοσιευμένα στατιστικά στοιχεία δεν είναι πλήρη σε σύγκριση με τα αντίστοιχα των προηγούμενων και επόμενων ετών. Παρόλα αυτά, μπορούν να παρατηρηθούν κάποιες τάσεις στη μεταβολή των 3 αυτών μεγεθών.

Το ποσοστό των ηλεκτροδοτούμενων νοικοκυριών αυξάνεται διαρκώς και αγγίζει το μέγιστο το 1982. Μια μικρή μείωση που παρατηρείται το 1994 πιθανότατα οφείλεται σε δειγματοληπτικό σφάλμα. Καταλυτικό σημείο στην εξέλιξη του ποσοστού αποτέλεσε η ίδρυση της ΔΕΗ το 1950. Έκτοτε ξεκίνησε η σταδιακή αλλά ταχεία ηλεκτρική διασύνδεση όλης της χώρας. Από το 1960 παρατηρείται επίσης συνεχής

βελτίωση των ενεργειακών υπηρεσιών αλλά και άνοδος του βιοτικού επιπέδου, όπως αυτό αποτυπώνεται στο ποσοστό κτήσης συσκευών από τα νοικοκυριά.

### 7.3.1.2 Οικονομική Εφικτότητα

Ο Πίνακας 7.4 απεικονίζει επίσης τη μεταβολή του ποσοστού του ετήσιου εισοδήματος των νοικοκυριών που δαπανάται για αγορά καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας. Εμφανίζεται και σε αυτή την περίπτωση το ίδιο πρόβλημα σχετικά με την ασυνέχεια των τιμών. Η γενική παρατήρηση που μπορεί να διατυπωθεί είναι ότι μέχρι το 1974 το ποσοστό παραμένει σταθερό κοντά στο 4%, αλλά μετά τη μεταπολίτευση αυξάνεται και φτάνει στο 6%, υποδηλώνοντας μια αύξηση των τιμών των καυσίμων με υψηλότερο ρυθμό από ότι το εισόδημα.

**Πίνακας 7.4. Προβασιμότητα και οικονομική εφικτότητα του ελληνικού ενεργειακού συστήματος**

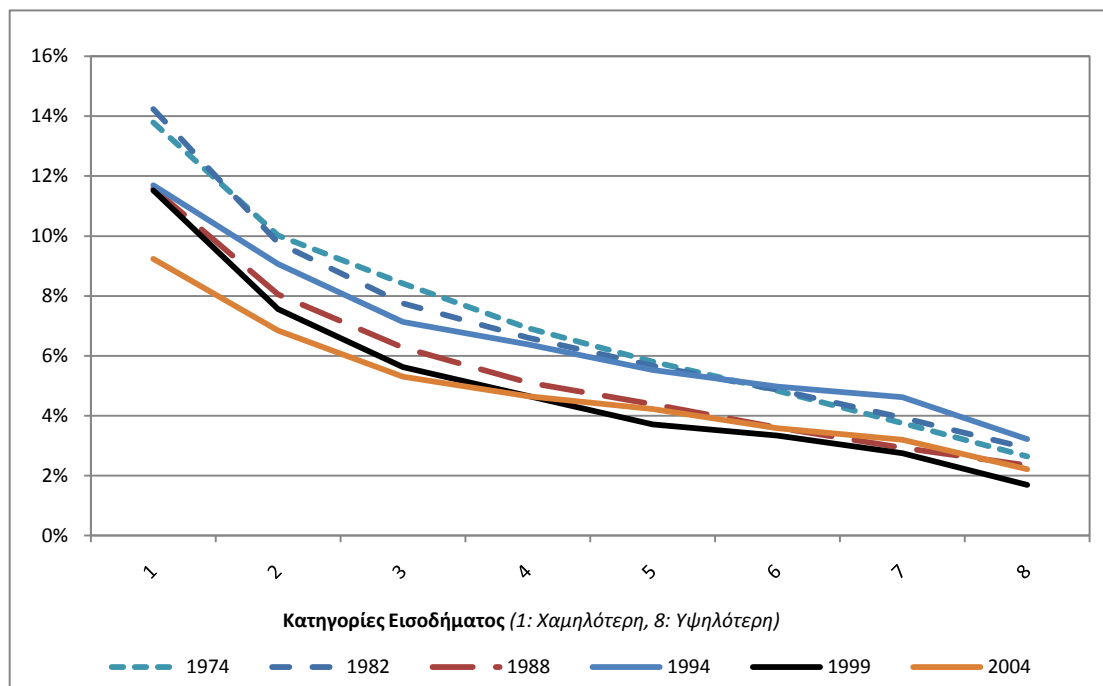
Έτος	SOC1			SOC2
	Πρόσβαση σε Ηλεκτρική Ενέργεια	Ηλεκτρικές Συσκευές για Μαγείρεμα	Κεντρική Θέρμανση	Ποσοστό του εισοδήματος που δαπανάται για την αγορά καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας
1962	95%	28%	Μη Διαθέσιμο	4.3%
1968	98%	46%	Μη Διαθέσιμο	4.0%
1974	99%	50%	20%	4.2%
1982	99%	53%	31%	5.8%
1988	99%	64%	37%	5.8%
1994	97%	78%	50%	6.0%
1999	99%	83%	59%	5.5%
2004	100%	86%	68%	5.7%

### 7.3.1.3 Κοινωνική Ανισότητα

Αντίστοιχα δεδομένα με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη της οικονομικής εφικτότητας, δηλαδή το ποσοστό του εισοδήματος των νοικοκυριών που δαπανάται για αγορά καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας, δεν είναι διαθέσιμα ανά κατηγορία εισοδήματος. Για το λόγο αυτό ο δείκτης της κοινωνικής ανισότητας ορίζεται ως το ποσοστό των ετήσιων δαπανών που αντιστοιχεί σε αγορά καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας για οκτώ διαφορετικές κατηγορίες εισοδήματος (Εικόνα 7.14).

Οι οκτώ κατηγορίες εισοδήματος καθορίζονται από τη Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία ενώ τα δεδομένα είναι διαθέσιμα από το 1974. Διαπιστώνεται ότι η διαφορά μεταξύ υψηλών και χαμηλών εισοδημάτων μειώνεται με την πάροδο του χρόνου από 10% σε 7%. Είναι εμφανές όμως, ότι στις κοινωνικές ομάδες με χαμηλότερο εισόδημα η κάλυψη των βασικών τους ενεργειακών αναγκών απορροφά μεγαλύτερο ποσοστό των ετήσιων εξόδων τους. Προφανώς, σε απόλυτα μεγέθη οι κοινωνικές ομάδες υψηλότερου εισοδήματος δαπανούν μεγαλύτερα ποσά για τις ενεργειακές τους ανάγκες αλλά αυτό που έχει σημασία είναι η κοινωνική ανισότητα

που υπάρχει και η αδυναμία των χαμηλόμισθων να καλύψουν άλλες βασικές τους ανάγκες.



**Εικόνα 7.14.** Ποσοστό των ετήσιων εξόδων ενός νοικοκυριού που δαπανάται για την αγορά καυσίμων και ηλεκτρικής ενέργειας για 8 διαφορετικές κατηγορίες εισοδήματος

## 7.3.2 Οικονομική Συνιστώσα

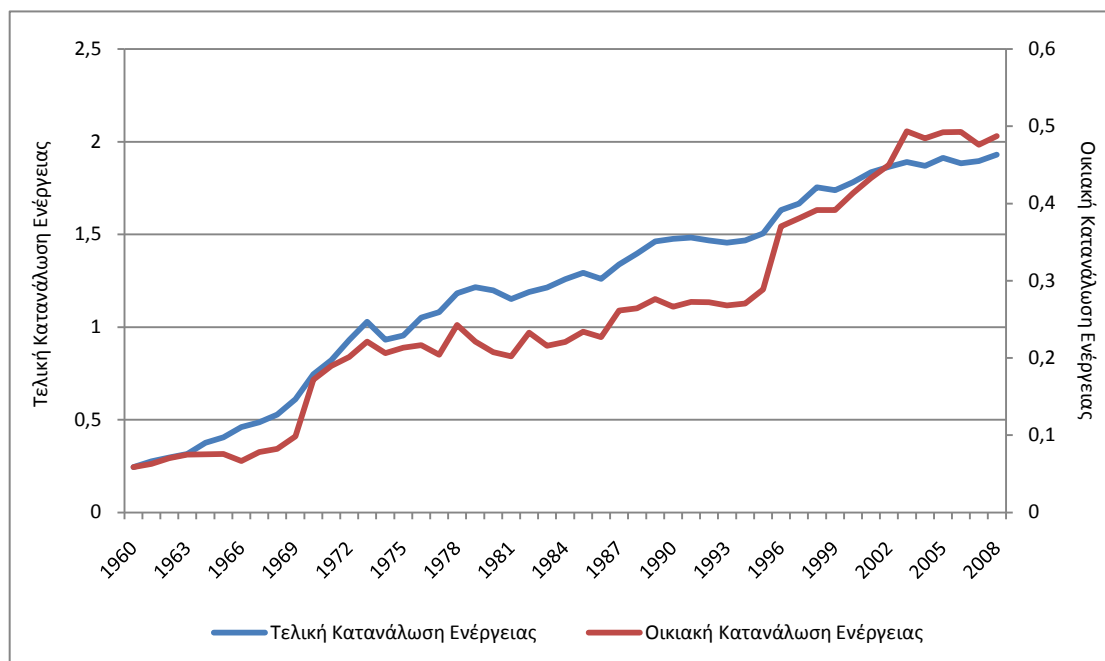
### 7.3.2.1 Χρήση Ενέργειας

Στην Εικόνα 7.15 παρουσιάζεται η εξέλιξη της κατά κεφαλή κατανάλωσης τελικής ενέργειας και της κατανάλωσης ενέργειας στον οικιακό τομέα ενώ στην Εικόνα 7.16 η εξέλιξη της κατά κεφαλή παροχής πρωτογενούς ενέργειας. Η τελική κατανάλωση ενέργειας και η παροχή πρωτογενούς ενέργειας εμφανίζουν όμοια συμπεριφορά. Συγκριτικά με την κατανάλωση οικιακής ενέργειας ακολουθούν παρόμοια αυξητική συμπεριφορά σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης με κάποιες μικρές αλλά ουσιώδεις διαφορές.

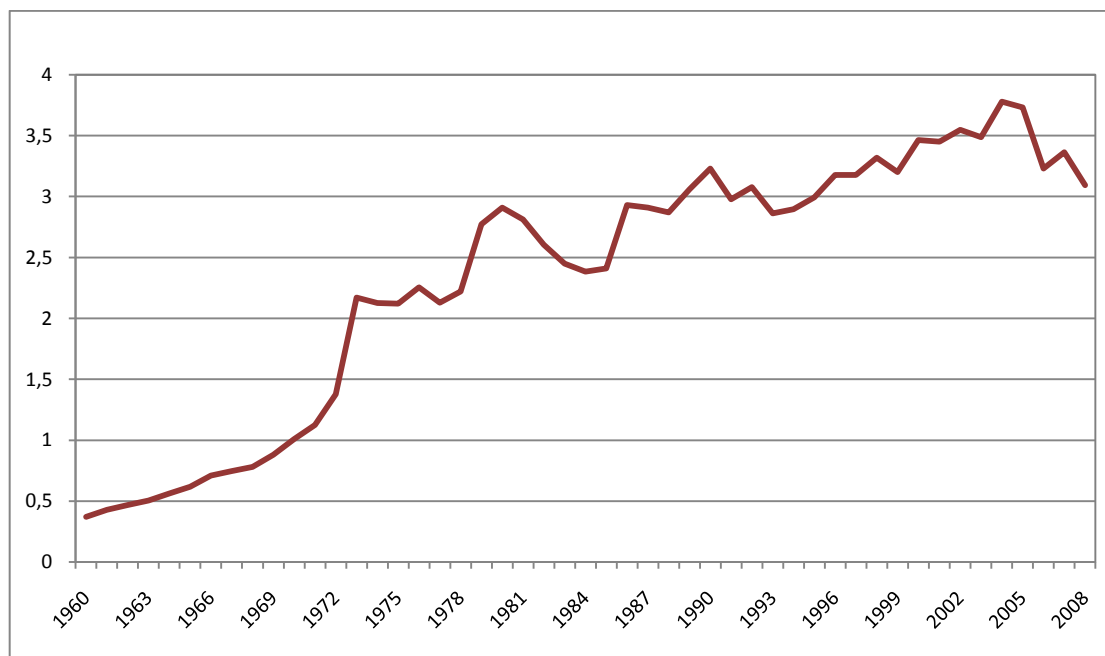
Η εξέλιξη τους μπορεί να χωριστεί σε 4 διακριτές περιόδους (1960-1973, 1974-1995, 1996-2003, 2004-σήμερα). Κατά τη διάρκεια της πρώτης περιόδου και ιδιαίτερα κατά την περίοδο της δικτατορίας, παρουσιάζουν μια απότομη αύξηση, η οποία οφείλεται αφενός μεν στη στασιμότητα του πληθυσμού, που παρατηρείται λόγω του μεταναστευτικού κύματος, και αφετέρου δε στην εκβιομηχάνιση της χώρας η οποία σχεδόν ολοκληρώθηκε την περίοδο εκείνη. Τα δύο χρόνια που ακολουθούν την αποκατάσταση της δημοκρατίας εμφανίζεται μια μικρή πτώση που οφείλεται στην κοινωνική και πολιτική αστάθεια της περιόδου εκείνης.

Τις επόμενες δύο δεκαετίες (1976-1995), η οικιακή κατανάλωση ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται με σταθερό ρυθμό, αντίστοιχο του ρυθμού αύξησης του πληθυσμού, ενώ η συνολική κατανάλωση αυξάνει με υψηλότερο ρυθμό. Μερικές ανωμαλίες

(σταθεροποίηση ή πτώση) παρατηρούνται στην καμπύλη, κυρίως σε έτη που ακολουθούν τις βουλευτικές εκλογές (1981, 1985 και 1989). Ειδικά στην τελευταία περίπτωση, η κατανάλωση παραμένει σταθερή για μια πενταετία ως αποτέλεσμα της πολιτικής αστάθειας που προκλήθηκε από την καθιέρωση του εκλογικού συστήματος της απλής αναλογικής.



**Εικόνα 7.15. Τελική και οικιακή κατανάλωση ενέργειας (σε ΤΟΕ/κάτοικο/έτος)**



**Εικόνα 7.16. Συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας (σε ΤΟΕ/κάτοικο/έτος)**

Οι δύο καμπύλες εμφανίζουν τη μέγιστη τιμή τους αμέσως μετά την ανάληψη των Ολυμπιακών Αγώνων, γεγονός που σηματοδότησε τη δημιουργία μεγάλων έργων υποδομής στη χώρα. Τα τελευταία χρόνια η κατανάλωση δείχνει να σταθεροποιείται,

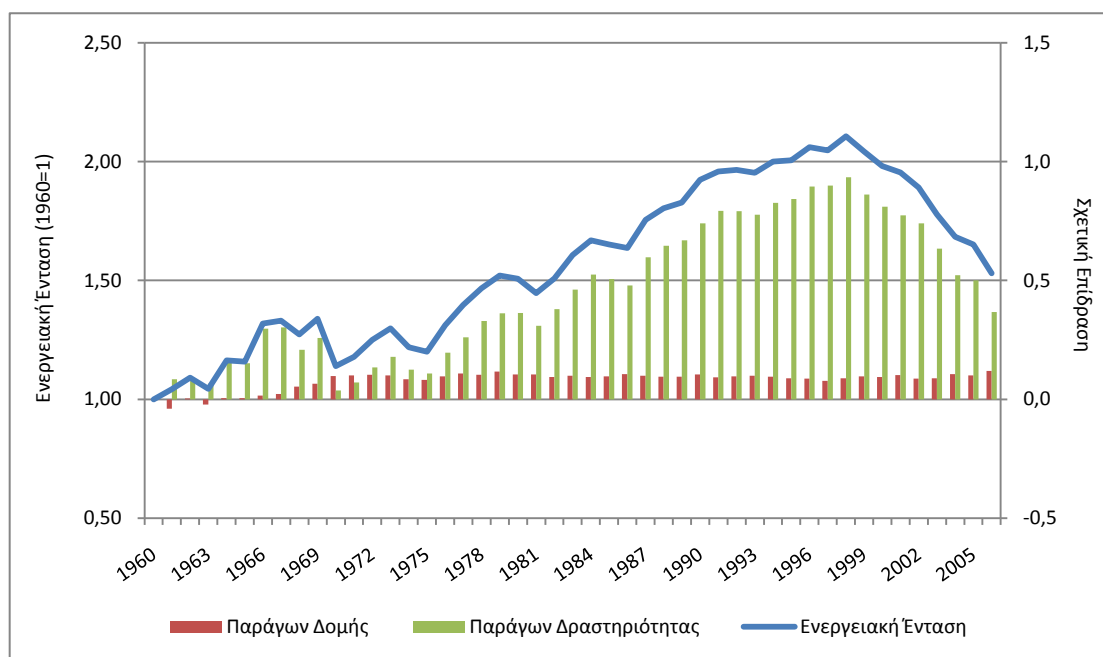


κυρίως λόγω των μέτρων εξοικονόμησης που εφαρμόστηκαν στα πλαίσια των εθνικών στόχων. Η τάση αυτή αναμένεται να διατηρηθεί και τα επόμενα χρόνια, ενισχυόμενη και από την παγκόσμια οικονομική κρίση.

### 7.3.2.2 Παραγωγικότητα

Η Εικόνα 7.17 εμφανίζει την εξέλιξη του λόγου της συνολικής παροχής πρωτογενούς ενέργειας ανά μονάδα ΑΕΠ (ένταση πρωτογενούς ενέργειας). Στο ίδιο διάγραμμα φαίνεται και η επίδραση που έχουν στη μεταβολή του μεγέθους αυτού, τόσο οι δομικές αλλαγές στην οικονομία (συνεισφορά κάθε τομέα στη διαμόρφωση του ΑΕΠ) όσο και η συνολική οικονομική πρόοδος της χώρας. Η ανάλυση αυτή βασίζεται στην μέθοδο του δείκτη Divisia, έτσι όπως παρουσιάζεται από τον Ang (2004).

Από την ανάλυση προκύπτει ότι οι αλλαγές στην ενεργειακή ένταση επηρεάζονται περισσότερο από τη συνολική πρόοδο της οικονομίας (παράγων δραστηριότητας) και λιγότερο από τις αλλαγές στη δομή της οικονομίας (παράγων δομής). Επιπλέον, και οι δύο παράγοντες εμφανίζουν θετικές τιμές σε όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Μάλιστα αυξάνονται συνεχώς μέχρι το 1990, αντικατοπτρίζοντας την εκβιομηχάνιση της χώρας. Παρατηρείται, τέλος, πως η πτώση του δείκτη τα τελευταία χρόνια δεν οφείλεται τόσο σε διορθωτικές επεμβάσεις όσο στην υπερβολική αύξηση του ΑΕΠ. Μικρότερο ρόλο παίζει και η αύξηση του μεριδίου κάποιων λιγότερο ενεργοβόρων τομέων όπως ο τουρισμός και οι υπηρεσίες, εις βάρος της βιομηχανίας, η οποία παρέμεινε στάσιμη.

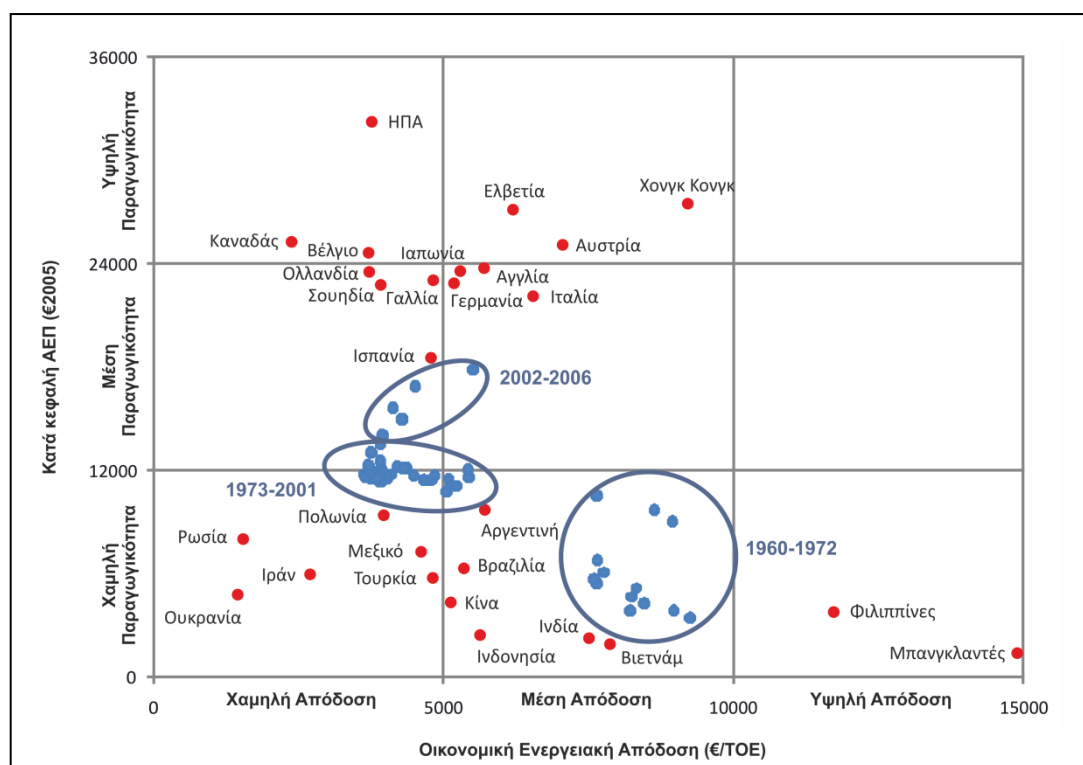


Εικόνα 7.17. Συνολική ενεργειακή ένταση και ανάλυση σε επιμέρους παράγοντες

Ένας εναλλακτικός τρόπος παρουσίασης της ενεργειακής έντασης είναι με τη μορφή της **οικονομικής ενεργειακής απόδοσης** (*economic energy efficiency*). Το μέγεθος αυτό ορίζεται ως ο αντίστροφος λόγος της ενεργειακής έντασης. Εκφράζει τον

εσωτερικό βαθμό απόδοσης της κατανάλωσης ενέργειας, δηλαδή την αύξηση στο ΑΕΠ που δημιουργείται ανά μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας.

Η διαχρονική εξέλιξη του μεγέθους αυτού στην Ελλάδα για την περίοδο μελέτης σε συνάρτηση με τη μεταβολή του κατά κεφαλή ΑΕΠ παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.18. Παράλληλα, στο ίδιο διάγραμμα εμφανίζονται οι τιμές της ενεργειακής απόδοσης για επιλεγμένες χώρες του κόσμου για το έτος 2005. Οι χώρες της G7 (Γαλλία, Γερμανία, Ιταλία, Ιαπωνία, Αγγλία, ΗΠΑ και Καναδάς) εμφανίζουν υψηλή παραγωγικότητα και χαμηλή/μέση ενεργειακή απόδοση. Καλύτερη ενεργειακή απόδοση παρουσιάζουν κάποιες πιο εύπορες χώρες, όπως η Αυστρία, η Ελβετία και το Χόνγκ Κόνγκ. Οι χώρες της E7 (Κίνα, Ινδία, Βραζιλία, Ρωσία, Μεξικό, Ινδονησία και Τουρκία) στον αντίποδα, οι οποίες αποτελούν τις πιο ισχυρά αναπτυσσόμενες αγορές, εμφανίζουν σχετικά χαμηλή παραγωγικότητα ακόμα. Η κατάσταση αυτή όμως αναμένεται να αλλάξει άμεσα την επόμενη εικοσαετία (PriceWaterhouse, 2011).



**Εικόνα 7.18. Παραγωγικότητα και ενεργειακή απόδοση (οι τιμές των υπόλοιπων χωρών είναι του 2005)**

Μελετώντας, τώρα, αποκλειστικά την πορεία του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, η εξέλιξη των μεγεθών μπορεί να χωριστεί σε 3 διακριτές περιόδους.

Η πρώτη διήρκεσε από το 1960 μέχρι και την πρώτη πετρελαϊκή κρίση και χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή απόδοση και χαμηλή παραγωγικότητα. Η χώρα βασιζόταν πολύ στις εισαγωγές πετρελαϊκών προϊόντων ενώ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής το μεγαλύτερο μερίδιο εγκατεστημένης ισχύος κατείχαν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και οι πετρελαϊκές μονάδες.

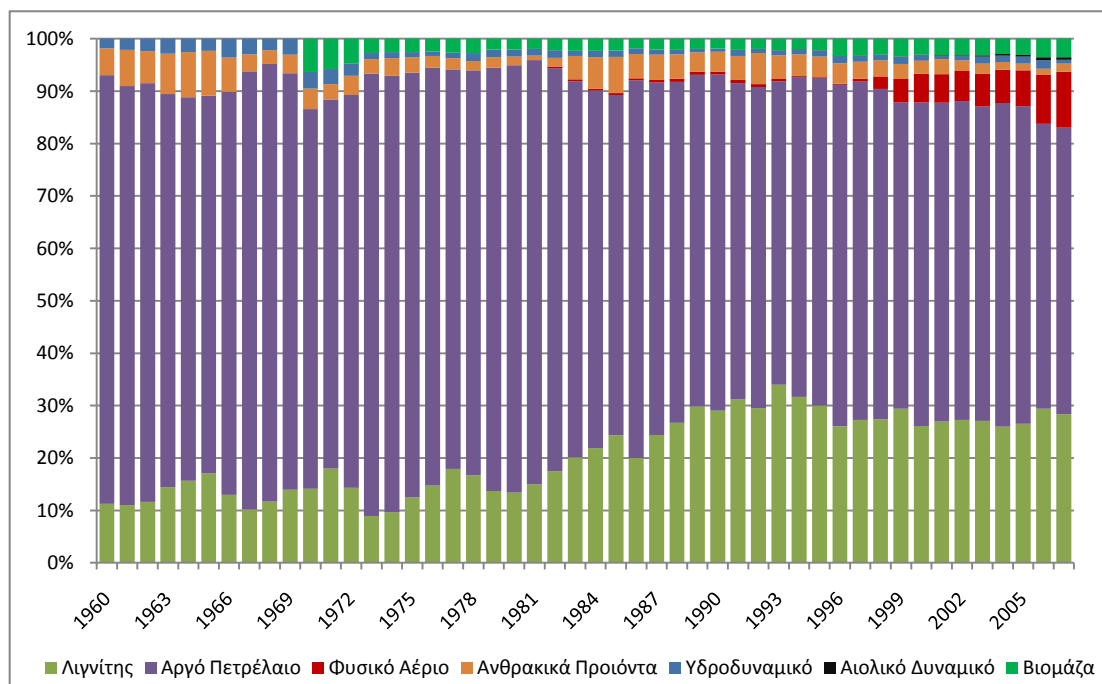
Στη δεύτερη περίοδο, από το 1973 μέχρι το 2001, παρατηρείται μια τάση διαρκούς μείωσης της απόδοσης και αντίστοιχη αύξηση της παραγωγικότητας. Η μεταβολή αυτή οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μείωση των εισαγωγών και στη στροφή προς τις εγχώριες διεργασίες παραγωγής και μετατροπής ενέργειας. Η χρήση του εγχώριου λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή αυξήθηκε θεαματικά, γεγονός που επηρέασε όμως αρνητικά την απόδοση.

Από το 2002 μέχρι και σήμερα (τρίτη περίοδος) διαφαίνεται μια αύξηση και των δύο μεγεθών. Αυτή οφείλεται πρωτίστως στην απότομη αύξηση του ΑΕΠ λόγω της εισόδου στην Οικονομική Νομισματική Ένωση και τη κυκλοφορία του ευρώ. Ευνοήθηκε και από τη διοργάνωση των Ολυμπιακών Αγώνων που έγιναν η αφορμή για την κατασκευή σημαντικών έργων υποδομής στην Ελλάδα και την αύξηση του τουρισμού.

Η τάση αυτή αναμένεται να αναστραφεί κατά τα επόμενα χρόνια καθώς ο ρυθμός μεταβολής του ΑΕΠ είναι πλέον μηδενικός ή και αρνητικός λόγω της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης.

### 7.3.2.3 Διαφοροποίηση Ενεργειακού Μίγματος

Η διαφοροποίηση του μίγματος της πρωτογενούς ενέργειας είναι ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια αξιολόγησης ενός ενεργειακού συστήματος. Όσο περισσότερες είναι οι πρωτογενείς μορφές που χρησιμοποιούνται τόσο λιγότερο εξαρτημένο είναι το ενεργειακό σύστημα και κατ' επέκταση η οικονομία της χώρας από έναν προμηθευτή. Από την Εικόνα 7.19 διαπιστώνεται πως στην Ελλάδα κυριαρχούν δύο πρωτογενείς πηγές ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, ο εγχώριος λιγνίτης και το εισαγόμενο αργό πετρέλαιο.



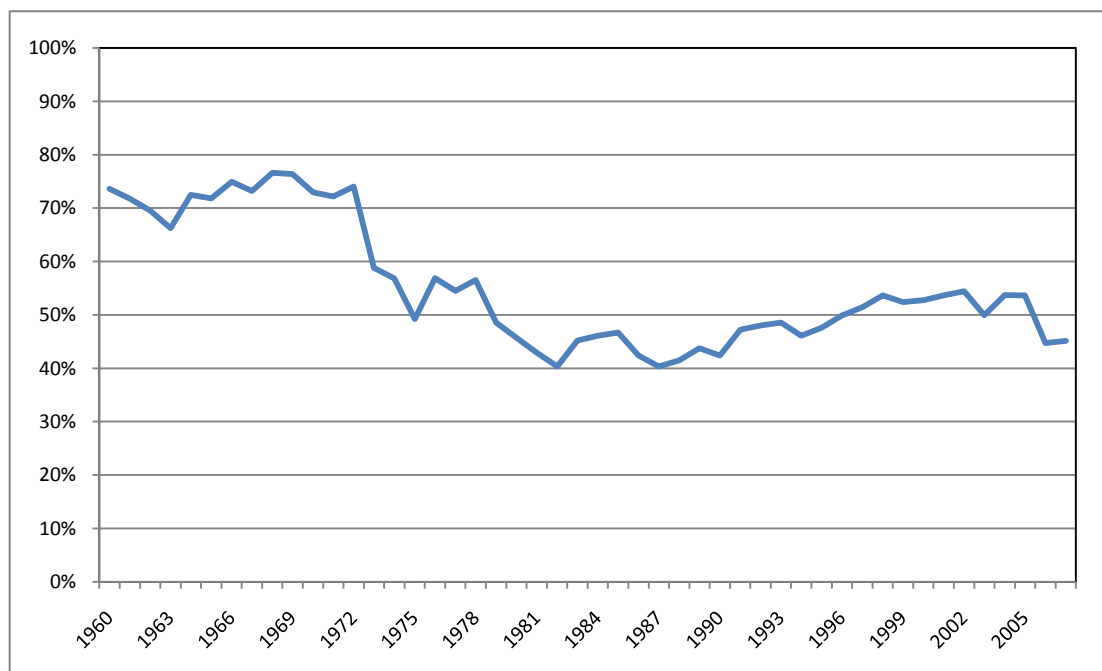
Εικόνα 7.19. Διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος

Από το 1975 και μετά εφαρμόστηκαν πολιτικές μείωσης της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας από τις εισαγωγές πετρελαίου και για το λόγο αυτό παρατηρείται μια αύξηση του μεριδίου του λιγνίτη. Η πιο σημαντική μεταβολή των τελευταίων ετών είναι η είσοδος από το 1997 του φυσικού αερίου, που είχε ως αποτέλεσμα τη σταθεροποίηση της κατανάλωσης του λιγνίτη, και των στερεών καυσίμων γενικότερα, κοντά στους 9,000 kTOE (30%). Το φυσικό αέριο εμφανίζει αυξητική πορεία από 700 kTOE (2,5%) το 1998 σε 3,300 kTOE (10,5%) το 2007. Τα πετρελαιοειδή αυξάνονται σε απόλυτη τιμή (από 13,000 kTOE το 1990 σε 19,000 kTOE το 2005) αλλά το μερίδιό τους παραμένει σταθερό κοντά στο 60%. Τέλος, οι ΑΠΕ έκαναν την εμφάνισή τους στα τέλη του εικοστού αιώνα με ποσοστό που κυμαίνεται στο 5-6%.

#### 7.3.2.4 Ενεργειακή Εξάρτηση

Στην Εικόνα 7.20 περιγράφεται η διαχρονική εξέλιξη της ενεργειακής εξάρτησης της Ελλάδας, δηλαδή του λόγου των καθαρών ενεργειακών εισαγωγών προς τη συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας. Τα πρώτα χρόνια της περιόδου μελέτης παρατηρείται έντονη ενεργειακή εξάρτηση της τάξης του 80%, που οφείλεται στα εισαγόμενα ορυκτά καύσιμα, κυρίως στο αργό πετρέλαιο και λοιπά πετρελαϊκά προϊόντα.

Οι ενεργειακές πολιτικές μείωσης της εξάρτησης από το πετρέλαιο, που εφαρμόστηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1970 εξαιτίας της πετρελαϊκής κρίσης και της επακόλουθης αύξησης των τιμών, πέτυχαν εν μέρει το στόχο τους. Η ενεργειακή εξάρτηση μειώθηκε από 75% σε 50% μέσα σε τρία χρόνια. Έκτοτε, παρέμεινε σταθερή, με μια ελαφρά άνοδο την τελευταία δεκαετία, λόγω της αντικατάστασης του εγχώριου λιγνίτη από το εισαγόμενο φυσικό αέριο.



Εικόνα 7.20. Συνολική ενεργειακή εξάρτηση της χώρας

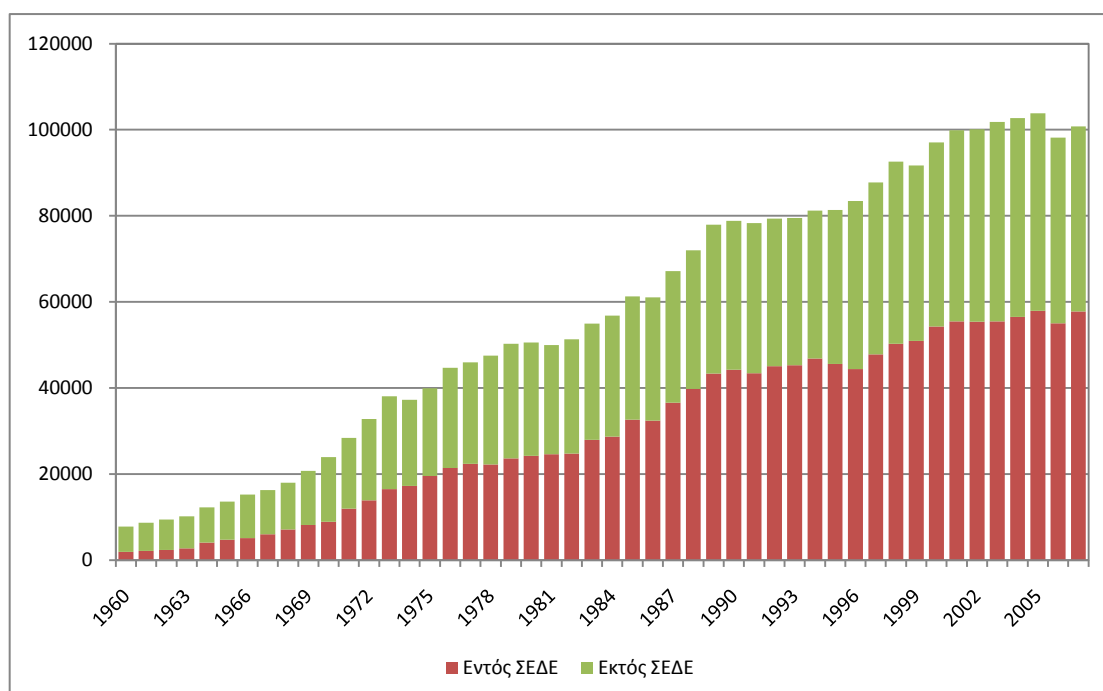
Στόχος για τα επόμενα χρόνια θα πρέπει να είναι η σταθεροποίηση και η περαιτέρω μείωση του δείκτη αυτού. Ως εκ τούτου, η εισαγωγή και η χρήση του φυσικού αερίου θα πρέπει να γίνει λελογισμένα, και εις βάρος των εισαγόμενων μορφών ενέργειας όπου αυτό είναι δυνατόν, ενώ παράλληλα θα πρέπει να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση των εγχώριων πηγών ενέργειας. Το πρόβλημα όμως είναι ότι ο εγχώριος λιγνίτης προσφέρει μεν ασφάλεια εφοδιασμού και σταθερό κόστος, σε σχέση με τα εισαγόμενα καύσιμα, αλλά είναι εξαντλήσιμος πόρος ενώ επιπλέον είναι και ο λιγότερο περιβαλλοντικά φιλικός από όλα τα χρησιμοποιούμενα ορυκτά καύσιμα.

### 7.3.3 Περιβαλλοντική Συνιστώσα

#### 7.3.3.1 Κλιματική Αλλαγή

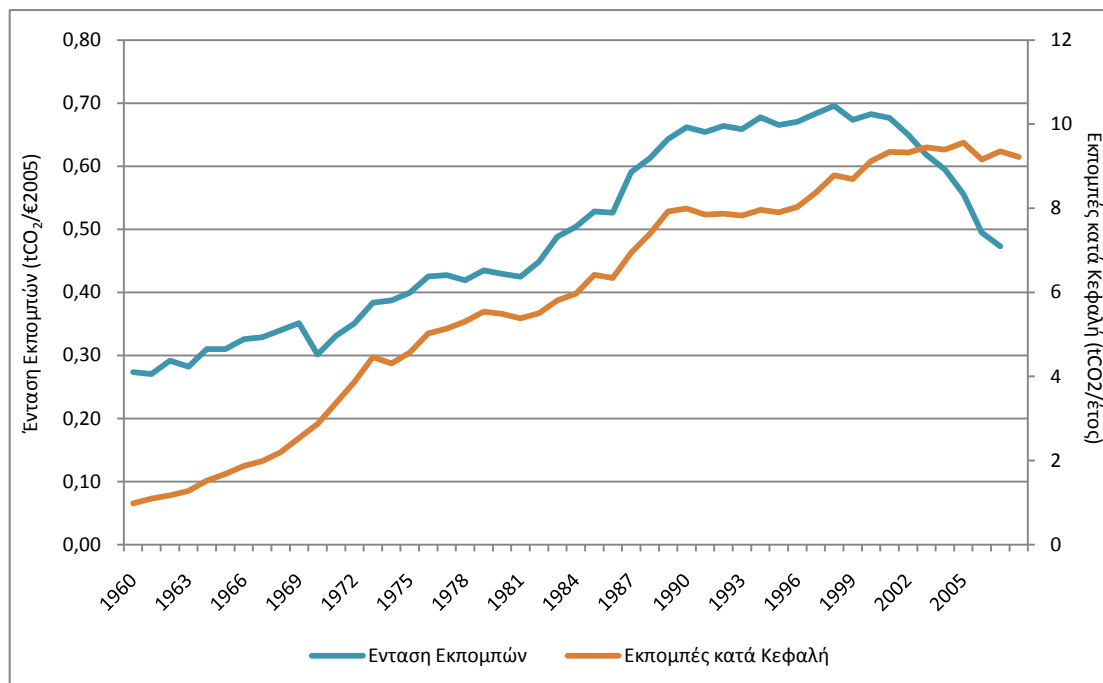
Η Εικόνα 7.21 παρουσιάζει τις συνολικές εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα καθώς και ένα διαχωρισμό τους με βάση τους κλάδους εντός και εκτός του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών, όπως ορίζονται στην έως τώρα ισχύουσα νομοθεσία. Είναι προφανές ότι η ανάπτυξη της Ελλάδας, κατά το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα, πραγματοποιήθηκε χωρίς να υπάρχει η ανάλογη ευαισθητοποίηση σχετικά με την περιβαλλοντική διάσταση του προβλήματος.

Οι εκπομπές εμφανίζουν συνεχή αυξητική τάση σε όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Μια σταθεροποίηση που παρατηρήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1990 ήταν προσωρινή και μετά το 1997 (ανάθεση Ολυμπιακών Αγώνων) η ανοδική πορεία συνεχίστηκε. Μόνο την τελευταία πενταετία γίνεται μια προσπάθεια μείωσης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, μετά βέβαια και από τις δεσμευτικές οδηγίες της ευρωπαϊκής νομοθεσίας, μη συμμόρφωση με τις οποίες θα επιφέρει σημαντική οικονομική επιβάρυνση στο κράτος.

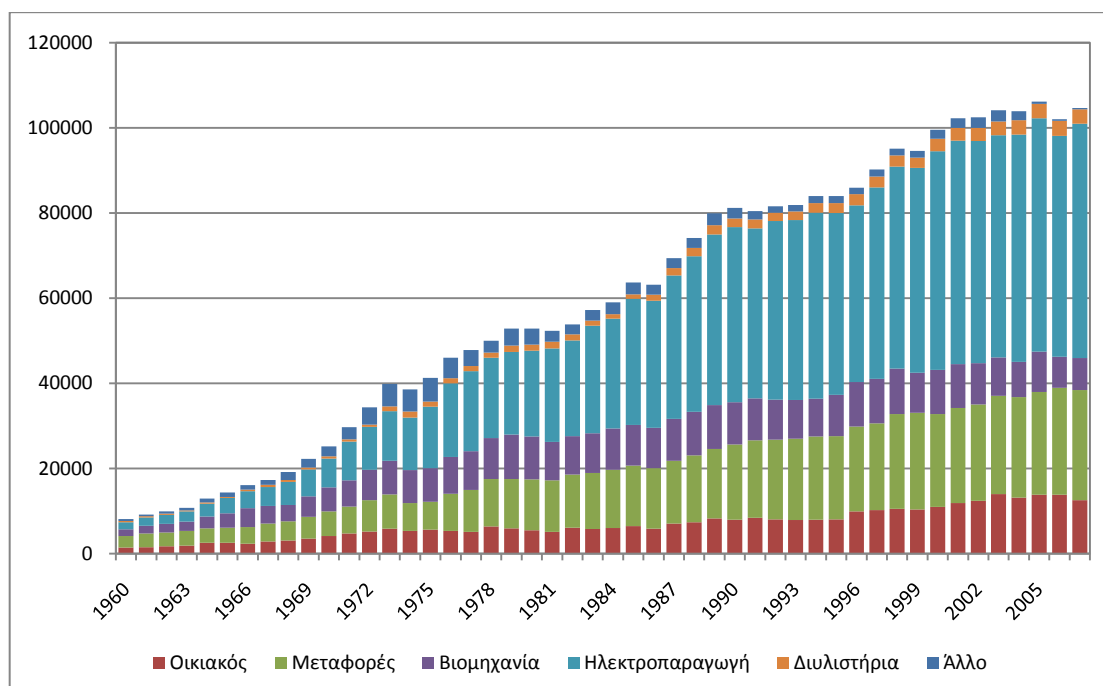


Εικόνα 7.21. Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (σε tCO<sub>2</sub>)

Ο προσδιορισμός των συνολικών εκπομπών είναι απαραίτητος καθώς ο εθνικός στόχος αφορά τον περιορισμό τους. Η διαχρονική μεταβολή τους όμως δεν είναι απόλυτα ενδεικτική της βιώσιμης ανάπτυξης του συστήματος. Μια αύξηση των εκπομπών είναι, ως ένα βαθμό, φυσιολογική και αναμενόμενη λόγω της οικονομικής και τεχνολογικής προόδου μιας χώρας αλλά και λόγω της αύξησης του πληθυσμού. Για το λόγο αυτό είναι χρήσιμη η μελέτη της εξέλιξης τόσο της έντασης των εκπομπών (εκπομπές ανά ΑΕΠ) όσο και των κατά κεφαλή εκπομπών (Εικόνα 7.22).



Εικόνα 7.22. Ένταση εκπομπών και κατά κεφαλή εκπομπές



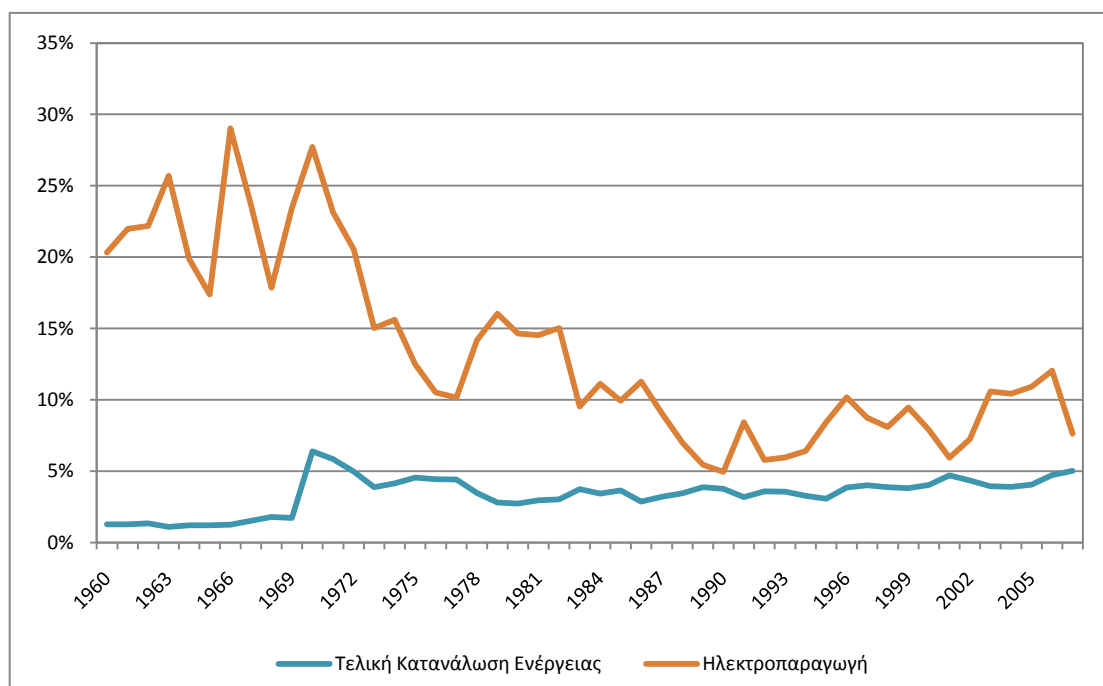
Εικόνα 7.23. Συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά τομέα (σε tCO<sub>2</sub>)

Μέχρι το 1990 παρατηρείται μια διαρκής αύξηση και των δύο αυτών μεγεθών και στη συνέχεια μια σχετική σταθεροποίηση τους, που οφείλεται πιθανότατα στην «εθνική επαγρύπνηση» λόγω του Πρωτοκόλλου του Κιότο (1997). Η σημαντική μείωση της έντασης των εκπομπών την τελευταία δεκαετία οφείλεται περισσότερο στην αύξηση του ΑΕΠ παρά στη μείωση των εκπομπών.

Τέλος, για τον καθορισμό των επεμβάσεων που απαιτούνται για να επιτευχθεί ο στόχος, είναι χρήσιμη η μελέτη των συνολικών εκπομπών ανά τομέα (Εικόνα 7.23). Οι μεταφορές και η ηλεκτροπαραγωγή είναι οι δύο τομείς που συμβάλλουν σε μεγαλύτερο βαθμό στην περιβαλλοντική επιβάρυνση. Εκεί λοιπόν θα πρέπει να εστιαστεί η προσοχή κατά τον καθορισμό των στρατηγικών της ενεργειακής πολιτικής, εισάγοντας αποδοτικότερες και καθαρότερες πηγές για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και εφαρμόζοντας μέτρα εξοικονόμησης στον τομέα των μεταφορών.

### 7.3.3.2 Διείσδυση ΑΠΕ

Στην Εικόνα 7.24 παρουσιάζεται η εξέλιξη της διείσδυσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Στο διάγραμμα δεν συμπεριλαμβάνεται ο τομέας των μεταφορών, καθώς η διείσδυση σε αυτόν είναι μηδενική καθόλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Εξάιρεση αποτελούν τα τελευταία χρόνια, όπου η διείσδυση αυτή αντιστοιχεί σε ένα πολύ μικρό ποσοστό.



**Εικόνα 7.24. Διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας και στην ηλεκτροπαραγωγή**

Όσον αφορά στην ηλεκτροπαραγωγή, το υψηλό ποσοστό στην αρχή της περιόδου αλλά και οι διακυμάνσεις από έτος σε έτος καθόλη τη διάρκεια της, οφείλονται στις υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Το ποσοστό διείσδυσης έχει σταθεροποιηθεί τα

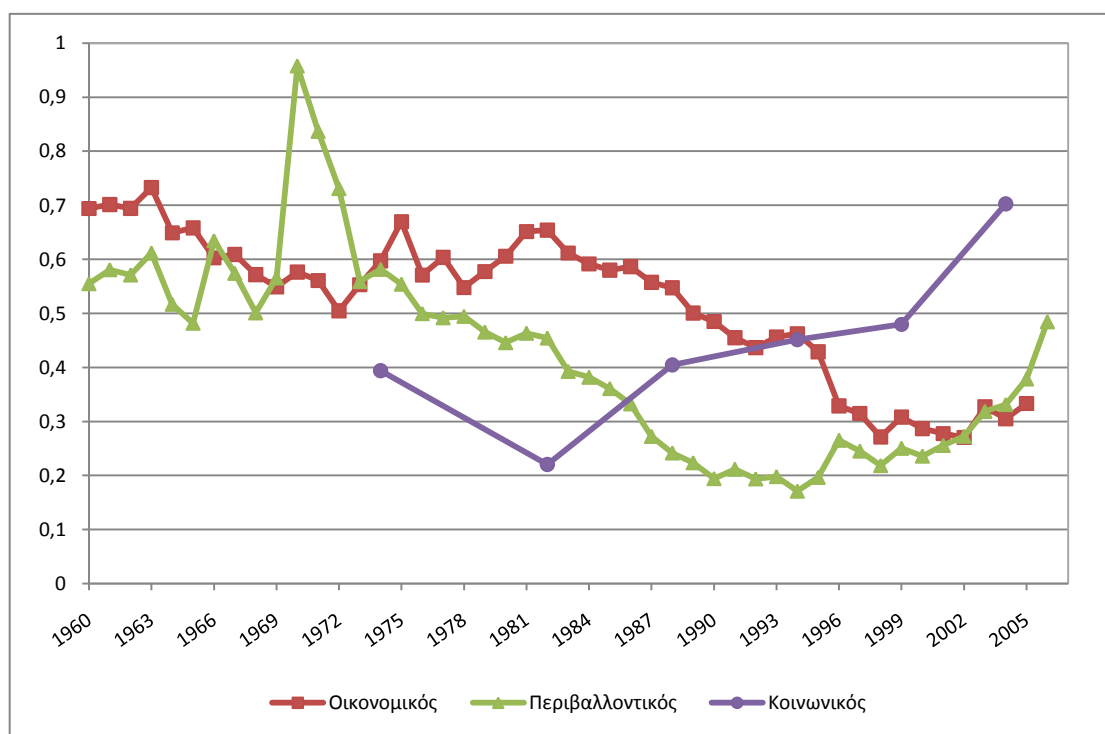
τελευταία χρόνια κοντά στο 10% και απέχει πολύ από τον εθνικό στόχο του 40% μέχρι το 2020.

Η διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας είναι σχετικά σταθερή και λίγο κάτω από 5% σε όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Η άνοδος του 1970 οφείλεται στην προαναφερθείσα «ξαφνική» εμφάνιση της βιομάζας στον οικιακό τομέα. Τα τελευταία χρόνια, η μικρή αλλά σταδιακή αύξηση που παρατηρείται οφείλεται σε επεμβάσεις και μέτρα που έχουν ληφθεί, αλλά δεν είναι αρκετή καθώς απέχει αρκετά ακόμα από το 18% που είναι ο δεσμευτικός στόχος της Ε.Ε. για το 2020.

### 7.3.4 Σύνθετοι Δείκτες

Η εξέλιξη των 3 σύνθετων δεικτών για κάθε μια από τις συνιστώσες της βιώσιμης ανάπτυξης παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.25. Είναι φανερό πως η κοινωνική βιωσιμότητα βελτιώνεται διαρκώς και στην παρούσα χρονική φάση βρίσκεται σε καλύτερο επίπεδο από την οικονομική και την περιβαλλοντική.

Παράλληλα, αξίζει να τονιστούν οι ομοιότητες στην εξέλιξη του οικονομικού και του περιβαλλοντικού δείκτη για την περίοδο μελέτης. Μέχρι το 1972 ήταν και οι δύο σχετικά σταθεροί και σε υψηλές τιμές αλλά στη συνέχεια και μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 ακολουθούν συνεχώς πτωτική πορεία. Η πτώση αυτή είναι πιο απότομη για τον περιβαλλοντικό δείκτη και πιο ήπια για τον οικονομικό.



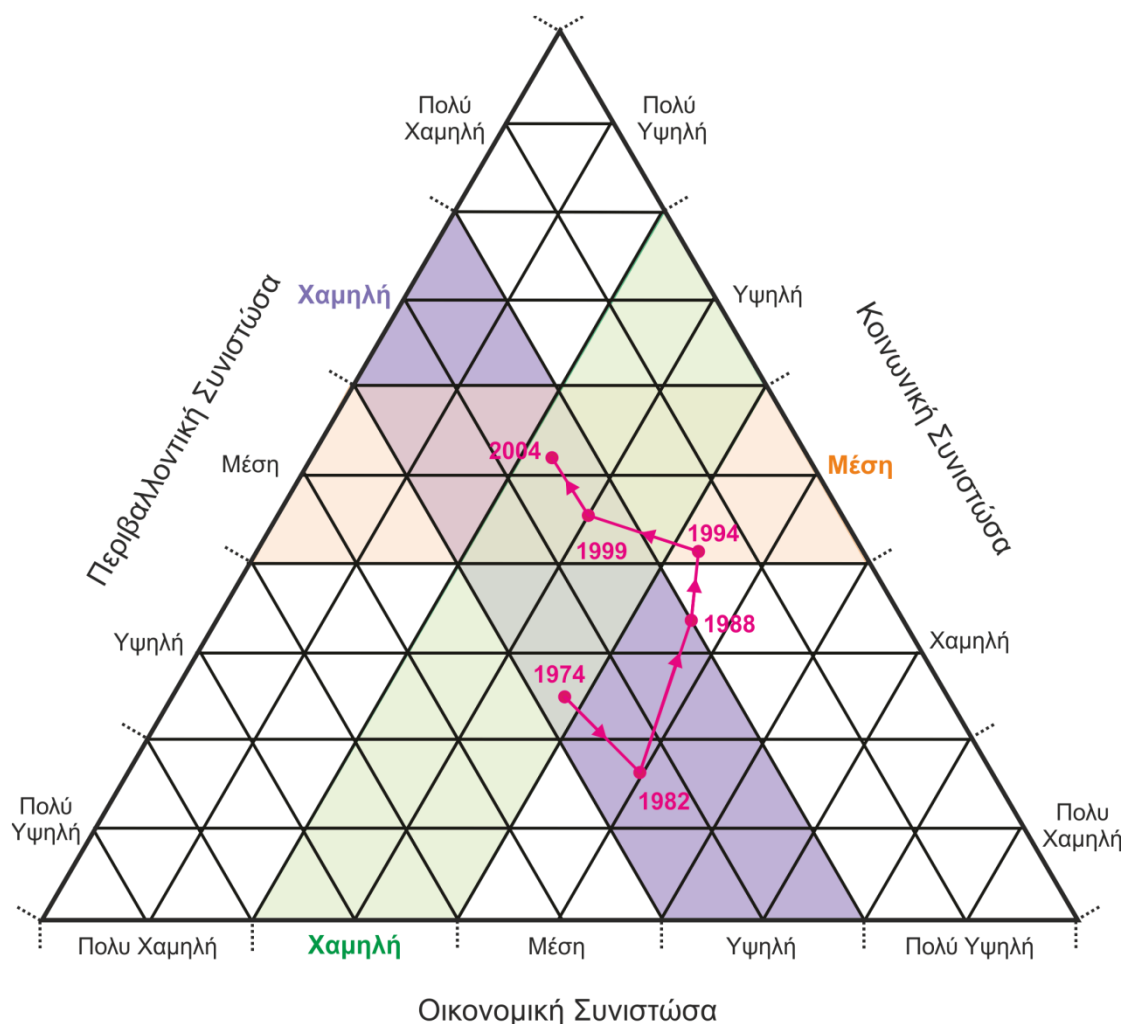
Εικόνα 7.25. Σύνθετοι δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης

Διαφοροποίηση παρατηρείται μόνο τη τελευταία δεκαετία όταν και εμφανίζεται βελτίωση της περιβαλλοντικής συνιστώσας, κυρίως λόγω της «αφύπνισης» από το Πρωτόκολλο του Κιότο, ενώ η οικονομική συνιστώσα διατηρείται σταθερή. Η



τελευταία αυτή παρατήρηση είναι αρκετά ανησυχητική αν ληφθεί υπόψη και η δεινή οικονομική κατάσταση στην οποία έχει περιέλθει η χώρα τα τελευταία χρόνια αλλά και ενδεικτική των προσπαθειών που πρέπει να καταβληθούν για να βελτιωθούν οι προοπτικές της οικονομικής βιωσιμότητας του συστήματος.

Για την πληρότητα της ανάλυσης, κατασκευάζεται ένα τριγωνικό διάγραμμα (Εικόνα 7.26), ώστε να τονιστούν οι διαφορές στη σχετική μεταβολή των τριών αυτών δεικτών και να μελετηθεί κατά πόσο ήταν ισορροπημένη η ανάπτυξη του ενεργειακού συστήματος στη διάρκεια της χρονικής περιόδου μελέτης. Σύμφωνα με τον Xu et al. (2006), ένα τέτοιο διάγραμμα είναι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα αναλυτικό εργαλείο διαχείρισης της βιώσιμης ανάπτυξης λόγω της απλότητας του και της προσαρμοστικότητάς του. Λόγω έλλειψης δεδομένων για τον υπολογισμό των κοινωνικών δεικτών το διάγραμμα απεικονίζει τα αποτελέσματα μόνο για τα έξι έτη, για τα οποία έχουν υπολογιστεί οι κοινωνικοί δείκτες.



**Εικόνα 7.26. Παρακολούθηση της βιώσιμης ανάπτυξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος**

Επιβεβαιώνεται πως η έμφαση δόθηκε στην κοινωνική συνιστώσα της ανάπτυξης του συστήματος. Ξεκινώντας από χαμηλές τιμές για τα δύο πρώτα έτη (1974, 1982), αυξάνεται διαρκώς και το 2004 έχει την υψηλότερη τιμή της περιόδου μελέτης. Η

βελτίωση αυτή γίνεται τα πρώτα χρόνια εις βάρος της περιβαλλοντικής συνιστώσας, η οποία κατά τα δύο πρώτα έτη της ανάλυσης έχει μέση τιμή αλλά στη συνέχεια πέφτει στο χαμηλότερο επίπεδο και σταθεροποιείται. Αντίθετα, η οικονομική συνιστώσα στην αρχή της περιόδου είχε σταθερή συμπεριφορά αλλά από το 1994 και μετά έπεσε κατακόρυφα και είναι η μόνη από τις τρεις που η σχετική της βαρύτητα έφτασε σε πολύ χαμηλές τιμές.

## 7.4 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια ιστορική ανάλυση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για την περίοδο 1960-2007. Παράλληλα παρουσιάστηκαν και σχολιάστηκαν τα απαιτούμενα δεδομένα για την επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου και των υπολογισμό των δεικτών που περιγράφουν τη βιώσιμη ανάπτυξη του.

Συνοψίζοντας την προηγηθείσα ανάλυση, παρατηρείται μια μη ισορροπημένη ανάπτυξη του ενεργειακού συστήματος της χώρας κατά την περίοδο μελέτης, με έμφαση κυρίως στην κοινωνική του διάσταση. Αναλυτικότερα, η πρόσβαση σε σύγχρονες μορφές ενέργειας έχει βελτιωθεί, οι ενεργειακές διακρίσεις μεταξύ των υψηλόμισθων και των χαμηλόμισθων νοικοκυριών έχουν μειωθεί αλλά από την άλλη πλευρά οι τιμές της ενέργειας αυξάνονται διαρκώς με ταχύτερο ρυθμό από το εισόδημα.

Η ενεργειακή ένταση μειώνεται τα τελευταία χρόνια, και αντιστοίχως αυξάνεται ελαφρώς η ενεργειακή απόδοση, περισσότερο όμως λόγω της αύξησης του ΑΕΠ παρά εξαιτίας των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Η διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος βελτιώνεται λόγω της εισόδου του φυσικού αερίου, η οποία όμως μειώνει την ενεργειακή ασφάλεια, καθώς αυτό αντικαθιστά τον εγχώριο λιγνίτη.

Τέλος, όσον αφορά στην περιβαλλοντική συνιστώσα του προβλήματος, παρατηρείται θετική εξέλιξη σε όλους τους δείκτες. Χρειάζεται όμως αρκετή προσπάθεια ακόμα για να επιτευχθούν οι εθνικοί στόχοι.

Είναι προφανές ότι η ισορροπημένη και ταυτόχρονα βιώσιμη ανάπτυξη του ενεργειακού συστήματος είναι δύσκολο να επιτευχθεί, καθώς κάποιοι από τους δείκτες είναι αντικρουόμενοι μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό, κατά την επιλογή των πιθανών επεμβάσεων κατά την μελλοντική εξέλιξη του συστήματος, η έμφαση θα δοθεί κυρίως στην επίτευξη των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί πραγματοποιείται η ανάλυση της μελλοντικής εξέλιξης του συστήματος μέχρι το 2020, εξετάζοντας τρία εναλλακτικά σενάρια. Ελέγχεται αν με τις προγραμματισμένες αλλαγές και επεμβάσεις ευνοείται η βιώσιμη ανάπτυξη του και εξετάζεται η πορεία προς την επίτευξη των στόχων που έχουν τεθεί.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

---

### 8.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο των επόμενων παραγράφων είναι η μελέτη της εξέλιξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος (Βήμα 4<sup>ο</sup>), η διαμόρφωση ενός συνολικού σχεδίου δράσης (Βήμα 5<sup>ο</sup> και 6<sup>ο</sup>) και η αξιολόγηση του (Βήμα 7<sup>ο</sup>) με βάση την επίτευξη των στόχων και τη βιώσιμη ανάπτυξη του συστήματος. Το τέσσερα αυτά βήματα είναι εκείνα που εισάγουν την παράμετρο της αβεβαιότητας στο σχεδιασμό. Για την αντιμετώπισή της ακολουθείται μια διπλή προσέγγιση.

Όσον αφορά την αβεβαιότητα που εμπεριέχεται στην εκτίμηση της εξέλιξης της κατανάλωσης ενέργειας εξετάζονται τρία εναλλακτικά σενάρια. Διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τη χρονική στιγμή κατά την οποία διαμορφώθηκαν, δηλαδή πριν (2008), κατά τη διάρκεια (2009) και μετά την παγίωση (2010) της διεθνούς οικονομικής κρίσης που επηρέασε την Ελλάδα.

Αντιθέτως, για την αβεβαιότητα στον υπολογισμό του κόστους και της αποτελεσματικότητας των πιθανών επεμβάσεων που θα σχηματίσουν το τελικό σχέδιο δράσης, χρησιμοποιείται η μέθοδος Monte Carlo κατά τη μοντελοποίηση και αξιολόγησή τους.

### 8.2 Διαμόρφωση Εναλλακτικών Σεναρίων

Η αβεβαιότητα στην εξέλιξη της ενεργειακής ζήτησης αντιμετωπίζεται με την διαμόρφωση εναλλακτικών σεναρίων. Τα σενάρια αυτά δεν αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, αλλά βασίστηκαν σε επίσημες εκθέσεις του ελληνικού κράτους. Για το λόγο αυτό στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται απλώς οι βασικές παραδοχές για τη διαμόρφωση τους και σχολιάζεται η εκτιμώμενη εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης.

Αναλυτικότερα, εξετάζονται τρία εναλλακτικά σενάρια, τα οποία βασίζονται στις ετήσιες εκθέσεις του Συμβουλίου Εθνικής Ενεργειακής Στρατηγικής (ΣΕΕΣ) για το Μακροχρόνιο Ενεργειακό Σχεδιασμό της Ελλάδας που κατατέθηκαν τα έτη 2008 και 2009 καθώς και στην έκθεση της Επιτροπής 20-20-20 του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) για την «Επίτευξη των Στόχων του 20-20-20» που παρουσιάστηκε το 2010. Τα τρία αυτά σενάρια για λόγους συντομίας θα αναφέρονται στη συνέχεια ως Σενάριο 1, Σενάριο 2 και Σενάριο 3.

Οι εκτιμήσεις για τη μεταβολή του πληθυσμού προέρχονται για τα 2 πρώτα σενάρια από τη μελέτη του Υπουργείου Ανάπτυξης εν όψει των νέων εθνικών στόχων, που δημοσιεύτηκε το Νοέμβριο του 2008 (ΥΠΑΝ, 2008β), και για το τρίτο σενάριο από την προαναφερθείσα έκθεση της Επιτροπής 20-20-20 (ΥΠΕΚΑ, 2010). Οι βασικές παραδοχές για τη διαμόρφωση τους είναι οι εξής:

- Η εξέλιξη της ζήτησης των πετρελαιοειδών και της ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμάται με βάση το ρυθμό εξέλιξης του ΑΕΠ και ανάλυση των ιστορικών στοιχείων.
- Η ζήτηση των στερεών καυσίμων (πλην της κατανάλωσης για ηλεκτροπαραγωγή) παραμένει αμετάβλητη.
- Το ποσοστό διείσδυσης των ηλιακών συλλεκτών στα νέα κτίρια είναι μικρό, όπως προκύπτει από την ανάλυση ιστορικών στοιχείων.
- Η εξέλιξη της ζήτησης του φυσικού αερίου εκτιμάται με βάση το ρυθμό εξέλιξης του ΑΕΠ αλλά και της διαρκούς αύξησης των υποδομών, ιδίως στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα.
- Η ζήτηση για βιοκαύσιμα στον τομέα των μεταφορών εμφανίζεται μέχρι το 2020 σε ποσοστό σύμφωνο με τις Οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Οι μεταβολές των τιμών των καυσίμων είναι συγκρατημένες και δεν υπάρχουν απότομες μεταβολές.

Τέλος, στους Πίνακες 8.1-8.3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι παραδοχές για την εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού χωρίζοντας τη συνολική περίοδο μελέτης σε τρεις επιμέρους περιόδους (από το έτος βάσης μέχρι το 2010, 2010-2015, 2015-2020).

Η βασική διαφοροποίηση μεταξύ των σεναρίων εντοπίζεται στη χρονική στιγμή κατά την οποία διαμορφώθηκαν (έτος βάσης) και στις οικονομικές συνθήκες που επικρατούσαν. Το Σενάριο 1 συντάχθηκε πριν την πρόσφατη χρηματοπιστωτική κρίση, που επηρέασε το ρυθμό ανάπτυξης των οικονομιών του πλανήτη. Ως εκ τούτου, ο εκτιμώμενος ρυθμός εξέλιξης του συνολικού ΑΕΠ είναι ο υψηλότερός σε σχέση με τα υπόλοιπα δύο, τουλάχιστον μέχρι το 2015.

Αντίθετα, το Σενάριο 2 διαμορφώθηκε αμέσως μετά τη διαφαινόμενη κρίση και ενόσω η χώρα βρισκόταν σε έντονη οικονομική αστάθεια. Ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού παραμένει ο ίδιος, ενώ ο αντίστοιχος του ΑΕΠ είναι χαμηλότερος από το Σενάριο 1 για την περίοδο 2009-2015. Τότε εκτιμάται πως θα πραγματοποιηθεί η ανάκαμψη της οικονομίας και τόσο το συνολικό ΑΕΠ όσο και το ΑΕΠ των επιμέρους τομέων έχει τους υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης από τα τρία σενάρια. Ο ρυθμός ανάπτυξης παραμένει θετικός σε όλη την περίοδο μελέτης.

Τέλος, το Σενάριο 3 καταστρώθηκε μετά από την παγίωση της κατάστασης και την εφαρμογή των πρώτων κοινωνικών και οικονομικών μέτρων. Είναι ακόμα πιο απαισιόδοξο όσον αφορά στην εξέλιξη του ΑΕΠ της χώρας. Εμφανίζει τους χαμηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης σε κάθε επιμέρους περίοδο. Μάλιστα για το πρώτο κομμάτι της περιόδου μελέτης, ο ρυθμός ανάπτυξης είναι αρνητικός ενώ από το 2015 εκτιμάται πως θα υπάρξει μια ανάκαμψη. Είναι πιθανότατα και το πιο ρεαλιστικό καθώς έχει ενσωματωμένες τις πιο πρόσφατες εξελίξεις. Παρόλα αυτά θα μελετηθούν και τα τρία και θα εξεταστεί η αναμενόμενη πορεία του συστήματος.

**Πίνακας 8.1. Εκτιμώμενη εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού (Σενάριο 1)**

	2008-2010	2010-2015	2015-2020
<b>Πληθυσμός</b>	0.33%	0.21%	0.06%
<b>ΑΕΠ Πρωτογενούς Τομέα</b>	2.45%	1.81%	1.79%
<b>ΑΕΠ Δευτερογενούς Τομέα</b>	2.97%	2.50%	2.40%
<b>ΑΕΠ Τριτογενούς Τομέα</b>	3.37%	2.05%	2.92%
<b>Συνολικό ΑΕΠ</b>	3.26%	2.90%	2.78%

**Πίνακας 8.2. Εκτιμώμενη εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού (Σενάριο 2)**

	2009-2010	2010-2015	2015-2020
<b>Πληθυσμός</b>	0.33%	0.21%	0.06%
<b>ΑΕΠ Πρωτογενούς Τομέα</b>	1.89%	1.42%	1.94%
<b>ΑΕΠ Δευτερογενούς Τομέα</b>	2.29%	1.96%	2.60%
<b>ΑΕΠ Τριτογενούς Τομέα</b>	2.60%	2.39%	3.16%
<b>Συνολικό ΑΕΠ</b>	2.51%	2.27%	3.01%

**Πίνακας 8.3. Εκτιμώμενη εξέλιξη του ΑΕΠ και του πληθυσμού (Σενάριο 3)**

	2010	2010-2015	2015-2020
<b>Πληθυσμός</b>	0.20%	0.33%	0.18%
<b>ΑΕΠ Πρωτογενούς Τομέα</b>	-0.93%	0.72%	1.69%
<b>ΑΕΠ Δευτερογενούς Τομέα</b>	-1.13%	1.01%	2.26%
<b>ΑΕΠ Τριτογενούς Τομέα</b>	-1.29%	1.22%	2.75%
<b>Συνολικό ΑΕΠ</b>	-1.31%	1.16%	2.6%

Στους Πίνακες 8.4-8.6 παρουσιάζεται η εκτιμώμενη εξέλιξη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας για τα τρία σενάρια, ενώ στους Πίνακες 8.7-8.9 παρουσιάζεται η εκτιμώμενη εξέλιξη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας ανά ενεργειακή μορφή (ΣΕΕΣ, 2008 & 2009, ΥΠΕΚΑ, 2010). Προσδιορίζονται οι τιμές για τρία χαρακτηριστικά έτη της περιόδου μελέτης (2010, 2015 και 2020) και στη συνέχεια με γραμμική παρεμβολή υπολογίζονται οι τιμές για τα υπόλοιπα έτη.

Είναι προφανής η επίδραση των διαφορετικών ρυθμών ανάπτυξης στην εξέλιξη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Στο Σενάριο 1 η κατανάλωση είναι μεγαλύτερη από τα άλλα δύο σε όλους τους τομείς οικονομικής δραστηριότητας και για κάθε ενεργειακή μορφή. Το Σενάριο 2 εμφανίζει σημαντικά χαμηλότερες τιμές από το Σενάριο 3 τα πρώτα έτη της περιόδου μελέτης στον οικιακό και στο βιομηχανικό τομέα, ενώ στους υπόλοιπους τομείς η τελική κατανάλωση ενέργειας είναι παρεμφερής.

Αντίθετα το Σενάριο 3 εμφανίζει χαμηλότερες τιμές σε όλους τους τομείς για το δεύτερο κομμάτι της περιόδου, από το 2015 μέχρι το 2020. Η παρατήρηση αυτή ενισχύει τον ισχυρισμό ότι όταν διαμορφώθηκε το Σενάριο 2 υπήρχε η πεποίθηση ότι η επίδραση της οικονομικής κρίσης θα είναι μεν έντονη αλλά θα είχε μικρή διάρκεια. Στο

Σενάριο 3 η επίδραση της κρίσης μακροπρόθεσμα είναι εμφανής, ιδιαίτερα στον τριτογενή τομέα και τον τομέα των μεταφορών.

Παρόμοια είναι και τα συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη της εξέλιξης της κατανάλωσης ενέργειας ανά ενεργειακή μορφή. Το Σενάριο 2 εμφανίζει χαμηλότερη τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαϊκών προϊόντων για το πρώτο κομμάτι της περιόδου μελέτης. Τα στερεά καύσιμα και οι ΑΠΕ (βιομάζα, βιοκαύσιμα, ηλιακή ενέργεια) εμφανίζουν παρεμφερείς τιμές στα Σενάρια 2 και 3. Αντίθετα, η τελική κατανάλωση του φυσικού αερίου είναι αισθητά μειωμένη σε όλη την περίοδο μελέτης στο Σενάριο 3, υποδεικνύοντας μια χρονική καθυστέρηση στην αναμενόμενη διείσδυση του φυσικού αερίου στην ελληνική αγορά.

**Πίνακας 8.4. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας (Σενάριο 1)**

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (kTOE)	2010	2015	2020
Αγροτικός Τομέας	1,183	1,220	1,236
Βιομηχανία	3,921	4,472	4,778
Μεταφορές	9,670	10,528	10,955
Οικιακός Τομέας	6,401	7,264	7,806
Τριτογενής Τομέας	2,435	3,237	3,774

**Πίνακας 8.5. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας (Σενάριο 2)**

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (kTOE)	2010	2015	2020
Αγροτικός Τομέας	1,078	1,038	1,146
Βιομηχανία	3,694	4,168	4,467
Μεταφορές	8,730	9,570	10,679
Οικιακός Τομέας	5,247	6,163	7,403
Τριτογενής Τομέας	2,088	2,766	3,178

**Πίνακας 8.6. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας (Σενάριο 3)**

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (kTOE)	2010	2015	2020
Αγροτικός Τομέας	1,030	1,040	1,050
Βιομηχανία	4,335	4,560	4,620
Μεταφορές	8,700	8,980	9,900
Οικιακός Τομέας	5,980	6,350	7,140
Τριτογενής Τομέας	2,170	2,270	2,550

Πίνακας 8.7. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά ενεργειακή μορφή (Σενάριο 1)

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (kTOE)	2010	2015	2020
Στερεά Καύσιμα	305	310	325
Πετρελαϊκά Προϊόντα	15,189	16,461	16,781
Φυσικό Αέριο	1,120	1,620	1,895
Ηλεκτρική Ενέργεια	5,040	5,885	6,650
Βιομάζα	1,185	1,300	1,530
Ηλιακή Ενέργεια	300	400	400
Βιοκαύσιμα	430	670	910

Πίνακας 8.8. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά ενεργειακή μορφή (Σενάριο 2)

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (kTOE)	2010	2015	2020
Στερεά Καύσιμα	305	310	325
Πετρελαϊκά Προϊόντα	13,333	14,524	16,566
Φυσικό Αέριο	1,236	1,800	2,016
Ηλεκτρική Ενέργεια	4,200	4,655	5,256
Βιομάζα	1,120	1,200	1,320
Ηλιακή Ενέργεια	166	186	213
Βιοκαύσιμα	416	916	1,060

Πίνακας 8.9. Εκτιμώμενη εξέλιξη της κατανάλωσης ενέργειας ανά ενεργειακή μορφή (Σενάριο 3)

Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (kTOE)	2010	2015	2020
Στερεά Καύσιμα	305	310	320
Πετρελαϊκά Προϊόντα	14,735	15,160	16,015
Φυσικό Αέριο	890	1,140	1,420
Ηλεκτρική Ενέργεια	4,890	5,145	5,500
Βιομάζα	1,010	790	600
Ηλιακή Ενέργεια	300	350	400
Βιοκαύσιμα	80	300	1,000

Κατά την προσομοίωση των τριών σεναρίων λαμβάνονται υπόψη και οι ήδη δρομολογημένες πολιτικές στον τομέα της ενέργειας. Το πρόγραμμα αποσύρσεων-εντάξεων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ συνοψίζεται στους Πίνακες 8.10 και 8.11. Παράλληλα, σχεδιάζεται η ηλεκτρική διασύνδεση των Κυκλάδων με την ηπειρωτική Ελλάδα έως το 2013, γεγονός που θα έχει ως αποτέλεσμα, το σύστημα ηλεκτροπαραγωγής των νησιών να είναι μέρος του διασυνδεδεμένου συστήματος.

**Πίνακας 8.10. Πρόγραμμα απόσυρσης παλαιών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής (ΥΠΑΝ, 2008β)**

Ημερομηνία Απόσυρσης	Καύσιμο	Συνολική Ισχύς (MW)
12/2010	Λιγνίτης	444
12/2011	Λιγνίτης	274
01/2012	Μαζούτ	142
	Ντίζελ	162
12/2012	Λιγνίτης	116
01/2014	Μαζούτ	104
	Ντίζελ	31
01/2015	Μαζούτ	719
	Φυσικό Αέριο	512
12/2017	Λιγνίτης	820

**Πίνακας 8.11. Πρόγραμμα ένταξης νέων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής (ΥΠΑΝ, 2008β)**

Ημερομηνία Απόσυρσης	Καύσιμο	Συνολική Ισχύς (MW)
01/2011	Φυσικό Αέριο	380
01/2011-01/2016	Μαζούτ/Φυσικό Αέριο	100
01/2012	Μαζούτ	120
	Φυσικό Αέριο	186
01/2015	Λιγνίτης	405
06/2013	Φυσικό Αέριο	250
01/2016	Λιγνίτης	435
01/2014	Φυσικό Αέριο	250

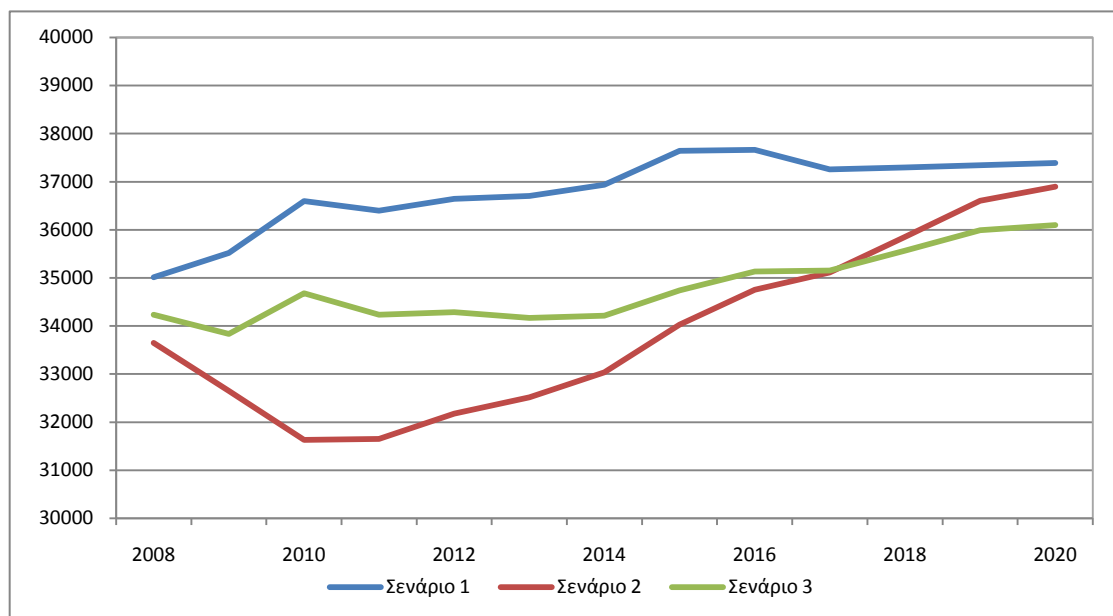
Αναμένεται, επίσης, η αναβάθμιση των διυλιστηρίων, με χρονικό ορίζοντα το 2011 και με στόχο την αύξηση της παραγωγής ελαφρών προϊόντων και κυρίως ντίζελ εις βάρος του μαζούτ. Παράλληλα με το σχέδιο της ΔΕΗ για τις νέες της μονάδες, στην τελική ευθεία ένταξης έχουν μπει και οι ιδιωτικές επενδύσεις που προωθούν οι Έλληνες μαζί με Ευρωπαίους εταίρους και μέχρι το 2012 αναμένεται να τεθούν σε λειτουργία μονάδες συνολικής ισχύος 1,500-2,000 MW. Ο συνολικός στόχος των τεσσάρων κοινοπραξιών που δραστηριοποιούνται στο χώρο είναι να φτάσουν τις 5,500-7,000 MW τα επόμενα πέντε χρόνια, μέχρι το 2015.

### 8.3 Εξέλιξη του Συστήματος «Ως Έχει»

Τα δεδομένα της κατανάλωσης ενέργειας τα οποία παρουσιάστηκαν στους Πίνακες 8.7-8.9 καθώς και οι αλλαγές στη δομή του συστήματος εισάγονται στο εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού. Ο τρόπος εισαγωγής των δεδομένων περιγράφεται στο Παράρτημα Π.1.3. Από την επεξεργασία τους και την εκτέλεση των σεναρίων προκύπτει η προσφορά πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για την κάλυψη της ζήτησης από το έτος βάσης μέχρι και το τελευταίο έτος της ανάλυσης. Στην Εικόνα 8.1 παρουσιάζεται η υπολογιζόμενη συνολική προσφορά ενέργειας συγκριτικά για τα



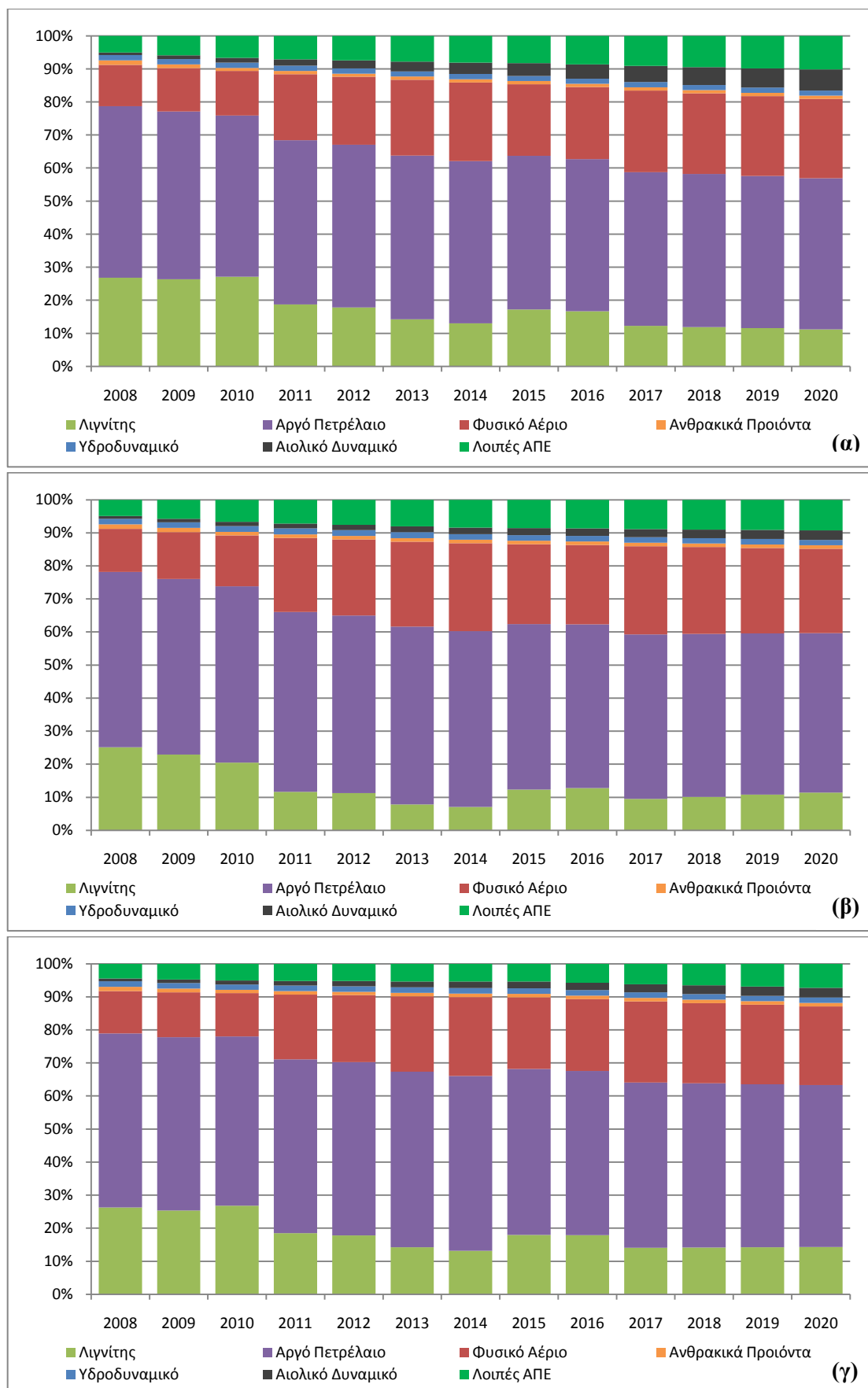
τρία σενάρια. Παρατηρείται αύξηση της συνολικής απαιτούμενης ποσότητας πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με τα επίπεδα του έτους βάσης ακόμα και για το Σενάριο 3, το οποίο είναι και το πιο απαισιόδοξο για την ανάπτυξη της χώρας. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την ανάγκη λήψης μέτρων εξοικονόμησης και ανάπτυξης ενός σχεδίου δράσης για την υλοποίηση των εθνικών στόχων.



**Εικόνα 8.1. Απαιτούμενη προσφορά ενέργειας για την κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης (σε kTOE)**

Στην Εικόνα 8.2 αποτυπώνεται η ποσοστιαία σύσταση του μίγματος της πρωτογενούς ενέργειας για κάθε ένα από τα τρία σενάρια. Σε όλα είναι εμφανής η τάση για διαρκή μείωση του μεριδίου του λιγνίτη στα ενεργειακό ισοζύγιο και η αντικατάσταση του από το φυσικό αέριο. Το μερίδιο του αργού πετρελαίου δε μεταβάλλεται σε μεγάλο βαθμό ενώ παρατηρείται μια σταδιακή διείσδυση των ΑΠΕ, η οποία είναι όμως μικρότερη από το απαιτούμενο επίπεδο για την επίτευξη των στόχων.

Παράλληλα, χρησιμοποιώντας το εργαλείο του ενεργειακού σχεδιασμού, υπολογίζεται η εξέλιξη των εθνικών στόχων καθώς και των δεικτών που εκφράζουν τη βιώσιμη ανάπτυξη του συστήματος. Ο Πίνακας 8.12 παρουσιάζει την αναμενόμενη επίτευξη των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων αν πραγματοποιηθούν μόνο οι προγραμματισμένες δράσεις και αλλαγές στη δομή του συστήματος. Μια πρώτη γενική παρατήρηση είναι πως η οικονομική κρίση επηρεάζει σημαντικά τη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων και κατά συνέπεια την επίτευξη των στόχων. Η πιο απαισιόδοξη προοπτική για την ανάπτυξη της χώρας, η οποία περιγράφεται από τα Σενάρια 2 & 3 και η οποία μεταφράζεται τόσο σε χαμηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης όσο και χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, θέτει όπως είναι φυσικό και τους πιο εφικτούς στόχους. Η εξέλιξη αυτή δεν θα πρέπει να είναι παραπλανητική και να θεωρηθεί πως η κατάσταση τείνει προς βελτίωση.



Εικόνα 8.2. Ποσοστιαία σύσταση του μίγματος πρωτογενούς ενέργειας. (α) Σενάριο 1, (β) Σενάριο 2 και (γ) Σενάριο 3

**Πίνακας 8.12. Αναμενόμενη επίτευξη των εθνικών στόχων με την ανάπτυξη του συστήματος «ως έχει»**

	Στόχος & Έτος Αναφοράς		Έτος Βάσης	Προβλεπόμενη Εξέλιξη		
				Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Διείσδυση ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση	18%	2020	6.8%	13.5%	13.6%	12.8%
Διείσδυση ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή	40%	2020	13.6%	18.1%	21.3%	22.0%
Διείσδυση ΑΠΕ στις Μεταφορές	10%	2020	-	9.3%	10.3%	11.0%
Περιορισμός Εκπομπών ΑΤΘ <sup>1</sup>	25%	2008-2012	-	10.3%	2.1%	5.4%
Μείωση Εκπομπών ΑΤΘ <sup>2</sup>	14%	2010	3%	3.7%	16.4%	15.3%
Εξοικονόμηση Τελικής Ενέργειας <sup>2</sup>	9%	2016	-7.0%	-16.2%	-7.8%	-8.9%

<sup>1</sup> Στόχος είναι ο περιορισμός των εκπομπών, με περιθώριο αύξησης το πολύ μέχρι 25% σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, άρα επίτευξη έχουμε όταν το ποσοστό είναι μικρότερο του 25%.

<sup>2</sup> Το αρνητικό πρόσημο στον πίνακα δηλώνει απόκλιση από το στόχο, δηλαδή αύξηση εκπομπών ή κατανάλωσης αντί της προσδοκώμενης μείωσης.

Μια πληρέστερη μελέτη των επιμέρους στόχων φανερώνει πως ο πιο βραχυπρόθεσμος από αυτούς, η δέσμευση δηλαδή με βάση το Πρωτόκολλο του Κιότο για περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου την περίοδο 2008-2012, θα επιτευχθεί χωρίς αμφιβολία. Παράλληλα, φαίνεται εφικτή και πραγματοποιήσιμη η μείωση των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ στο επιθυμητό επίπεδο για το έτος 2020. Εξετάζοντας, όμως, την επιμέρους κατανομή των στόχων για τους κλάδους που εντάσσονται στο Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών, εντοπίζεται η αδυναμία του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής να περιορίσει τις εκπομπές ακόμα και για τον βραχυπρόθεσμο στόχο του 2012 (Πίνακας 8.13).

**Πίνακας 8.13. Εκτιμώμενες εκπομπές CO<sub>2</sub> (σε (tCO<sub>2</sub>)) για τις εγκαταστάσεις που εντάσσονται στο σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών**

Τομέας	Συνολικά Δικαιώματα Περιόδου 2008-2012 (tCO <sub>2</sub> )	Προβλεπόμενη Εξέλιξη		
		Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Ηλεκτροπαραγωγή	233,155	259,686	226,264	243,465
Δωλίστήρια	20,480	18,344	18,344	18,344
Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις	71,167	42,294	41,678	44,567

Ένας ακόμη στόχος που φαίνεται αρκετά πιθανό να επιτευχθεί με βάση τις προγραμματισμένες στρατηγικές είναι η διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών. Συγκεκριμένα, επιτυγχάνεται στα Σενάρια 2 και 3 ενώ είναι οριακή η μη επίτευξή τους στο Σενάριο 1.

Το πρόβλημα εντοπίζεται στους υπόλοιπους τρεις στόχους, για τους οποίους απαιτείται πολύ μεγαλύτερη προσπάθεια. Για τη διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση και στην ηλεκτροπαραγωγή, οι προγραμματισμένες δράσεις φαίνονται πως κινούνται στη σωστή κατεύθυνση αλλά δεν είναι αρκετές για την αύξηση του μεριδίου στα επιθυμητά επίπεδα. Αντίθετα, για την περίπτωση της εξοικονόμησης τελικής κατανάλωσης ενέργειας, η διαφαινόμενη εξέλιξη δεν είναι ευνοϊκή για την επίτευξη του στόχου. Σε όλα τα σενάρια παρατηρείται μάλιστα αύξηση της κατανάλωσης σε σχέση με τα επίπεδα του 2007 ενώ ακόμα και στο πιο «θετικό» σενάριο (Σενάριο 2) παρατηρείται αύξηση της κατανάλωσης κατά 8.9% σε σχέση με το έτος αναφοράς ενώ η δέσμευση είναι πως θα μειωθεί κατά 9%.

Στον Πίνακα 8.14 παρουσιάζεται η εξέλιξη της οικονομικής και της περιβαλλοντικής συνιστώσας της βιώσιμης ανάπτυξης του συστήματος κατά την περίοδο 2008-2020, παραθέτοντας τους αντίστοιχους δείκτες. Προφανώς, παραλείπονται οι δείκτες εκείνοι οι οποίοι ταυτίζονται με τους εθνικούς στόχους διείσδυσης των ΑΠΕ. Αντίθετα, οι κοινωνικοί δείκτες είναι δύσκολο να υπολογιστούν, καθώς περιλαμβάνουν μεγέθη, η εκτίμηση της μελλοντικής εξέλιξης των οποίων υπερβαίνει τα όρια της παρούσας διατριβής.

**Πίνακας 8.14. Πορεία προς τη βιώσιμη ανάπτυξη του συστήματος «ως έχει»**

Δείκτης	Ιστορικά Min-Max	2007	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
<b>Παροχή Πρωτογενούς Ενέργειας (TOE/κάτοικο)</b>	0.37/3.78	3.36	3.59	3.26	3.14
<b>Χρήση Οικιακής Ενέργειας (TOE/κάτοικο)</b>	0.06/0.49	0.47	0.68	0.65	0.62
<b>Ενεργειακή Ένταση (kTOE/€)</b>	0.108/0.276	0.168	0.132	0.125	0.148
<b>Ασφάλεια</b>	40.3%/76.6%	63.2%	69.4%	75.5%	73.4%
<b>Εκπομπές CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/κάτοικο)</b>	0.98/9.56	9.35	9.44	8.14	8.12
<b>Ένταση Εκπομπών (tCO<sub>2</sub>/€)</b>	0.29/0.71	0.49	0.35	0.31	0.38

Η περιβαλλοντική διάσταση της βιώσιμης ανάπτυξης εμφανίζει σε γενικές γραμμές βελτίωση. Οι κατά κεφαλή εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώνονται στα δύο από τα τρία σενάρια σε σχέση με τα επίπεδα τους 2007. Αντίθετα, η ένταση εκπομπών παρουσιάζει πτωτική πορεία σε σχέση με τα επίπεδα του 2007 και στα τρία σενάρια, καθώς επηρεάζεται

και από την αντίστοιχη μείωση του ΑΕΠ της χώρας. Μάλιστα στο Σενάριο 2, η τιμή προσεγγίζει την ιστορικά ελάχιστη τιμή.

Στον αντίποδα, οι δείκτες που εκφράζουν την οικονομική συνιστώσα της βιώσιμης ανάπτυξης δεν έχουν την ίδια συμπεριφορά. Η ενεργειακή ένταση, δηλαδή η παροχή πρωτογενούς ενέργειας ανά μονάδα ΑΕΠ, μειώνεται και στα τρία σενάρια, επηρεαζόμενη κυρίως από τη μείωση του ΑΕΠ. Η συνολική κατά κεφαλή παροχή πρωτογενούς ενέργειας αυξάνεται ενώ στο Σενάριο 1 ενώ στα Σενάρια 2 και 3 μειώνεται αισθητά.

Αντίθετα, τόσο η τελική κατανάλωση ενέργειας στον οικιακό τομέα όσο και η ασφάλεια του ενεργειακού συστήματος παρουσιάζουν αρνητική συμπεριφορά. Η χρήση οικιακής ενέργειας αυξάνεται, ξεπερνώντας και τη μέγιστη ιστορικά τιμή, καθώς στις προγραμματισμένες δράσεις δεν περιλαμβάνονται μέτρα εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα. Από την άλλη πλευρά, η ασφάλεια του ενεργειακού συστήματος μειώνεται, και ο αντίστοιχος δείκτης αυξάνεται, λόγω της αντικατάστασης του εγχώριου λιγνίτη στην ηλεκτροπαραγωγή από το εισαγόμενο φυσικό αέριο.

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτουν σαφώς οι βασικές κατευθυντήριες γραμμές για τον καθορισμό των εναλλακτικών επεμβάσεων στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα και για τη διαμόρφωση ενός εθνικού ενεργειακού σχεδίου δράσης. Ξεκινώντας από την ανάγκη επίτευξης των εθνικών στόχων προκύπτει η απαιτούμενη προώθηση των ΑΠΕ με στόχο την αύξηση του μεριδίου τους τόσο στην ηλεκτροπαραγωγή, κατά κύριο λόγο, όσο και στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Η κίνηση αυτή θα έχει επίσης ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας της χώρας, εφόσον βέβαια η αντικατάσταση των λιγνιτικών μονάδων ηλεκτροπαραγωγής γίνει ισορροπημένα από μονάδες εισαγόμενου φυσικού αερίου και ΑΠΕ.

Για την επίτευξη του στόχου μείωσης της τελικής κατανάλωσης ενέργειας αλλά και τη βελτίωση των υπόλοιπων δεικτών της οικονομικής βιωσιμότητας, απαιτούνται μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, δίνοντας έμφαση στον οικιακό τομέα, αλλά επεκτείνοντάς τα και στους υπόλοιπους τομείς οικονομικής δραστηριότητας. Τέλος, η εφαρμογή των παραπάνω δράσεων αναμένεται να μειώσει περισσότερο τις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub> και να βελτιώσει τη συμπεριφορά των υπόλοιπων περιβαλλοντικών δεικτών.

## 8.4 Διαμόρφωση Σχεδίου Δράσης

Με βάση τις παρατηρήσεις της προηγούμενης ενότητας προκύπτει η αναγκαιότητα για τη λήψη μέτρων προς την επίτευξη των εθνικών στόχων, χωρίς βέβαια αυτά να αποτελέσουν εμπόδιο για τη βιώσιμη ανάπτυξη της χώρας. Τα μέτρα αυτά μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Επεμβάσεις στον τομέα της ζήτησης, οι οποίες στοχεύουν στην εξοικονόμηση ενέργειας, είτε με την εισαγωγή νέων τεχνολογιών είτε με την προώθηση ορθολογικότερης χρήσης της ενέργειας.

- Επεμβάσεις στο τομέα της προσφοράς, οι οποίες αφορούν την προώθηση των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας.

Στις ενότητες που ακολουθούν οι επεμβάσεις αυτές καταγράφονται, κατηγοριοποιούνται με βάση τον τομέα εφαρμογής τους και αξιολογούνται χρησιμοποιώντας την ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Το σύνολο των επεμβάσεων, οι οποίες κρίνονται οικονομικά αποτελεσματικές και αποδοτικές, αποτελούν το τελικό σχέδιο δράσης που θα εφαρμοστεί το ελληνικό ενεργειακό σύστημα.

#### 8.4.1 Μοντελοποίηση των Μέτρων

Η συνολική μείωση κατανάλωσης ενέργειας στην τελική ενεργειακή χρήση  $X$ , που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός μέτρου εξοικονόμησης δίνεται από μια σχέση μορφής:

$$E = \Delta \nu \alpha \mu \iota \kappa \acute{o} \times N \times \epsilon \upsilon \rho \omicron \varsigma \text{ Εφαρμογής} \times \text{Ποσοστό Εξοικονόμησης} \quad (8.1)$$

όπου

$\Delta \nu \alpha \mu \iota \kappa \acute{o}$ : το δυναμικό εξοικονόμησης, το οποίο εκφράζεται ως η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για τη χρήση  $X$

$N$ : ο αριθμός των καταναλωτών

Αντίστοιχα, η συνολική αύξηση στην παροχή ενέργειας από ένα έργο ΑΠΕ εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Εύρος εφαρμογής του μέτρου, το οποίο το εκφράζεται ως η εγκατεστημένη ισχύς κάθε τεχνολογίας.
- Βαθμός απόδοσης της μονάδας.
- Κλιματολογικά δεδομένα.

Με την παραδοχή ότι ο βαθμός απόδοσης μπορεί να θεωρηθεί σταθερός και πως τα κλιματολογικά δεδομένα δεν θα αλλάξουν δραστικά τα επόμενα 10-15 χρόνια η μόνη αβέβαιη παράμετρος είναι το εύρος εφαρμογής του κάθε μέτρου.

#### 8.4.2 Παρουσίαση των Προτεινόμενων Μέτρων

Τα προτεινόμενα εναλλακτικά μέτρα συγκεντρώθηκαν μετά από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση επίσημων εκθέσεων, μελετών, επιστημονικών άρθρων και δημοσιεύσεων του ημερήσιου τύπου για την περίοδο 2006-2010. Εκτενέστερη ανάλυση γίνεται για τον τομέα της προσφοράς και τον οικιακό τομέα, αφού υπάρχουν αρκετά και αξιόπιστα δεδομένα για όλες τις παραμέτρους μοντελοποίησης των επεμβάσεων. Ορίζονται οι κατανομές που περιγράφουν με τον καλύτερο τρόπο κάθε μια από τις αβέβαιες παραμέτρους των μοντέλων και γίνεται μια πρόχειρη εκτίμηση της αναμενόμενης εξοικονόμησης και του κόστους εφαρμογής. Στη συνέχεια, οι επεμβάσεις αξιολογούνται και καθορίζεται το τελικό σχέδιο δράσης.

Αντίθετα, για τον τριτογενή τομέα η εκτίμηση του κόστους είναι πιο αβέβαιη και σύνθετη. Για το λόγο αυτό, στον καθορισμό του σχεδίου δράσης χρησιμοποιούνται οι επεμβάσεις που αξιολογούνται ως οι αποτελεσματικότερες στον οικιακό τομέα, προσαρμοζόμενες όμως κάθε φορά στις απαιτήσεις του δημοσίου και ιδιωτικού τομέα. Τέλος, για τη βιομηχανία και τις μεταφορές, οι βιβλιογραφικές πηγές είναι περιορισμένες και για το λόγο αυτό παρουσιάζονται απλά τα ευρήματα και επιλέγονται οι πιο ρεαλιστικές επεμβάσεις προς εφαρμογή.

#### 8.4.2.1 Εξοικονόμηση στον Οικιακό Τομέα

Στην προσπάθεια επίτευξης των στόχων εξοικονόμησης της τελικής ενέργειας, εξέχοντα ρόλο διαδραματίζει ο οικιακός τομέας, καθώς αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο καταναλωτή του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Ευθύνεται για το 36% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενώ την περίοδο 2000-2005 η κατανάλωση αυτή αυξήθηκε κατά 24%. Ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους τα ελληνικά κτίρια είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα είναι η παλαιότητά τους και η μη ενσωμάτωση σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτά λόγω ανεπάρκειας της σχετικής νομοθεσίας τα τελευταία 30 χρόνια (Balaras et al., 2007).

Οι χρήσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα είναι η θέρμανση χώρων και η θέρμανση του νερού χρήσης. Ο Πίνακας 8.15 παρουσιάζει ενδεικτικά τις μέσες τιμές κατανάλωσης ενέργειας ανά κατοικία και ανά τελική χρήση (ΣΕΕΣ (2008), ΕΑΑ (2008), ΥΠΙΑΝ (2009 β)). Οι επεμβάσεις που επιλέγονται στοχεύουν στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε όλες τις χρήσεις. Στους Πίνακες 8.16-8.27, παρουσιάζονται, για κάθε εναλλακτική επέμβαση, τα ακόλουθα μεγέθη, όπως αυτά συγκεντρώθηκαν από τη βιβλιογραφική έρευνα:

- Ποσοστό Εξοικονόμησης, το οποίο εκφράζεται ως η εκτιμώμενη εξοικονόμηση ενέργειας μετά την εφαρμογή του μέτρου σε σχέση με την αρχική κατανάλωση.
- Ποσοστό Εφαρμογής, το οποίο αποτυπώνεται στο εκτιμώμενο ποσοστό των νοικοκυριών που θα εφαρμόσουν το μέτρο με ορίζοντα το έτος 2020.

**Πίνακας 8.15. Τυπική κατανάλωση ενέργειας ανά κατοικία και τελική χρήση**

Α/Α	Χρήση	Κατανάλωση Ενέργειας	
		Εύρος	Κορυφή
<b>X1</b>	Φωτισμός	400 kWh -1,200 kWh	600 kWh
<b>X2</b>	Θέρμανση Νερού	1,200 kWh -1,500 kWh	1,300 kWh
<b>X3</b>	Θέρμανση Χώρου	10,000 kWh -20,000 kWh	12,500 kWh
<b>X4</b>	Δροσισμός Χώρου	200 kWh -300 kWh	250 kWh
<b>X5</b>	Ψύξη	800 kWh -900 kWh	850 kWh
<b>X6</b>	Πλύση Πιάτων	100 kWh -130 kWh	110 kWh
<b>X7</b>	Πλύση Ρούχων	180 kWh -220 kWh	200 kWh

Παράλληλα, παρουσιάζεται και το κόστος υλοποίησης κάθε μιας από τις επεμβάσεις. Τέλος, ο Πίνακας 8.25 συνοψίζει όλες τις επεμβάσεις καθώς και τις τιμές για τις αβέβαιες παραμέτρους που θα χρησιμοποιηθούν.

### Αντικατάσταση Λαμπτήρων

Με τον όρο «αντικατάσταση λαμπτήρων», συνήθως εννοείται η αντικατάσταση λαμπτήρων (ή και φωτεινών σωμάτων) πυρακτώσεως με λαμπτήρες φθορισμού διαφόρων τύπων (συμβατικούς- συμπαγείς χαμηλής κατανάλωσης- σωληνωτούς). Σε γενικές γραμμές πάντως εννοείται η αντικατάσταση λαμπτήρων πυρακτώσεως με λαμπτήρες οποιασδήποτε άλλης τεχνολογίας, η οποία προσφέρει μεγαλύτερους χρόνους ζωής με μικρότερη κατανάλωση.

**Πίνακας 8.16. Αντικατάσταση λαμπτήρων – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Κόστος Υλοποίησης
<b>ΣΕΕΣ (2008)</b>	-	380 εκ. € συσκευές και φωτισμός
<b>Γαλία (2008)</b>	60%	-
<b>Balaras et al. (2007)</b>	60%	1 €/m <sup>2</sup>
<b>Greenpeace (2007)</b>	45%	-
<b>Καρανίκας (2009)</b>	έως 80%	3-6 € ανά λαμπτήρα
<b>Φιντικάκης (2009)</b>	-	4 € ανά λαμπτήρα/100 € ανά κατοικία

Είναι σαφές από την πληθώρα των πηγών (Πίνακας 8.16) πως πρόκειται για μία επέμβαση που προκρίνεται για την εφαρμογή της στον οικιακό τομέα καθώς συνδυάζει χαμηλό κόστος υλοποίησης και άμεσα οικονομικά οφέλη. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την προώθηση της μέσω διαφήμισης ή άλλων δράσεων και ενεργειών από τα Μ.Μ.Ε, επιτρέπουν την υπόθεση πως το ποσοστό εφαρμογής της μπορεί να είναι σχετικά υψηλό.

### Ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους των κατοικιών

Η θέρμανση χώρων είναι η πιο ενεργοβόρα τελική χρήση του οικιακού τομέα. Για το λόγο αυτό προτείνονται μια σειρά από επεμβάσεις που σχετίζονται με την ενεργειακή αναβάθμιση των κτιρίων αλλά και τη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς τους γενικότερα. Το μεγαλύτερο ποσοστό των θερμικών απωλειών ενός κτιρίου οφείλεται στη μεταφορά του θερμού αέρα των εσωτερικών χώρων προς την ατμόσφαιρα ή προς ψυχρότερους γειτονικούς χώρους ή/και αντίστροφα. Η κύρια μέθοδος περιορισμού τους είναι η θερμομόνωση του κτιρίου.

Τα κτίρια που κατασκευάστηκαν στην Ελλάδα πριν το 1979 και τα οποία αντιπροσωπεύουν περίπου το 80% του συνόλου των κτιρίων της χώρας, μπορεί να θεωρηθεί με μεγάλη ασφάλεια πως δε διαθέτουν μόνωση, καθώς ο Κανονισμός Θερμομόνωσης (ΦΕΚ 362/4.7.79) ψηφίστηκε και υιοθετήθηκε εκείνο το έτος. Ως εκ τούτου το διαθέσιμο δυναμικό για εξοικονόμηση ενέργειας είναι μεγάλο, αλλά αφορά στην πλειοψηφία του παλαιά κτίρια. Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει την καθολική εφαρμογή της συγκεκριμένης δράσης, πόσο μάλλον χωρίς την ύπαρξη κάποιου επιπρόσθετου κινήτρου από την πλευρά της πολιτείας.



Με οδηγό τον «Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων» (KENAK) και το πρόγραμμα «Εξοικονόμηση Κατ'Οίκον», προτείνεται η θερμομόνωση των εξωτερικών τοίχων (Πίνακας 8.17) στο 50% και θερμομόνωση της οροφής (Πίνακας 8.18) στο 30% των κατοικιών που δεν διαθέτουν μόνωση. Στα πλαίσια της ανάλυσης που ακολουθεί, γίνεται η παραδοχή πως θερμομόνωση δεν διαθέτει το σύνολο των κτιρίων που έχουν χτιστεί πριν το 1979 καθώς και το 10% των κτιρίων που χτίστηκαν εφεξής.

**Πίνακας 8.17. Θερμομόνωση τοίχου – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Ποσοστό Εφαρμογής	Κόστος Υλοποίησης
Balaras et al. (2007)	33-60%	Όλα πριν το 1980 και 10% των 1980-2001	3,300 €/100 m <sup>2</sup>
ΣΕΕΣ (2008)	-	250,000	1,7 δις €
Καρανίκας (2009)	35-40%	-	4,000 €/100 m <sup>2</sup>
Γιογιάκας (2009)	έως 40%	-	3,000 €/100 m <sup>2</sup>
Φιντικάκης (2009)	-	-	3,000-5,000 €/100 τμ
Fibrex HELLAS (2009)	-	-	1,808 €-3,082 €/100 m <sup>2</sup> σε νέο κτίριο 3,689 €-4,760 €/100 m <sup>2</sup> σε υφιστάμενο κτίριο
Φιντικάκης (2010)	-	-	5,000 €/100 m <sup>2</sup>
Τζαναβάρα (2010)	-	-	7,000 €/100 m <sup>2</sup>

**Πίνακας 8.18. Θερμομόνωση οροφής – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Ποσοστό Εφαρμογής	Κόστος Υλοποίησης
Balaras et al. (2007)	2-14%	70% πριν το 1980 και 10% των 1980-2001	28 €/m <sup>2</sup>
Γιογιάκας (2009)	10-15%	-	30-50 €/m <sup>2</sup>
Φιντικάκης (2009)	-	-	40 €/m <sup>2</sup>
Τζαναβάρα (2010)	-	-	έως 50 €/m <sup>2</sup>

### Βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς των κτιρίων

Στην ίδια λογική με τη θερμομόνωση, επιλέγονται ορισμένες απλές επεμβάσεις βελτίωσης της θερμικής συμπεριφοράς που στοχεύουν στη μείωση των θερμικών απωλειών λόγω αερισμού αλλά και μέσω των ανοιγμάτων. Συγκεκριμένα προτείνεται η τοποθέτηση διπλού υαλοστασίου στο 40%, η στεγανοποίηση των ανοιγμάτων στο 30% και η χρήση τέντας ή σκίαστρου για την μείωση των αναγκών δροσισμού στο 10% των νοικοκυριών.

Στην Ελλάδα, η χρήση διπλών υαλοπινάκων σε νέα κτίρια είναι υποχρεωτική από το 1979 όταν και τέθηκε σε ισχύ ο Κανονισμός Θερμομόνωσης. Για τα παλαιά κτίρια, χτισμένα πριν το 1979, η αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με διπλούς, με πιθανή αντικατάσταση και των κουφωμάτων, αποτελεί μια σημαντική προοπτική

εξοικονόμησης ενέργειας. Είναι αρκετά φθηνότερη από τη θερμομόνωση και μπορεί να ανατρέψει κατά ένα πολύ μεγάλο ποσοστό την κακή ενεργειακή απόδοση του κτιρίου, με πολλαπλά οφέλη, ενεργειακά, περιβαλλοντικά και οικονομικά.

**Πίνακας 8.19. Διπλά υαλοστάσια – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Ποσοστό Εφαρμογής	Κόστος Υλοποίησης
Balaras et al. (2007)	14-20%	Όλα πριν το 1980 και 10% των 1985-2001	160 €/m <sup>2</sup>
Τζαναβάρα (2010)	-	-	120 €/m <sup>2</sup>
Φιντικάκης (2010)	-	-	90 €/m <sup>2</sup>
Καρανίκας (2009)	-	-	40-70 €/m <sup>2</sup>
Φιντικάκης (2009)	20%	-	180-200 €/m <sup>2</sup>
Γιογιάκας (2009)	-	-	25-190 €/m <sup>2</sup>

**Πίνακας 8.20. Αεροστεγάνωση ανοιγμάτων – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Κόστος Υλοποίησης
Γαγλία (2008)	16-21%	20 €/κατοικία
Φιντικάκης (2010)	-	20 €/κατοικία

Η τοποθέτηση σκιάστρων-τεντών στους εξωτερικούς χώρους κατοικιών, ειδικά στην Ελλάδα που τα ποσοστά ηλιοφάνειας είναι πολύ μεγάλα, μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό μέτρο για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη, ειδικά τους καλοκαιρινούς μήνες. Παρόλο που το κόστος της τοποθέτησης δεν είναι μεγάλο, προτείνεται εφαρμογή μόνο στο 10% των νοικοκυριών, διότι πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ένα πολύ μεγάλο ποσοστό των κατοικιών στην Ελλάδα έχουν ήδη τοποθετημένα σκίαστρα ή τέντες και δεν υπάρχει ακριβής εκτίμηση για τον αριθμό αυτό.

**Πίνακας 8.21. Εξωτερικός σκιασμός – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Κόστος Υλοποίησης
Balaras et al. (2007)	10-20% της ηλεκτρικής για ψύξη	20 €/m <sup>2</sup>
Φιντικάκης (2010)	-	40 €/m <sup>2</sup>
Καρανίκας (2009)	-	50 €/m <sup>2</sup>
Φιντικάκης (2009)	-	40 €/m <sup>2</sup>

### Προώθηση ενεργειακά αποδοτικότερων συσκευών

Η προώθηση ενεργειακά αποδοτικότερων συσκευών ενισχύεται σημαντικά από την Ευρωπαϊκή Ένωση με οδηγίες και διατάξεις (92/75/EC, 94/2/EC, 95/12/EC, 96/89/EC, 2003/66/EC) που αφορούν την υποχρεωτική αναγραφή της κατανάλωσης ενέργειας σε κάθε συσκευή καθώς και την ύπαρξη της Ενεργειακής Ετικέτας, στην οποία αναφέρεται, εκτός των άλλων, και η ενεργειακή της κλάση.

**Πίνακας 8.22. Αντικατάσταση ψυγείων – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Ποσοστό Εφαρμογής	Κόστος Υλοποίησης
Γαγλία (2008)	έως 60 %	-	-
ΥΠΕΚΑ (2010)	-	100,000-250,000	-
Βασιλείου (2009)	έως 60%	-	-
Φιντικάκης (2009)	έως 40%	-	600€-2,000€

**Πίνακας 8.23. Αντικατάσταση κλιματιστικών με ανεμιστήρες – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Κόστος Υλοποίησης
Balaras et al. (2007)	60% της ηλ. ενέργειας για ψύξη	150€
Γαγλία (2008)	60% της ηλ. ενέργειας για ψύξη	20€/ανεμιστήρα
Γιογιάκας (2009)	9kWh/ημέρα	από 40€/ανεμιστήρα
Καρανίκας (2009)	60€/μήνα	100€/ανεμιστήρα
Φιντικάκης (2009)	-	60€/ανεμιστήρα

**Πίνακας 8.24. Ποσοστό εξοικονόμησης με την αντικατάσταση πλυντηρίων - Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Πλυντήρια Ρούχων	Πλυντήρια Πιάτων
Φιντικάκης (2009)	25%	32%
Βασιλείου (2009)	έως 50%	έως 40%

Εξετάζεται η αντικατάσταση των ηλεκτρικών συσκευών για τις σημαντικότερες τελικές χρήσεις (ψυγεία, πλυντήρια πιάτων και ρούχων) με ενεργειακά αποδοτικότερες στο 10% των νοικοκυριών.

#### Αναβάθμιση των συστημάτων θέρμανσης

Η χρήση σύγχρονων και αποδοτικότερων συσκευών βρίσκει εφαρμογή και στη θέρμανση των χώρων. Μια από τις εξεταζόμενες εναλλακτικές δράσεις είναι η προώθηση της χρήσης του φυσικού αερίου έναντι του πετρελαίου θέρμανσης μέσω αντικατάστασης των υφιστάμενων λεβήτων. Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης του φυσικού αερίου (ΕΠΑ Αττικής, 2010) είναι:

- Ευκολία στη χρήση
- Καθαριότητα και εξοικονόμηση χώρου
- Μειωμένο κόστος συντήρησης συσκευών
- Ακρίβεια στη μέτρηση και χρέωση μετά την κατανάλωση
- Φιλικότητα προς το περιβάλλον

Όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα, σε συνδυασμό με τα οικονομικά κίνητρα που δίνονται, συνηγορούν στην επιλογή της συγκεκριμένης εναλλακτικής δράσης και στην ανάδειξή της ως μία από τις σημαντικότερες στο σύνολο των προτεινόμενων στην προσπάθεια της ενεργειακής αναμόρφωσης του οικιακού τομέα.

**Πίνακας 8.25. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον οικιακό τομέα - Χαρακτηριστικά μεγέθη της κατανομής**

A/A	Επέμβαση	Ποσοστό Εξοικονόμησης (% <i>Sav</i> )		Ποσοστό Εφαρμογής (% <i>App</i> )		Κόστος Εφαρμογής <sup>1</sup> ( <i>Cost</i> ) (σε €)		Χρόνος Ζωής (Ετη)
		<i>Εύρος</i>	<i>Κορυφή</i>	<i>Εύρος</i>	<i>Κορυφή</i>	<i>Εύρος</i>	<i>Κορυφή</i>	
<b>M1</b>	<b>Αντικατάσταση Λαμπτήρων</b>	50%-80%	60%	5%-20%	10%	60-120	100	10
<b>M2</b>	<b>Θερμομόνωση Εξωτερικών Τοίχων</b>	33%-60%	35%	max 60%	40%	3,300-7,000	4,500	30
<b>M3</b>	<b>Θερμομόνωση Οροφής</b>	2%-15%	8%	max 50%	30%	3,000-5,000	4,000	30
<b>M4</b>	<b>Στεγάνωση Ανοιγμάτων</b>	16%-21%	18%		30%	20	20	2
<b>M5</b>	<b>Σκίαστρα - Τέντες</b>	10%-20%	15%		10%	300-750	600	10
<b>M6</b>	<b>Διπλά Τζάμια</b>	15%-25%	20%	max 60%	40%	600-3,000	2,000	30
<b>M7</b>	<b>Ανεμιστήρες Οροφής</b>	40%-60%	50%		10%	40-150	100	10
<b>M8</b>	<b>Αντικατάσταση Ψυγείων</b>	30%-60%	40%	5%-20%	10%	600-2,000	1,000	15
<b>M9</b>	<b>Αντικατάσταση Πλυντηρίου Ρούχων</b>	25%-50%	35%		10%	300-700 <sup>2</sup>	450	12
<b>M10</b>	<b>Αντικατάσταση Πλυντηρίου Πιάτων</b>	25%-40%	32%		10%	300-600 <sup>2</sup>	400	12
<b>M11</b>	<b>Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Ντίζελ</b>	15%-17%	16%		10%	2,000-6,000	3,500	25
<b>M12</b>	<b>Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Φ.Α.</b>	18%-30%	20%		10%	2,000-6,000	4,000	25
<b>M13</b>	<b>Συστήματα Ηλιακής Θέρμανσης Νερού</b>	40%-80%	60%		10%	600-1,000	750	10

<sup>1</sup>Το κόστος εφαρμογής στους Πίνακες 8.16-8.18 είναι ανηγμένο ανά μονάδα εμβαδού κατοικίας και εμβαδού ανοιγμάτων αντίστοιχα. Για τον υπολογισμό του κόστους σε επίπεδο μιας κατοικίας, χρησιμοποιείται μια τυπική κατοικία, εμβαδού 100 m<sup>2</sup> και επιφάνειας ανοιγμάτων 15 m<sup>2</sup>.

<sup>2</sup>Οι τιμές προέκυψαν από έρευνα αγοράς σε καταστήματα πώλησης ηλεκτρικών συσκευών.

Εξετάζεται, λοιπόν, η προώθηση του φυσικού αερίου με στόχο την αντικατάσταση των συστημάτων θέρμανσης πετρελαίου με νέους λέβητες φυσικού αερίου (Πίνακας 8.26) στο 15% των νοικοκυριών, τα οποία διαθέτουν πρόσβαση στο φυσικό αέριο

**Πίνακας 8.26. Αντικατάσταση λεβήτων με νέους Φ.Α. – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Κόστος Υλοποίησης
Γαλλία (2008)	19-21 %	1,700-6,000 €
ΕΠΑ Αττικής (2009)	18%	-
Φιντικάκης (2009)	20-30%	4,000-5,000 €
Γιογιάκας (2009)	-	4,000 €

Μια εναλλακτική δράση είναι και η αναβάθμιση των υφιστάμενων συστημάτων θέρμανσης στα κτίρια και η αντικατάστασή τους με νέους αποδοτικότερους λέβητες πετρελαίου (Πίνακας 8.27) στο 10% των νοικοκυριών.

**Πίνακας 8.27. Αντικατάσταση λεβήτων με νέους πετρελαίου – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Κόστος Υλοποίησης
Γαλλία (2008)	15-17 %	1,700-6,000 €
Γιογιάκας (2009)	-	2,000-3,000 €

#### Εγκατάσταση συστημάτων ηλιακής θέρμανσης νερού

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια από τις ΑΠΕ με τις μεγαλύτερες δυνατότητες αξιοποίησης στον ελληνικό χώρο. Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος εκμετάλλευσής της είναι τα συστήματα ηλιακής θέρμανσης νερού (ΣΗΘΝ). Η Ελλάδα είναι η δεύτερη χώρα στην Ευρώπη σε συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια συλλεκτών και πάνω από το 30% των νοικοκυριών χρησιμοποιεί ΣΗΘΝ. Ωστόσο το ποσοστό αυτό θα μπορούσε να είναι πολύ πιο υψηλό στην χώρα με την υψηλότερη ηλιοφάνεια σε όλη την Ευρώπη. Εξετάζεται, λοιπόν, η εγκατάσταση συστημάτων ηλιακής θέρμανσης (Πίνακας 8.28) για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης στο 20% των νοικοκυριών.

**Πίνακας 8.28. Συστήματα ηλιακής θέρμανσης νερού – Βιβλιογραφική έρευνα**

Πηγή	Ποσοστό Εξοικονόμησης	Κόστος Υλοποίησης
Γαλλία (2008)	50-80%	740 € ανά κατοικία
Balaras et al. (2007)	60-74%	-
Φιντικάκης (2010)	-	800 € ανά κατοικία
Καρανίκας (2009)	40% της ηλεκτρικής	1,000 € ανά κατοικία
Φιντικάκης (2009)	-	1,000-2,000 ανά κατοικία
Γιογιάκας (2009)	70% των αναγκών νερού	600-800 € ανά κατοικία

### Σύνοψη και Αξιολόγηση

Ο Πίνακας 8.25 συνοψίζει όλες τις προτεινόμενες επεμβάσεις στον οικιακό τομέα. Η αξιολόγηση των επεμβάσεων για το καθορισμό του οικονομικότερου και αποτελεσματικότερου συνδυασμού γίνεται σε επίπεδο κατοικίας. Για κάθε μια από τις επεμβάσεις υπολογίζονται 3 μεγέθη:

- Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας ανά κατοικία.
- Ετήσια εξοικονόμηση εκπομπών CO<sub>2</sub> ανά κατοικία (με βάση τους συντελεστές εκπομπής του πετρελαίου 0.277 kgCO<sub>2</sub>/kWh, του φυσικού αερίου 0.201 kgCO<sub>2</sub>/kWh και της ηλεκτρικής ενέργειας 1.09 kgCO<sub>2</sub>/kWh).
- Ισοδύναμο ετήσιο κόστος, το οποίο προκύπτει διαιρώντας το συνολικό κόστος υλοποίησης της επέμβασης με το χρόνο ζωής της.

Το συνολικό κόστος ενός συνδυασμού μέτρων προκύπτει αθροίζοντας το επιμέρους ετήσιο κόστος κάθε μέτρου ενώ η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας ( $\Sigma E$ ) από τη σχέση:

$$\Sigma E = \sum_{i=1}^N \left\{ \text{Δυναμικό Εξοικονόμησης} \times \left[ 1 - \prod_{j=1}^M (1 - \text{Ποσοστό Εξοικονόμησης}) \right] \right\} \quad (8.2)$$

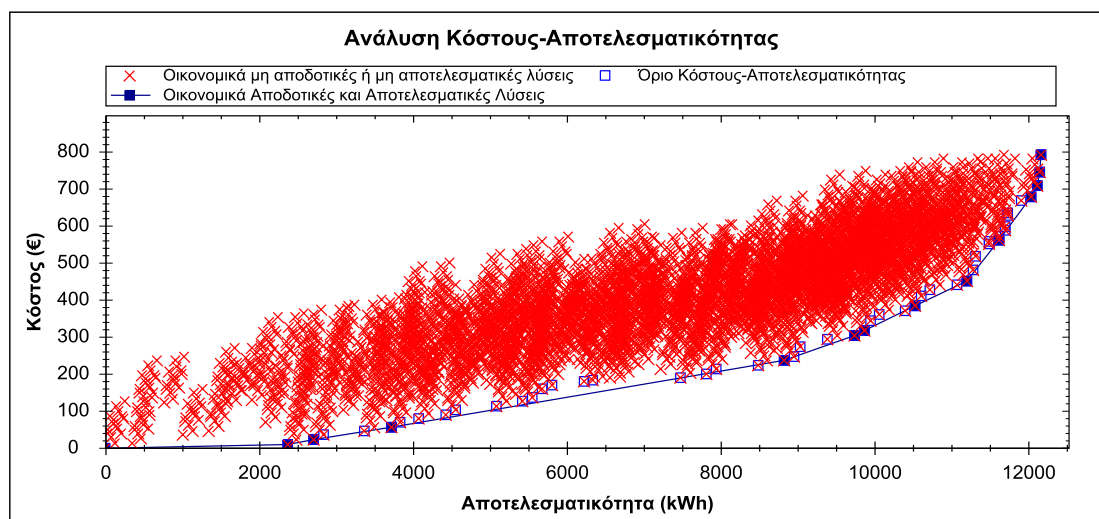
όπου

- $N$ : το πλήθος των διαφορετικών τελικών χρήσεων
- $M$ : το πλήθος των εναλλακτικών επεμβάσεων που αναφέρονται στη χρήση  $i$ .

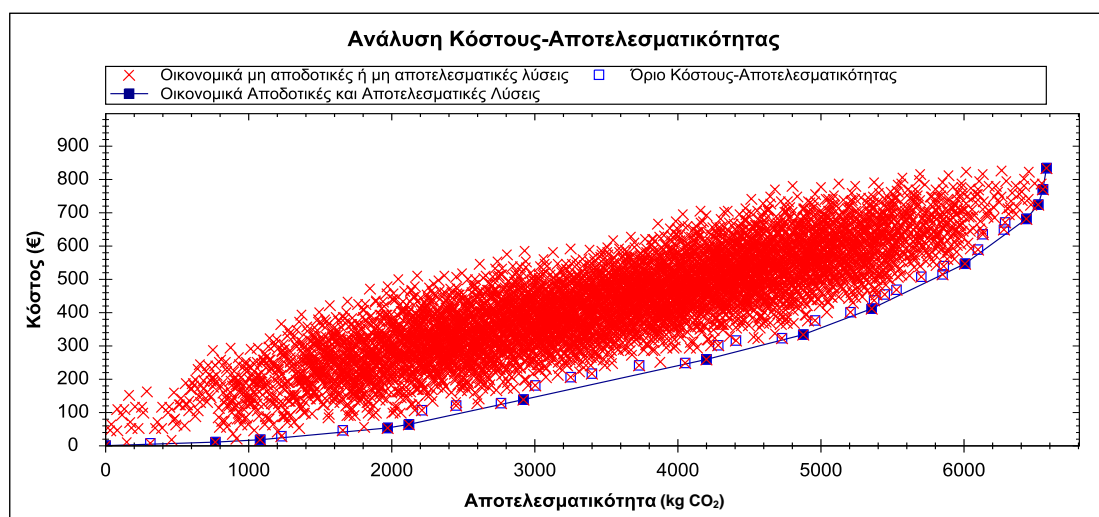
Οι επεμβάσεις αξιολογούνται δύο φορές με τη χρήση του αλγορίθμου που περιγράφηκε στην Εικόνα 3.4. Την πρώτη φορά, η αποτελεσματικότητα εκφράζεται σε όρους εξοικονόμησης ενέργειας και τη δεύτερη σε όρους μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>. Έτσι προκύπτει το σύνολο των προτεινόμενων επεμβάσεων, το οποίο διαφέρει κάθε φορά ανάλογα με το στόχο.

Για τη διαχείριση της αβεβαιότητας εφαρμόζεται η μέθοδος Monte Carlo και πραγματοποιούνται 1000 επαναλήψεις. Γίνεται η παραδοχή ότι η συμπεριφορά των αβέβαιων παραμέτρων περιγράφεται ικανοποιητικά από μια τριγωνική κατανομή με τα χαρακτηριστικά μεγέθη (εύρος και κορυφή) που παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.28. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν, αφορούν το σύνολο των λύσεων με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

Οι Εικόνες 8.3-8.4 απεικονίζουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας, και από τις 6,140 πιθανές και αποδεκτές λύσεις (συνδυασμούς επεμβάσεων) οι εννέα αναγνωρίζονται ως οικονομικά αποδοτικές και αποτελεσματικές.

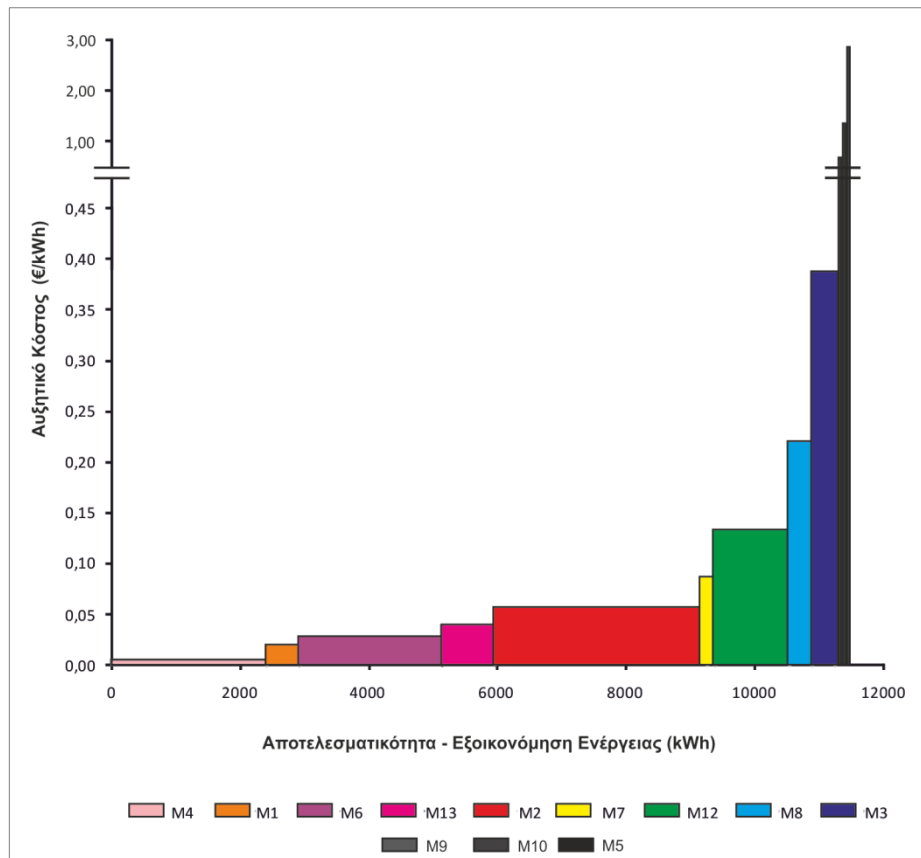


Εικόνα 8.3. Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας στη βάση της εξοικονόμησης ενέργειας

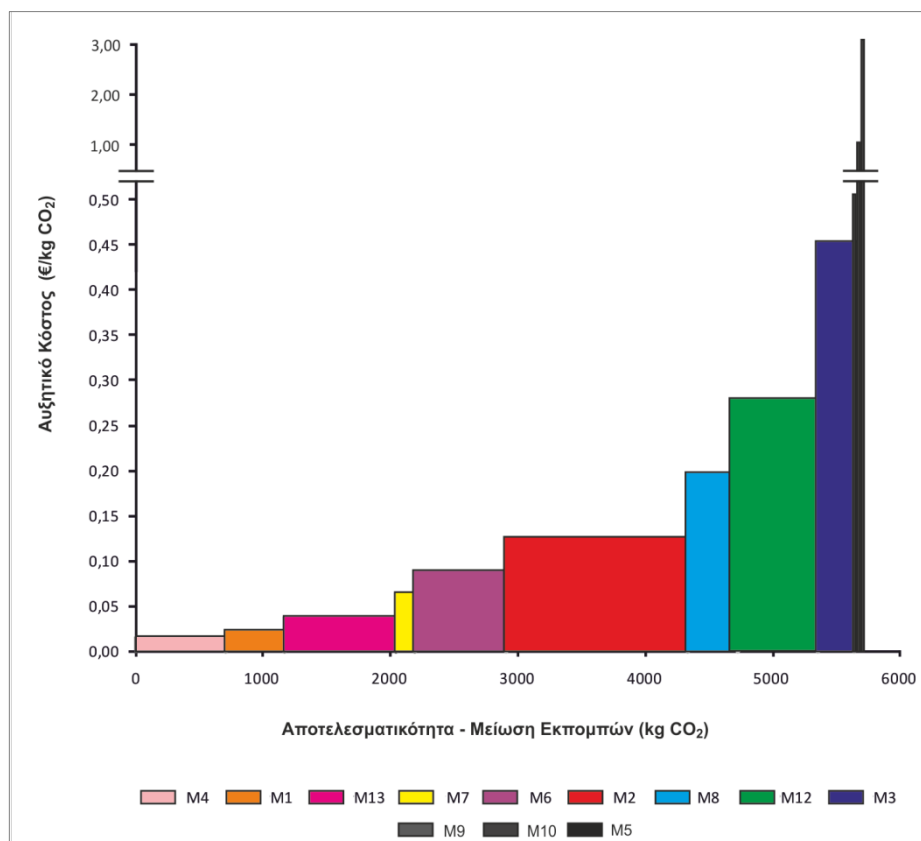


Εικόνα 8.4. Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας στη βάση της μείωσης εκπομπών

Με τη βοήθεια της ανάλυσης αυξητικού κόστους (Εικόνες 8.5-8.6) εντοπίζονται οι επεμβάσεις για τις οποίες η αποτελεσματικότητά τους δεν δικαιολογεί το επιπλέον κόστος και οι οποίες εμφανίζουν μια απότομη κορυφή στο διάγραμμα. Στο Πίνακα 8.28 καταγράφεται ο προτεινόμενος συνδυασμός των επεμβάσεων και παράλληλα, συγκρίνεται η σειρά κατάταξης των επεμβάσεων στις δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Διαπιστώνεται πως η αντικατάσταση των λαμπτήρων και η στεγάνωση των ανοιγμάτων είναι κοινές και στις δύο λίστες ως οι πιο συμφέρουσες ενώ η αντικατάσταση των πλυντηρίων πιάτων και ρούχων και η τοποθέτηση σκίαστρων είναι οι πιο ασύμφορες οικονομικά.



Εικόνα 8.5. Καμπύλη αυξητικού κόστους στη βάση της εξοικονόμησης ενέργειας



Εικόνα 8.6. Καμπύλη αυξητικού κόστους στη βάση της μείωσης των εκπομπών



Οι Εικόνες 8.7-8.9 παρουσιάζουν την κατανομή του συνολικού ετήσιου κόστους και της συνολικής αποτελεσματικότητας (εξοικονόμηση ενέργειας ή μείωση εκπομπών) μετά την εφαρμογή του συνολικού σχεδίου δράσης για τις δύο προσεγγίσεις. Το ύψος κάθε στήλης εκφράζει το ποσοστό των τιμών οι οποίες βρίσκονται στο διάστημα που προσδιορίζεται από το πλάτος της στήλης. Η τιμή που αντιστοιχεί στο μέσο του εύρους κάθε στήλης εμφανίζεται στον οριζόντιο άξονα.

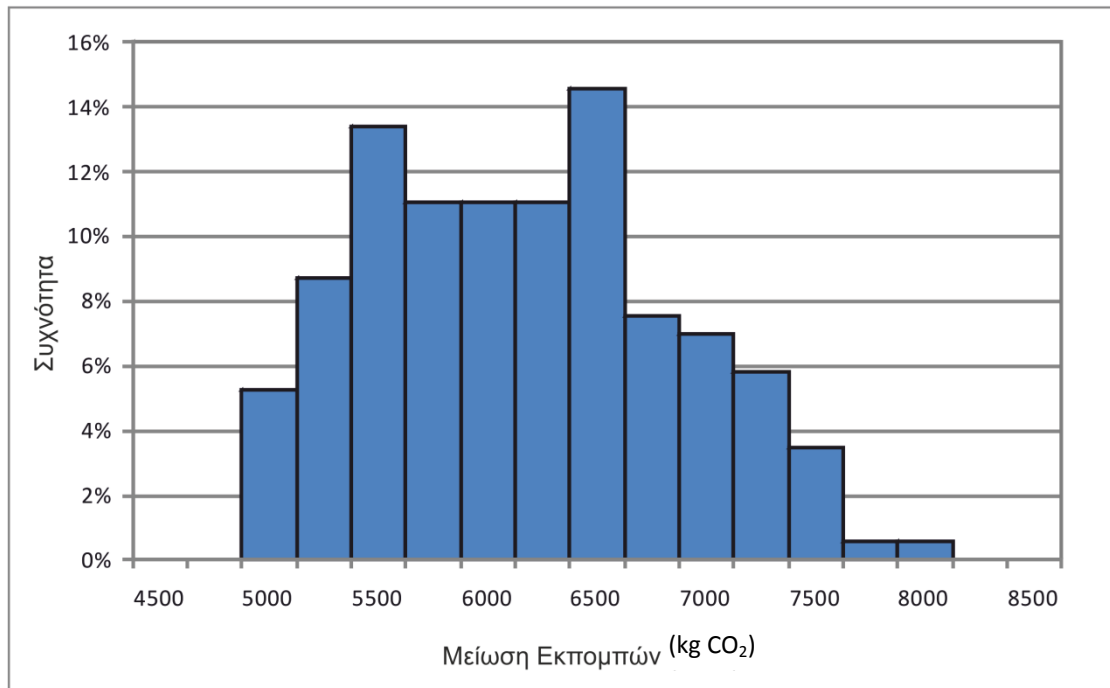
**Πίνακας 8.29. Προτεινόμενο σύνολο επεμβάσεων στον οικιακό τομέα σε φθίνουσα σειρά εφαρμογής τους με βάση την ανάλυση αυξητικού κόστους**

Με βάση την εξοικονόμηση ενέργειας	Με βάση τη μείωση των εκπομπών
M4 Στεγάνωση Ανοιγμάτων	M4 Στεγάνωση Ανοιγμάτων
M1 Αντικατάσταση Λαμπτήρων	M1 Αντικατάσταση Λαμπτήρων
M6 Διπλά Τζάμια	M13 Ηλιακοί Θερμοσίφωνες
M13 Ηλιακοί Θερμοσίφωνες	M7 Ανεμιστήρες Οροφής
M2 Θερμομόνωση Εξωτερικών Τοίχων	M6 Διπλά Τζάμια
M7 Ανεμιστήρες Οροφής	M2 Θερμομόνωση Εξωτερικών Τοίχων
M12 Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Φ.Α.	M10 Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Φ.Α.
M4 Αντικατάσταση Ψυγείων	M4 Αντικατάσταση Ψυγείων
M3 Θερμομόνωση Οροφής	M3 Θερμομόνωση Οροφής
<b>Οικονομικά μη αποτελεσματικές και στις δύο περιπτώσεις</b>	
M9 Πλυντήρια Ρούχων	M9 Πλυντήρια Ρούχων
M10 Πλυντήρια Πιάτων	M10 Πλυντήρια Πιάτων
M5 Σκίαστρα -Τέντες	M5 Σκίαστρα -Τέντες

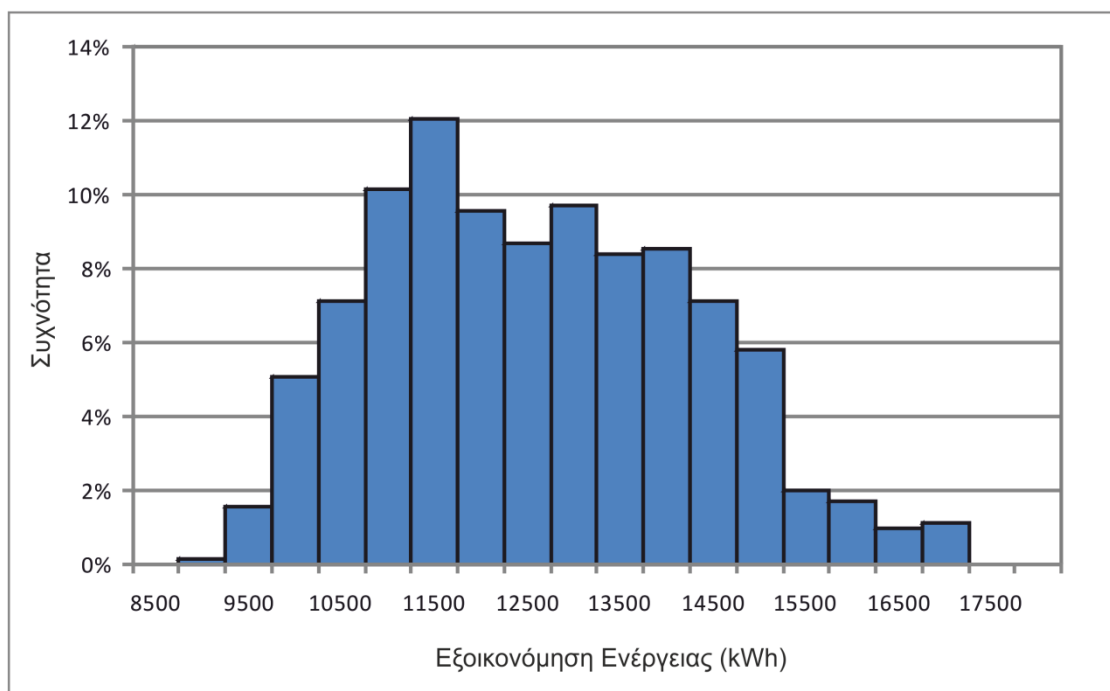
Η μορφή της κατανομής για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση εκπομπών προσεγγίζει και στις δύο περιπτώσεις μια θετικά ασύμμετρη κατανομή. Η μέση ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας είναι 12,300 kWh και η τυπική απόκλιση είναι 1,690 kWh ενώ το 50% των επαναλήψεων κυμαίνεται από 11,000 μέχρι 13,600 kWh. Αντίστοιχα, η μέση ετήσια μείωση εκπομπών είναι 5,900 kgCO<sub>2</sub> και η τυπική απόκλιση είναι 696 kgCO<sub>2</sub> ενώ στο 50% των επαναλήψεων η μείωση κυμαίνεται μεταξύ 5,500 kgCO<sub>2</sub> και 6,500 kgCO<sub>2</sub>. Αντίθετα, το μέσο ετήσιο κόστος προσεγγίζεται από μια τριγωνική κατανομή. Το μέσο ετήσιο κόστος είναι της τάξης των 660€ και η τυπική του απόκλιση είναι 53€, ενώ ξεπερνά τα 700€ στο 25% των επαναλήψεων.

Η επίδραση των διαφόρων παραμέτρων στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους και της αποτελεσματικότητας παρουσιάζεται στα διαγράμματα Tornado της Εικόνας 8.10. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν τη σχετική συνεισφορά της αβεβαιότητας κάθε παραμέτρου στη μεταβλητότητα του κόστους και της αποτελεσματικότητας. Στον οριζόντιο άξονα δεν υπάρχουν μονάδες, καθώς ο άξονας αυτός εκφράζει μια

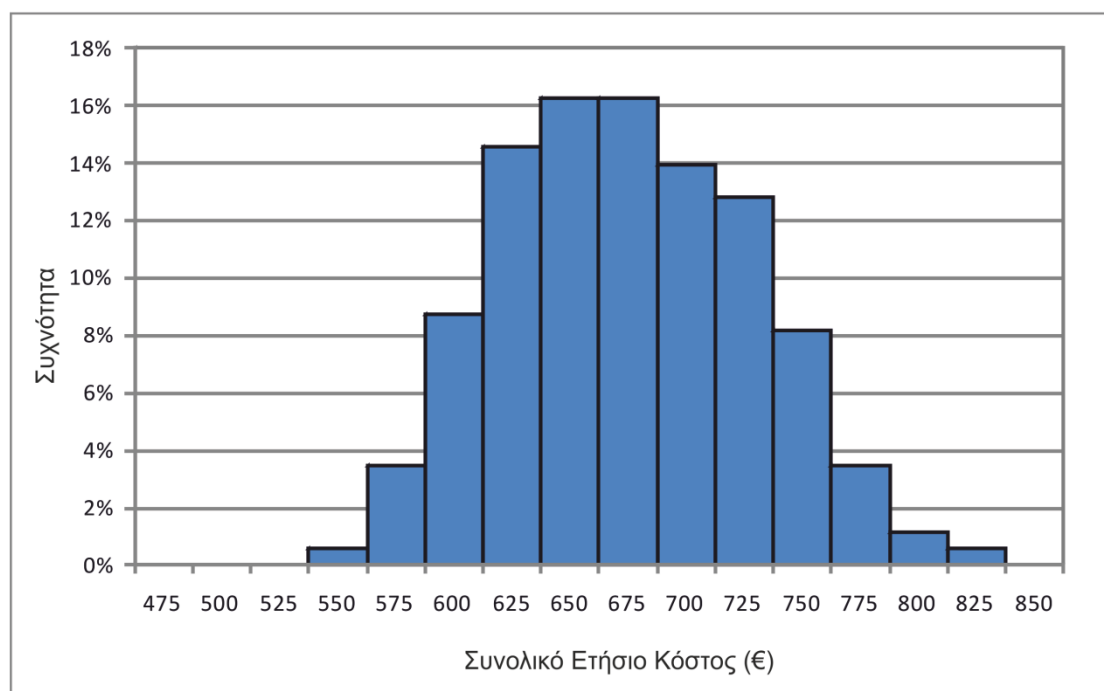
σχετική ένδειξη της συμβολής κάθε παραμέτρου. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της οριζόντιας στήλης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η συμβολή της παραμέτρου, που αντιστοιχεί στη στήλη αυτή, στη μεταβλητότητα του συνολικού κόστους.



**Εικόνα 8.7. Ιστόγραμμα συχνοτήτων της εκτιμώμενης μείωσης των εκπομπών**

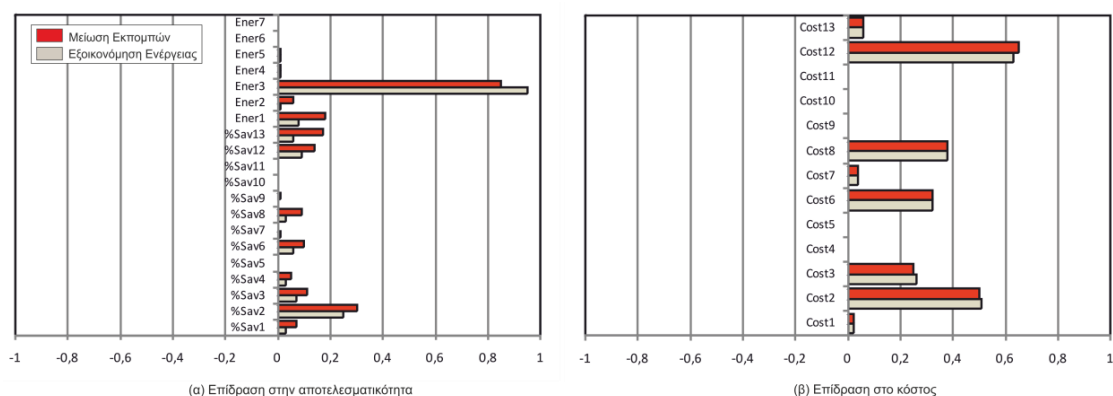


**Εικόνα 8.8. Ιστόγραμμα συχνοτήτων της εκτιμώμενης εξοικονόμησης ενέργειας**



**Εικόνα 8.9. Ιστογράμμο συχνοτήτων του συνολικού κόστους του τελικού σχεδίου δράσης**

Από την ανάλυση προκύπτει πως η παράμετρος που επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την αποτελεσματικότητα είναι το δυναμικό εξοικονόμησης για την περίπτωση της θέρμανσης χώρου. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς πρόκειται για την τελική χρήση με τη μεγαλύτερη κατανάλωση και με το μεγαλύτερο εύρος στην κατανομή. Σημαντική επίδραση έχει και το κόστος της θερμομόνωσης οροφής, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται καθώς σε ένα σημαντικό αριθμό επαναλήψεων η επέμβαση αυτή ήταν σε υψηλότερη θέση στο τελικό σχέδιο δράσης. Όσον αφορά στο συνολικό ετήσιο κόστος οι σημαντικότεροι παράμετροι στη διαμόρφωση της τελικής τιμής είναι το κόστος της θερμομόνωσης και της αγοράς νέου λέβητα. Σημειώνεται πως τα σύμβολα των μεταβλητών που εμφανίζονται στα διαγράμματα αναφέρονται στους Πίνακες 8.15 και 8.28.



**Εικόνα 8.10. Διάγραμμα Tornado για την επίδραση των αβέβαιων παραμέτρων στον υπολογισμό της εξοικονόμησης ενέργειας, της μείωσης των εκπομπών και του συνολικού κόστους.**

**8.4.2.2 Εξοικονόμηση στον Τριτογενή Τομέα**

Ο ακριβής υπολογισμός του κόστους εφαρμογής των μέτρων στον τριτογενή τομέα είναι πιο δύσκολος από ότι στον οικιακό τομέα. Για το λόγο αυτό επιλέγονται τα μέτρα εκείνα που ξεχώρισαν στην αξιολόγηση του οικιακού και προσαρμόζονται στις ανάγκες του τριτογενούς τομέα, τόσο ιδιωτικού όσο και δημόσιου. Προτείνεται λοιπόν:

- Υποχρεωτική αντικατάσταση όλων των φωτιστικών σωμάτων χαμηλής ενεργειακής απόδοσης στο δημόσιο και ευρύτερο δημόσιο τομέα και κίνητρα για την προώθηση των αποδοτικών λαμπτήρων και στον ιδιωτικό τομέα με στόχο την αντικατάστασή τους στο 10% των ιδιωτικών επιχειρήσεων.
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων με τοποθέτηση διπλού υαλοστασίου στο σύνολο των δημόσιων κτιρίων και στο 30% των κτιρίων του ιδιωτικού τομέα.
- Υποχρεωτική εγκατάσταση κεντρικών θερμικών ηλιακών συστημάτων σε κτίρια του δημοσίου τομέα με απαιτήσεις για ζεστό νερό χρήσης (νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα) και οικονομικά κίνητρα για περαιτέρω διείσδυση των ΘΗΣ στον τριτογενή ιδιωτικό τομέα σε κτίρια άνω των 1,000 m<sup>2</sup>.
- Ενεργειακή αναβάθμιση του κτιριακού κελύφους στο σύνολο του δημόσιου τομέα και δημιουργία κινήτρων για την αναβάθμιση του και στον ιδιωτικό τομέα με στόχο την τοποθέτηση μόνωσης στο 10% των ιδιωτικών επιχειρήσεων.
- Αντικατάσταση των κλιματιστικών με ανεμιστήρες οροφής στο 50% των δημόσιων υπηρεσιών και στο 10% των ιδιωτικών επιχειρήσεων.
- Περαιτέρω προώθηση και ένταξη του φυσικού αερίου με στόχο την αναβάθμιση των λεβήτων/ καυστήρων στο 50% των κτιρίων του δημοσίου τομέα και στο 10% των ιδιωτικών επιχειρήσεων.

**Πίνακας 8.30. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον τριτογενή δημόσιο τομέα**

A/A	Όνομα	Ετήσια Εκτιμώμενη Εξοικονόμηση Ενέργειας
<b>Δ1</b>	Αντικατάσταση λαμπτήρων	300 GWh
<b>Δ2</b>	Τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής	60% της ηλεκτρικής ενέργειας για δροσισμό
<b>Δ3</b>	Εγκατάσταση συστημάτων ηλιακής θέρμανσης νερού.	50 GWh
<b>Δ4</b>	Τοποθέτηση μόνωσης τοιχώματος	28-44% της θερμικής ενέργειας και 4-5% της ηλεκτρικής ενέργειας
<b>Δ5</b>	Τοποθέτηση διπλού υαλοστασίου	10-28% της θερμικής ενέργειας
<b>Δ6</b>	Αντικατάσταση λέβητα με νέο Φ.Α.	19-21% της θερμικής ενέργειας

Στους Πίνακες 8.30 και 8.31 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες επεμβάσεις στον δημόσιο και στον ιδιωτικό τομέα. αντίστοιχα, μαζί με την εκτιμώμενη εξοικονόμηση ενέργειας (ΕΕΑ (2008), ΣΕΕΣ (2008)). Για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας θεωρούμε πως η εξοικονόμηση ενέργειας περιγράφεται από τριγωνική κατανομή η οποία:

- (α) έχει ακραίες τιμές τα όρια του διαστήματος που περιγράφεται στους δύο πίνακες και κορυφή τη μέση τιμή του διαστήματος ή
- (β) έχει ως κορυφή την τιμή που αναγράφεται στους πίνακες και ακραίες τιμές το  $\pm 10\%$  της τιμής αυτής.

**Πίνακας 8.31. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον τριτογενή ιδιωτικό τομέα**

A/A	Όνομα	Ετήσια Εκτιμώμενη Εξοικονόμηση Ενέργειας
<b>I1</b>	Αντικατάσταση λαμπτήρων	60% της ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό
<b>I2</b>	Τοποθέτηση ανεμιστήρων οροφής	60% της ηλεκτρικής ενέργειας για δροσισμό
<b>I3</b>	Εγκατάσταση συστημάτων ηλιακής θέρμανσης νερού.	250 GWh
<b>I4</b>	Τοποθέτηση μόνωσης τοιχώματος	28-44% της θερμικής ενέργειας και 4-5% της ηλεκτρικής ενέργειας
<b>I5</b>	Τοποθέτηση διπλού υαλοστασίου	10-28% της θερμικής ενέργειας
<b>I6</b>	Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Φ.Α.	19-21% της θερμικής ενέργειας

#### **8.4.2.3 Εξοικονόμηση στις Μεταφορές**

Ο τομέας των μεταφορών αποτελεί, όπως προαναφέρθηκε, τον τομέα με την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Για την εφαρμογή των μέτρων εξοικονόμησης επιλέγονται αποκλειστικά οι οδικές μεταφορές γιατί αποτελούν τον πιο ενεργοβόρο κλάδο. Συγκεκριμένα, προτείνεται:

- Δημόσια επιχορήγηση και άλλα φορολογικά κίνητρα για την αντικατάσταση των Ι.Χ. οχημάτων και την προώθηση οχημάτων εναλλακτικής τεχνολογίας (φυσικό αέριο, υβριδικά) ή βελτιωμένων προδιαγραφών κινητήρα (Euro V).
- Δημόσια επιχορήγηση και άλλα φορολογικά κίνητρα για την αντικατάσταση των παλαιών μεσαίων και βαρέων οχημάτων (άνω των 3.5 tn και άνω της δεκαετίας) και προώθηση των οχημάτων εναλλακτικής τεχνολογίας (φυσικό αέριο, υβριδικά) ή βελτιωμένων προδιαγραφών κινητήρα (Euro V) με στόχο τη διείσδυση των νέων πιο αποδοτικών οχημάτων με ρυθμό 2% ετησίως.
- Προώθηση της οικονομικής, οικολογικής και ασφαλούς οδήγησης, μέτρο που θα περιλαμβάνει την εκπαίδευση επαγγελματιών οδηγών και των οδηγών Ι.Χ. μέσω σεμιναρίων, την ενσωμάτωση του eco-driving στην εκπαιδευτική

διαδικασία για την απόκτηση της άδειας οδήγησης και την πραγματοποίηση ενημερωτικής καμπάνιας για την ενημέρωση του κοινού.

Ο Πίνακας 8.32 παρουσιάζει τις προτεινόμενες επεμβάσεις στον τομέα των μεταφορών μαζί με την εκτιμώμενη εξοικονόμηση ενέργειας (Γούλας (2005), ΣΕΕΣ (2008), Μούγκρος κ.α. (2010), Ξιούρας κ.α. (2011)). Για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας θεωρούμε πως η εξοικονόμηση ενέργειας περιγράφεται από τριγωνική κατανομή η οποία έχει ως κορυφή την τιμή που αναγράφεται στους πίνακες και ακραίες τιμές το  $\pm 10\%$  της τιμής αυτής.

**Πίνακας 8.32. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον τομέα των μεταφορών**

A/A	Όνομα	Ετήσια Εκτιμώμενη Εξοικονόμηση Ενέργειας
1	Αντικατάσταση I.X. οχημάτων	1,330 GWh
2	Αντικατάσταση μεσαίων και βαρέων οχημάτων	1,740 GWh
3	Οικονομική, οικολογική και ασφαλής οδήγηση	2,000 GWh

#### **8.4.2.4 Εξοικονόμηση στη Βιομηχανία**

Στον τομέα της βιομηχανίας, λόγω της ποικιλομορφίας των ενεργειακών χρήσεων, δεν μπορεί να ακολουθηθεί τόσο εύκολα η προαναφερθείσα μοντελοποίηση καθώς θα έπρεπε να προταθούν επεμβάσεις σε επίπεδο διεργασιών. Για το λόγο αυτό επιλέγονται δύο δράσεις που μπορούν να βρουν εφαρμογή στο σύνολο των βιομηχανιών (ΣΕΕΣ, 2008):

- Για την ηλεκτρική ενέργεια προτείνεται χρήση πιο αποδοτικών συσκευών και φωτιστικών καθώς και σταδιακή αντικατάσταση των υπαρχόντων ηλεκτροκινητήρων με αποδοτικότερους, με αποτέλεσμα τη μείωση της κατανάλωσης κατά 5%.
- Για τη θερμική ενέργεια προτείνεται η προώθηση της συμπαραγωγής με χρήση φυσικού αερίου και βιομάζας (στις βιομηχανίες εκείνες που υπάρχει ως παραπροϊόν) με αποτέλεσμα μείωση της κατανάλωσης κατά 5%.

#### **8.4.2.5 Επεμβάσεις στην Προσφορά Ενέργειας**

Η επιλογή των δράσεων στο σκέλος της προσφοράς ενέργειας βασίστηκε στην επιτακτική ανάγκη διείσδυσης των ΑΠΕ τόσο στην ηλεκτροπαραγωγή όσο και στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Προτείνονται, λοιπόν, οι ακόλουθες επεμβάσεις που αποτελούν κοινό τόπο αντίστοιχων μελετών (Greenpeace (2007), ΣΕΕΣ (2008), WWF (2010), ΕΛΕΤΑΕΝ (2010)):

- Εγκατάσταση αιολικών πάρκων στο διασυνδεδεμένο σύστημα.
- Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων στο διασυνδεδεμένο σύστημα.
- Εγκατάσταση μονάδας ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμία.
- Εγκατάσταση μονάδας ηλεκτροπαραγωγής από βιομάζα.

- Εγκατάσταση μονάδας ηλεκτροπαραγωγής από βιοαέριο.

Στους Πίνακες 8.33-8.34 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής έρευνας για κάθε μία επέμβαση καθώς και οι τελικές τιμές που επιλέγονται για την εφαρμογή στην παρούσα μελέτη.

**Πίνακας 8.33. Εύρος εφαρμογής των επεμβάσεων στον τομέα της προσφοράς ενέργειας – Βιβλιογραφική έρευνα.**

	<b>ΕΛΕΤΑΕΝ (2010)</b>	<b>WWF (2010)</b>	<b>Greenpeace (2007)</b>	<b>ΣΕΕΣ (2008)</b>
<b>Ανεμογεννήτριες</b>	9,040 MW	7,300 MW	10,000 MW	6,800 MW
<b>Φωτοβολταϊκά Πάρκα</b>	900 MW	900 MW	2,600 MW	800 MW
<b>Γεωθερμικές Μονάδες</b>	25 MW	300 MW	200 MW	-
<b>Μονάδες Βιομάζας</b>	200 MW	300 MW	-	300 MW
<b>Μονάδες Βιοαερίου</b>	50 MW	-	-	-

**Πίνακας 8.34. Προτεινόμενες επεμβάσεις στον τομέα της προσφοράς ενέργειας – Χαρακτηριστικά μεγέθη της κατανομής.**

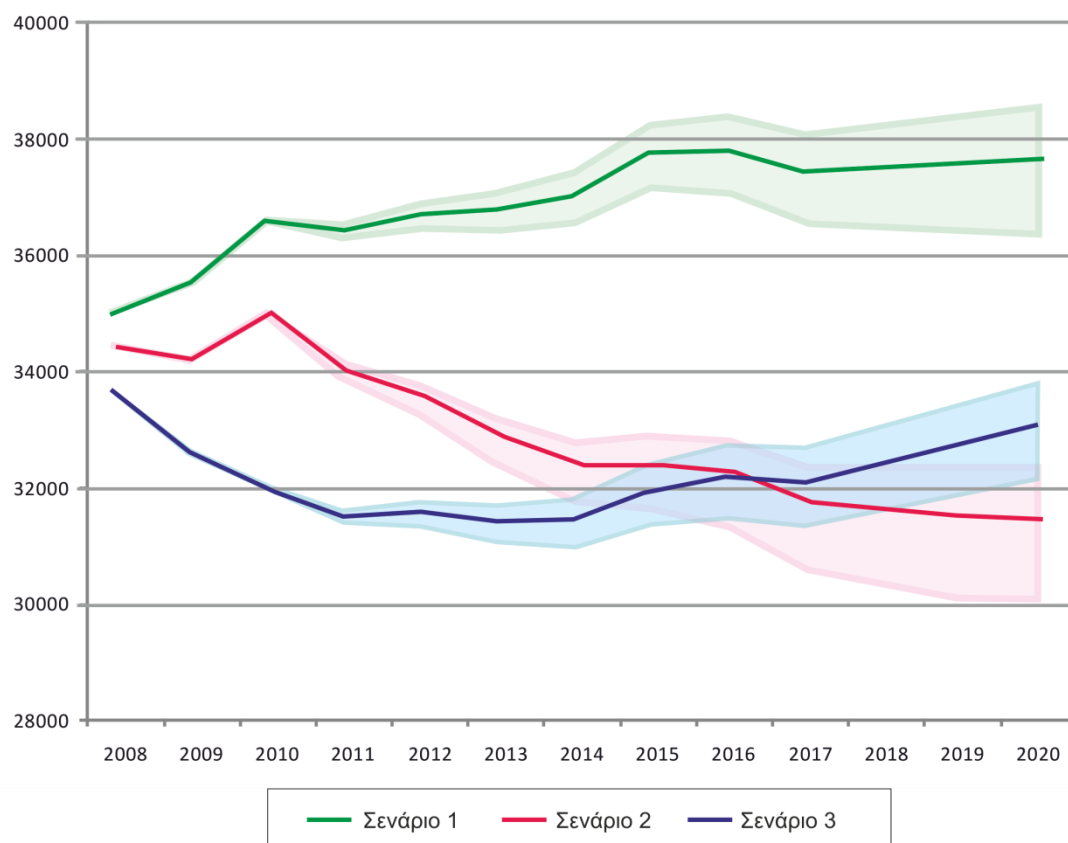
	<b>Εύρος (σε MW)</b>	<b>Κορυφή (σε MW)</b>
<b>Ανεμογεννήτριες</b>	6,500-10,000	8,000
<b>Φωτοβολταϊκά Πάρκα</b>	800-1,500	1,000
<b>Γεωθερμικές Μονάδες</b>	0-300	200
<b>Μονάδες Βιομάζας</b>	0-300	200
<b>Μονάδες Βιοαερίου</b>	0-100	50

## 8.5 Αξιολόγηση Σχεδίου Δράσης

Το τελικό σχέδιο δράσης αποτελείται από τις επεμβάσεις που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 8.4. Για την εφαρμογή των επεμβάσεων και της επίδρασης που αυτές θα έχουν στην κατανάλωση ενέργειας έγινε η υπόθεση της σταδιακής εφαρμογής τους από το 2011 έως και το 2020, με οδηγό την κατάταξη που προέκυψε από την ανάλυση αυξητικού κόστους. Τα δεδομένα της κατανάλωσης ενέργειας και οι αλλαγές στη δομή του συστήματος που προκύπτουν από τις επεμβάσεις εισάγονται στο εργαλείο επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου. Το ισοζύγιο επιλύεται για όλα τα σενάρια, από το έτος βάσης καθενός μέχρι και το 2020. Η διαδικασία επίλυσης εκτελείται επαναληπτικά με τη βοήθεια της μεθόδου Monte Carlo και πραγματοποιούνται 500 επαναλήψεις για κάθε σενάριο.

Στην Εικόνα 8.11 παρουσιάζεται η απαιτούμενη προσφορά ενέργειας για την κάλυψη της εκτιμώμενης ζήτησης μετά από την εφαρμογή του σχεδίου δράσης. Με την έντονη γραμμή αποτυπώνεται η πιο πιθανή τιμή της ενώ η περιοχή που την περιβάλλει εκφράζει το πιθανότερο διάστημα στο οποίο θα κυμαίνεται η απαιτούμενη προσφορά.





**Εικόνα 8.11. Απαιτούμενη προσφορά ενέργειας για την κάλυψη της μελλοντικής ζήτησης στα τρία σενάρια μετά την εφαρμογή του σχεδίου δράσης (σε kTOE)**

Στη συνέχεια εξετάζεται η εξέλιξη των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων και των δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης του ενεργειακού συστήματος. Οι τιμές που προκύπτουν συγκρίνονται με τις αντίστοιχες πριν την εφαρμογή των επεμβάσεων και ελέγχεται η αποτελεσματικότητά τους. Στο Παράρτημα 3 παρουσιάζεται αναλυτικά η εκτιμώμενη εξέλιξη των μεγεθών αυτών και τα στατιστικά μέτρα που περιγράφουν τη συμπεριφορά τους.

### 8.5.1 Εθνικοί Στόχοι

Στον Πίνακα 8.35 παρουσιάζεται συνοπτικά η αναμενόμενη εξέλιξη των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων και στον Πίνακα 8.36 παρουσιάζεται η πιθανότητα επίτευξης καθενός εξ αυτών για κάθε ένα από τα τρία σενάρια με την εφαρμογή του σχεδίου δράσης. Στους πίνακες δεν περιλαμβάνεται ο περιορισμός των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο με χρονικό ορίζοντα το 2012.

Οι δύο στόχοι που είναι βέβαιο πως θα επιτευχθούν και στα τρία σενάρια είναι η μείωση των συνολικών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά 14% και η μείωση των εκπομπών κατά 21% για του κλάδους που ανήκουν στο Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών. Η πιθανότητα επίτευξής τους είναι 100% και στα τρία σενάρια. Δεν μπορεί να γίνει επιμέρους ανάλυση για τον κάθε κλάδο καθώς δεν έχουν καθοριστεί σχέδιο κατανομής ρύπων για εκείνη τη χρονική περίοδο.



Παρεμφερής είναι και η εξέλιξη του στόχου για τη μείωση των εκπομπών κατά 4% για του κλάδους που δεν ανήκουν στο Συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών. Η πιθανότητα επίτευξης του είναι υψηλή και στα τρία σενάρια, με τιμές 81.4%, 82.6% και 99.4% αντίστοιχα για τα Σενάρια 1, 2 και 3.

**Πίνακας 8.35. Συνοπτική παρουσίαση της επίτευξης των εθνικών στόχων σε κάθε ένα από τα τρία σενάρια**

Στόχος	Σενάριο 1		Σενάριο 2		Σενάριο 3	
	$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$
Διείσδυση ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση (18%)	19.1%	0.5%	19.6%	0.6%	18.3%	0.6%
Διείσδυση ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή (40%)	34.5%	1.9%	42.1%	2.4%	40.2%	2.3%
Διείσδυση ΑΠΕ στις Μεταφορές (10%)	9.8%	0.1%	11.9%	0.1%	12.1%	0.1%
Μείωση Συνολικών Εκπομπών ΑΤΘ (14%)	21.9%	2.1%	41.3%	1.0%	41.6%	1.8%
Μείωση Εκπομπών ΑΤΘ εντός ΣΕΔΕ (21%)	40.6%	4.2%	81.7%	1.6	77.3%	3.6%
Μείωση Εκπομπών ΑΤΘ εκτός ΣΕΔΕ (4%)	5.1%	1.2%	5.2%	1.2%	9.5%	1.2%
Εξοικονόμηση Τελικής Κατανάλωσης Ενέργειας (9%)	-14.9%	0.6%	-1.4%	0.5%	0.9%	0.5%

Σημείωση: Για τους στόχους 4-7, το αρνητικό πρόσημο δηλώνει απόκλιση από το στόχο, δηλαδή αύξηση εκπομπών ή κατανάλωσης αντί της προσδοκώμενης μείωσης.

**Πίνακας 8.36. Πιθανότητα επίτευξης των εθνικών στόχων σε κάθε ένα από τα τρία σενάρια**

Στόχος	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Διείσδυση ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση	98.0%	100.0%	77.0%
Διείσδυση ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή	0.0%	79.0%	53.0%
Διείσδυση ΑΠΕ στις Μεταφορές	0.0%	93.2%	100.0%
Μείωση Εκπομπών CO <sub>2</sub>	100.0%	100.0%	100.0%
Μείωση Εκπομπών CO <sub>2</sub> εντός ΣΕΔΕ	100.0%	100.0%	100.0%
Μείωση Εκπομπών CO <sub>2</sub> εκτός ΣΕΔΕ	81.4%	82.6%	99.4%
Εξοικονόμηση Τελικής Κατανάλωσης Ενέργειας	0.0%	0.0%	0.0%

Για το Σενάριο 1, πέραν του περιορισμού των εκπομπών ΑΤΘ, μόνο ένας ακόμη στόχος φαίνεται εφικτός, η διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Μεταξύ των υπολοίπων δύο σεναρίων, παρατηρούνται τόσο ομοιότητες όσο και διαφορές, καθώς και στις δύο περιπτώσεις επιτυγχάνεται ο στόχος διείσδυσης των ΑΠΕ στις μεταφορές ενώ φαίνεται αδύνατη η μείωση της κατανάλωσης της τελικής ενέργειας μέχρι το 2016. Το Σενάριο 2 είναι πιο ευνοϊκό για την επίτευξη των στόχων διείσδυσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή και στην τελική κατανάλωση. Στον αντίποδα, το Σενάριο 3 ευνοεί σημαντικά τη μείωση των εκπομπών των ΑΤΘ.

Θεωρώντας ότι το Σενάριο 1 είναι το πλέον απίθανο να επαληθευτεί, καθώς υπενθυμίζεται πως διαμορφώθηκε πριν την υφιστάμενη οικονομική κρίση, μπορεί να με βεβαιότητα να διατυπωθεί πως η συνολική μείωση των εκπομπών καθώς και η διείσδυση των ΑΠΕ στις μεταφορές θα επιτευχθούν εφαρμόζοντας το προτεινόμενο σχέδιο δράσης μέχρι το 2020.

Αντίθετα, στο Σενάριο 3, το οποίο είναι το πιο πρόσφατα διαμορφωμένο και λαμβάνει υπόψη τις τελευταίες εξελίξεις, μετά τη εφαρμογή των προτεινόμενων επεμβάσεων επιτυγχάνονται οι έξι από τους επτά στόχους. Ο μόνος που δεν φαίνεται εφικτός είναι η εξοικονόμηση της τελικής κατανάλωσης και η αύξηση της πιθανότητας επίτευξης του απαιτεί λήψη περαιτέρω μέτρων, σε τομείς κυρίως που δε δόθηκε μεγάλη έμφαση στην παρούσα διατριβή, όπως είναι ο τομέας των μεταφορών και της βιομηχανίας. Δύο πιθανές λύσεις είναι:

- Επεμβάσεις μεγαλύτερης εμβέλειας στον τομέα της βιομηχανίας για περισσότερη εξοικονόμηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.
- Δράσεις στον τομέα των μεταφορών πέραν από την αντικατάσταση των οχημάτων ιδιωτικής χρήσης.

Οι επεμβάσεις αυτές θα έχουν, όπως είναι αναμενόμενο, θετική επίδραση και στους υπόλοιπους στόχους, με αύξηση της πιθανότητας επίτευξης τους. Τέλος, η αύξηση της προτεινόμενης εγκατεστημένης ισχύος των αιολικών πάρκων θα οδηγήσει στην αύξηση της πιθανότητας επίτευξης του στόχου διείσδυσης στην ηλεκτροπαραγωγή, ενώ θα έχει θετικό αντίκτυπο και στους υπόλοιπους στόχους.

Η παραπάνω ανάλυση αποτυπώνεται σχηματικά και στις Εικόνες Π.3.22-Π.3.27, οι οποίες παρουσιάζουν τα θηκογράμματα για τη σύγκριση μεταξύ των τριών σεναρίων για κάθε έναν από τους στόχους, πλην της διείσδυσης των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών όπου η αβεβαιότητα είναι πολύ μικρή και ένα τέτοιο διάγραμμα δεν προσφέρει κάποια επιπλέον πληροφορία.

### 8.5.2 Βιώσιμη Ανάπτυξη

Στον Πίνακα 8.36 συνοψίζεται η εξέλιξη των δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης του ενεργειακού συστήματος, και παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του καθενός. Οι πέντε από τους έξι δείκτες καθώς και οι δύο περιβαλλοντικοί δείκτες που εντάσσονται στους εθνικούς στόχους εμφανίζουν θετική συμπεριφορά και στα τρία

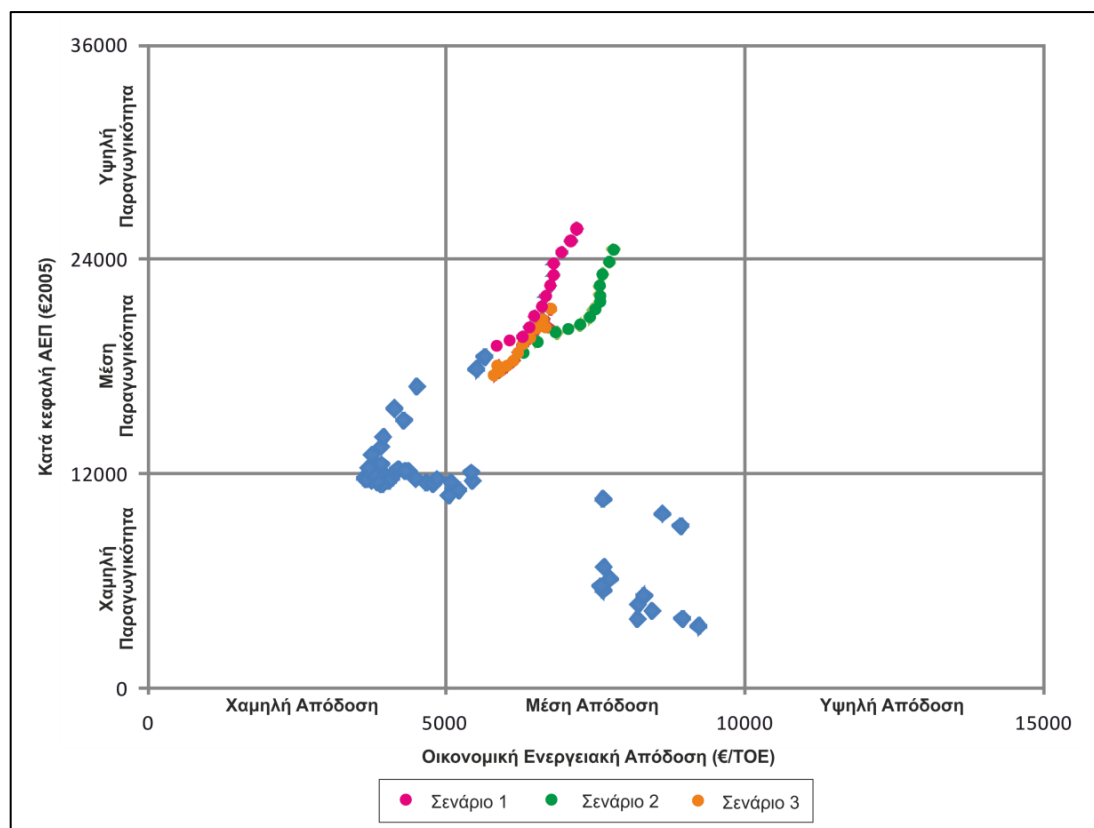
σενάρια. Είναι προφανές λοιπόν ότι τα προτεινόμενα μέτρα εκτός από την επίτευξη ορισμένων εκ των στόχων ευνοούν και τη βιώσιμη ανάπτυξη του συστήματος. Βέβαια, αυτό αιτιολογείται και σε συνδυασμό με την αναμενόμενη πτωτική πορεία του ΑΕΠ της χώρας την επόμενη δεκαετία κάτι που είναι ιδιαίτερα εμφανές για την περίπτωση της ενεργειακής έντασης και της έντασης εκπομπών.

**Πίνακας 8.37. Συνοπτική παρουσίαση της εξέλιξης των δεικτών βιωσιμότητας σε κάθε ένα από τα τρία σενάρια.**

Στόχος	2007	Σενάριο 1		Σενάριο 2		Σενάριο 3	
		$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$	$\bar{X}$	$\sigma$
<b>Παροχή Πρωτογενούς Ενέργειας (TOE/κάτοικο)</b>	3.36	3.26	0.03	2.88	0.02	2.75	0.02
<b>Χρήση Οικιακής Ενέργειας (TOE /κάτοικο)</b>	0.47	0.57	0.02	0.49	0.02	0.47	0.02
<b>Ενεργειακή Ένταση (kTOE/€)</b>	0.168	0.121	0.001	0.111	0.001	0.130	0.001
<b>Ενεργειακή Εξάρτηση</b>	63.2%	69.9%	0.5%	77.4%	0.5%	77.2%	0.5%
<b>Εκπομπές CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>/κάτοικο)</b>	9.35	7.45	0.19	5.64	0.10	5.54	0.17
<b>Ένταση Εκπομπών (tCO<sub>2</sub>/€)</b>	0.49	0.28	0.01	0.21	0.03	0.26	0.01

Η οικονομική συνιστώσα της βιώσιμης ανάπτυξης είναι η μόνη που επηρεάζεται αρνητικά κατά την εξέλιξη του συστήματος. Η ενεργειακή εξάρτηση παρουσιάζει αρνητική πορεία και από 63.2% το 2007 αγγίζει το 70% στο Σενάριο 1 και ξεπερνά το 77% στα υπόλοιπα δύο σενάρια. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην αντικατάσταση του εγχώριου λιγνίτη από εισαγόμενες μορφές ενέργειας και κυρίως φυσικό αέριο.

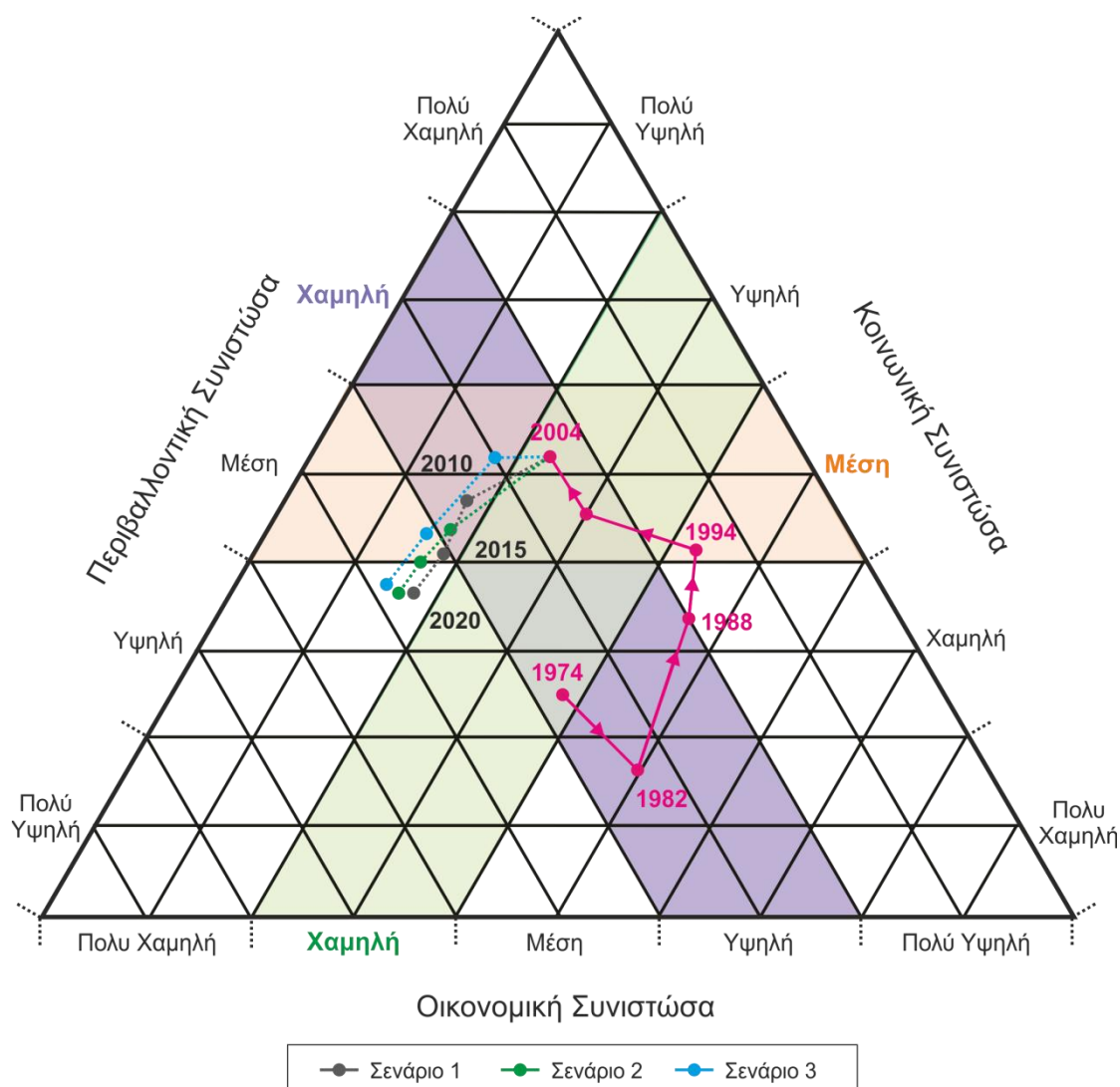
Η ενεργειακή ένταση είναι ο μόνος δείκτης στον οποίο το Σενάριο 3 εμφανίζει τη χειρότερη τιμή, παραμένοντας πάντως βελτιωμένος σε σχέση με την εξέλιξη του συστήματος «ως έχει». Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη, δεδομένης της χρονικής στιγμής στην οποία διαμορφώθηκαν τα τρία σενάρια και αποτυπώνεται στην Εικόνα 8.12. Το Σενάριο 1, το οποίο είναι και το πιο αισιόδοξο καθώς δε λαμβάνει υπόψη του την οικονομική κρίση, προβλέπει διαρκή βελτίωση της απόδοσης και της παραγωγικότητας του συστήματος, συνεχίζοντας την πορεία που είχε ξεκινήσει μετά τη διοργάνωση των Ολυμπιακών Αγώνων. Το Σενάριο 2 ακολουθεί παρόμοια εξέλιξη με μια χρονική υστέρηση τεσσάρων ετών, χρονική διάρκεια κατά την οποία η οικονομική κρίση αναμενόταν αρχικά να επηρεάσει τη χώρα. Αντίθετα, στο Σενάριο 3 τόσο η παραγωγικότητα όσο και η απόδοση διατηρούνται σε σταθερά επίπεδα, παρόμοια με αυτά του έτους βάσης.



**Εικόνα 8.12. Παραγωγικότητα και ενεργειακή απόδοση για τα τρία σενάρια εξέλιξης**

Για την ολοκλήρωση της μελέτης της επίδρασης του προτεινόμενου σχεδίου δράσης στη βιώσιμη ανάπτυξη, υπολογίζονται για τα τρία σενάρια οι σύνθετοι δείκτης που εκφράζουν τη κοινωνική και την οικονομική συνιστώσα και αποτυπώνονται σε ένα τριγωνικό διάγραμμα (Εικόνα 8.13). Οι κοινωνικοί δείκτες δεν μπορούν να υπολογιστούν από το εργαλείο που έχει αναπτυχθεί και για το λόγο αυτό η τιμή του αντίστοιχου σύνθετου δείκτη θεωρείται σταθερή και ίση με την τιμή που έχει υπολογιστεί για το 2004. Η προσέγγιση αυτή πιθανότατα ευσταθεί για την προσβασιμότητα όμως δεν είναι απόλυτα ακριβής για την οικονομική εφικτότητα και την κοινωνική ανισότητα, καθώς οι τιμές των καυσίμων αυξάνονται, το εισόδημα μειώνεται και οι κοινωνικές διαφορές οξύνονται.

Η εξέλιξη, παρόλα αυτά, των τριών δεικτών αντικατοπτρίζει την πολιτική που εφαρμόζεται και την έμφαση που δίνεται στην περιβαλλοντική συνιστώσα της βιώσιμης ανάπτυξης. Αντίθετα, η οικονομική συνιστώσα έχει φτάσει στο χαμηλότερο επίπεδο των τελευταίων πενήντα ετών (1974-2020), και η σχετική της βαρύτητα είναι πολύ χαμηλή, κάτι αρκετά φυσιολογικό με βάση την τρέχουσα οικονομική κατάσταση της χώρας.



**Εικόνα 8.13. Παρακολούθηση της βιώσιμης ανάπτυξης του ελληνικού ενεργειακού συστήματος για τα τρία σενάρια**

## 8.6 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο εξετάστηκε η μελλοντική εξέλιξη του συστήματος υπό το πρίσμα τριών διαφορετικών σεναρίων, τα οποία διαμορφώθηκαν τρία συναπτά έτη, από το 2008 έως και το 2010. Ελέγχθηκε η δυνατότητα επίτευξης των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων και προώθησης της βιώσιμης ανάπτυξης του συστήματος, τόσο με βάση τις ήδη προγραμματισμένες δράσεις όσο και εφαρμόζοντας ένα σχέδιο δράσης που διαμορφώθηκε.

Αναλυτικότερα, στην ενότητα 8.2 διατυπώθηκαν οι παραδοχές που θεωρήθηκαν για τη διαμόρφωση των τριών σεναρίων. Παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι εκτιμήσεις που γίνονται για την εξέλιξη της κατανάλωσης σε καθένα από αυτά. Επίσης, καταγράφηκαν οι ήδη δρομολογημένες πολιτικές και επεμβάσεις στον ενεργειακό τομέα και υπολογίστηκε η απαιτούμενη προσφορά πρωτογενούς ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών της χώρας για κάθε έτος μέχρι το 2020.

Στην ενότητα 8.3 ελέγχθηκε η επίτευξη των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων για τα τρία σενάρια. Παράλληλα, αξιολογήθηκε η οικονομική και η περιβαλλοντική συνιστώσα της βιώσιμης ανάπτυξης του συστήματος, υπολογίζοντας την αναμενόμενη εξέλιξη των αντίστοιχων δεικτών. Εντοπίστηκαν, έτσι, οι τομείς και οι διεργασίες στους οποίους πρέπει να δοθεί ιδιαίτερο βάρος κατά τη διαμόρφωση του τελικού σχεδίου δράσης.

Στην ενότητα 8.4 καταγράφηκαν, μοντελοποιήθηκαν και αξιολογήθηκαν οι πιθανές επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε όλους τους τομείς οικονομικής δραστηριότητας και προώθησης των ΑΠΕ στον τομέα της προσφοράς ενέργειας. Όσες χαρακτηρίζονται ως οικονομικά αποτελεσματικές και αποδοτικές επεμβάσεις εισάγονται στο προτεινόμενο σχέδιο δράσης.

Στην ενότητα 8.5 το σχέδιο αυτό αξιολογήθηκε με βάση την αναμενόμενη επίτευξη των στόχων καθώς και την εξέλιξη του συνόλου των δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης και συγκρίθηκε με την πορεία του ενεργειακού συστήματος «ως έχει». Εντοπίστηκαν τα σημεία εκείνα τα οποία εξακολουθούν να εμφανίζουν πρόβλημα και διατυπώθηκαν κάποιες επιπλέον επεμβάσεις για την επίλυση του.

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα της παρούσας διατριβής, δίνοντας έμφαση σε δύο κυρίως σημεία:

- Στα δύο αναπτυχθέντα εργαλεία και τις βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν τόσο για να διευκολύνουν το χρήστη όσο και για να ενσωματώσουν επιπλέον λειτουργίες που θα καταστήσουν το μεθοδολογικό πλαίσιο πληρέστερο.
- Στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα και τις επεμβάσεις που απαιτούνται για την επίτευξη των εθνικών ενεργειακών και περιβαλλοντικών στόχων χωρίς όμως την παρεμπόδιση της βιώσιμης ανάπτυξής του.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

---

## 9.1 Ανασκόπηση

Ο ενεργειακός σχεδιασμός, δηλαδή η διαδικασία διαμόρφωσης στρατηγικών για την ορθολογική και αειφόρο διαχείριση ενός ενεργειακού συστήματος αποτέλεσε το αντικείμενο των προηγούμενων ενοτήτων. Αναπτύχθηκε και παρουσιάστηκε ένα ολοκληρωμένο μεθοδολογικό πλαίσιο για την υλοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο. Η αβεβαιότητα, η οποία πηγάζει τόσο από την αδυναμία ακριβούς εκτίμησης της εξέλιξης των εμπλεκόμενων μεγεθών όσο και από την υποκειμενικότητα κατά τη λήψη των αποφάσεων, ήταν κυρίαρχη έννοια στην ανάλυση.

Το μεθοδολογικό πλαίσιο αυτό δομήθηκε ακολουθώντας το γενικό κανόνα όσον αφορά στα στάδια από τα οποία αποτελείται. Η καινοτομία που εισάγει είναι ο συνδυασμός ορισμένων επιμέρους τεχνικών που δεν χρησιμοποιούνται στα πλαίσια του ενεργειακού σχεδιασμού, όπως η ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και η ανάλυση αυξητικού κόστους. Επιβεβαιώθηκε με τον τρόπο αυτό η δυνατότητα εφαρμογής τους στο συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο.

Η επιστημονική ορθότητα και η λειτουργικότητα του πλαισίου εξετάστηκαν με την εφαρμογή του στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα. Ο στόχος ήταν η παρακολούθηση της βιώσιμης ανάπτυξης του κατά την τελευταία πεντηκονταετία καθώς και η διαμόρφωση ενός σχεδίου δράσης προς την επίτευξη των δεσμευτικών στόχων της εθνικής και της ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής μέχρι το 2020. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε ένα σύνολο δεικτών το οποίο εκφράζει τις αλληλεπιδράσεις του ενεργειακού συστήματος με την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον, και το οποίο προσαρμόστηκε στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ελληνικής πραγματικότητας.

Για την υποστήριξη του μεθοδολογικού πλαισίου, υλοποιήθηκαν δύο υπολογιστικά εργαλεία. Ένα εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού, που προσομοιώνει ένα ενεργειακό σύστημα και παρακολουθεί τη βιώσιμη ανάπτυξή του, και ένα εργαλείο αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων, που εκτελεί την ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και την ανάλυση αυξητικού κόστους.

Το εργαλείο του ενεργειακού σχεδιασμού αποτελεί τη σημαντικότερη καινοτόμο συνεισφορά της παρούσας διατριβής. Τα τρία στοιχεία που του προσδίδουν αυτό το χαρακτήρα είναι:

- Η εισαγωγή της έννοιας των προτεραιοτήτων κατά την προσομοίωση και επίλυση του ενεργειακού ισοζυγίου
- Η επαναληπτική εκτέλεση του αλγορίθμου επίλυσης, εφαρμόζοντας την ανάλυση Monte Carlo, με στόχο την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας κατά τη λήψη αποφάσεων

- Ο υπολογισμός απλών και σύνθετων δεικτών που εκφράζουν τις τρεις συνιστώσες της βιώσιμης ανάπτυξης ενός ενεργειακού συστήματος

Τέλος, μια ακόμα καινοτομία ήταν η επέκταση του αλγορίθμου της μεθόδου κόστους αποτελεσματικότητας ενσωματώνοντας την ανάλυση επικινδυνότητας, με τη χρήση της ανάλυσης Monte Carlo, και τροποποιώντας τη συνάρτηση υπολογισμού της συνολικής αποτελεσματικότητας ενός συνδυασμού επεμβάσεων εξοικονόμησης.

## **9.2 Το Ελληνικό Ενεργειακό Σύστημα**

### **9.2.1 Περίοδος 1960-2007**

Η διαχρονική ανάλυση του ελληνικού ενεργειακού συστήματος κατέδειξε μια ανισοβαρή ανάπτυξή του κατά την τελευταία πεντηκονταετία. Έμφαση δόθηκε κυρίως στην κοινωνική του διάσταση, με βελτίωση της πρόσβασης σε σύγχρονες μορφές ενέργειας και μείωση των ενεργειακών διακρίσεων μεταξύ των υψηλόμισθων και των χαμηλόμισθων νοικοκυριών. Παρόλα αυτά, οι τιμές της ενέργειας αυξάνονται διαρκώς με ταχύτερο ρυθμό σε σχέση με το εισόδημα, γεγονός που συνδέεται άμεσα και με την οικονομική διάσταση του συστήματος.

Επιπλέον, η ενεργειακή ένταση μειώνεται τα τελευταία χρόνια, και αντίστοιχα αυξάνεται ελαφρά η ενεργειακή απόδοση, κυρίως λόγω της αύξησης του ΑΕΠ και όχι εξαιτίας των επεμβάσεων εξοικονόμησης ενέργειας. Η διαφοροποίηση του ενεργειακού μίγματος βελτιώνεται λόγω της εισόδου του φυσικού αερίου, η οποία όμως μειώνει την ενεργειακή ασφάλεια, καθώς αυτό αντικαθιστά τον εγχώριο λιγνίτη. Οι παρατηρήσεις αυτές που αφορούν την οικονομική συνιστώσα είναι αρκετά ανησυχητικές, αν ληφθεί υπόψη και η δεινή οικονομική κατάσταση στην οποία έχει περιέλθει η χώρα τα τελευταία χρόνια είναι δε ενδεικτική των προσπαθειών που πρέπει να καταβληθούν ώστε να βελτιωθούν οι προοπτικές της οικονομικής βιωσιμότητας του συστήματος.

Σχετικά με την περιβαλλοντική διάσταση, αυτή παρουσιάζει στατική συμπεριφορά κατά τα πρώτα 30 χρόνια της περιόδου μελέτης. Κατά την τελευταία δεκαετία, όμως, παρατηρείται μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου γεγονός που οφείλεται στην «αφύπνιση» της κοινωνίας και τους μηχανισμούς του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Επίσης, αυξάνεται η διείσδυση των ΑΠΕ σε όλους τους τομείς (ηλεκτροπαραγωγή, τελική κατανάλωση ενέργειας).

### **9.2.2 Περίοδος 2010-2020**

Η αναμενόμενη εξέλιξη του συστήματος μελετήθηκε χρησιμοποιώντας τρία εναλλακτικά σενάρια τα οποία διαμορφώθηκαν στη βάση πληροφoρίας το 2008, το 2009 και το 2010. Αρχικά, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις προγραμματισμένες δράσεις στον τομέα της ενέργειας η επίτευξη των στόχων μέχρι το 2020 κρίνεται από δύσκολη έως απίθανη και για τα τρία σενάρια. Οι μόνοι στόχοι που φαίνεται πως θα επιτευχθούν είναι η διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών και η μείωση των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.



Για το λόγο αυτό συγκεντρώνονται εναλλακτικές επεμβάσεις σε όλους τους τομείς της οικονομικής δραστηριότητας του συστήματος καθώς και στον τομέα της προσφοράς ενέργειας. Οι επεμβάσεις αυτές αξιολογούνται με βάση την ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και την ανάλυση αυξητικού κόστους και καταστρώνεται ένα συνολικό σχέδιο δράσης, το οποίο συνοψίζεται στον Πίνακα 9.1.

**Πίνακας 9.1. Προτεινόμενο σχέδιο δράσης για την περίοδο 2011-2020.**

Μέτρο	Ποσοστό Εφαρμογής
<b>α. Κτιριακός Τομέας</b>	
Στεγάνωση Ανοιγμάτων	Οικιακός: 30%
Αντικατάσταση Λαμπτήρων	Οικιακός: 10% Τριτογενής Δημόσιος: 100% Τριτογενής Ιδιωτικός: 10%
Διπλά Υαλοστάσια	Οικιακός: 40% Τριτογενής Δημόσιος: 100% Τριτογενής Ιδιωτικός: 30%
Ηλιακοί Θερμοσίφωνες	Οικιακός: 10% Τριτογενής Δημόσιος: 100% (>1000 m <sup>2</sup> ) Τριτογενής Ιδιωτικός: 5%
Θερμομόνωση Εξωτερικών Τοίχων	Οικιακός: 40% Τριτογενής Δημόσιος: 100% Τριτογενής Ιδιωτικός: 10%
Ανεμιστήρες Οροφής	Οικιακός: 10% Τριτογενής Δημόσιος: 50% Τριτογενής Ιδιωτικός: 10%
Αντικατάσταση Λέβητα με νέο Φ.Α.	Οικιακός: 10% Τριτογενής Δημόσιος: 50% Τριτογενής Ιδιωτικός: 10%
Αντικατάσταση Ψυγείων	Οικιακός: 10%
Θερμομόνωση Οροφής	Οικιακός: 30%
<b>β. Τομέας Μεταφορών</b>	
Αντικατάσταση Ι.Χ. Οχημάτων	-
Αντικατάσταση Μεσαίων & Βαρέων Οχημάτων	-
Προώθηση Οικολογικής Οδήγησης	-
<b>γ. Βιομηχανικός Τομέας</b>	
Προώθηση Αποδοτικότερων Ηλεκ. Συσκευών	5% επί της συνολικής κατανάλωσης
Προώθηση Φυσικού Αερίου	5% επί της συνολικής κατανάλωσης
<b>δ. Προσφορά Ενέργειας</b>	
Εγκατάσταση Ανεμογεννητριών	8,000 MW
Εγκατάσταση Φ/Β Πάρκων	1,000 MW
Εγκατάσταση Γεωθερμικών Μονάδων	200 MW
Εγκατάσταση Μονάδων Βιόμαζας	200 MW
Εγκατάσταση Μονάδων Βιοαερίου	50 MW

Με τη σταδιακή εφαρμογή του στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα σε δεκαετή χρονικό ορίζοντα (2011-2020), η πιθανότητα επίτευξης των έξι από τους επτά στόχους αυξάνει σημαντικά. Αναλυτικότερα, η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (συνολικές καθώς και για τους τομείς εντός και εκτός ΣΕΔΕ) και η διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών έχουν πιθανότητα επίτευξης μεγαλύτερη του 75% και στα τρία σενάρια. Επιπρόσθετα, είναι αρκετά πιθανή η διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση και στην ηλεκτροπαραγωγή, με πιθανότητα επίτευξης μεγαλύτερη του 50% για τα Σενάρια 2 και 3.

Ο στόχος που δεν ευνοείται από το προτεινόμενο σχέδιο δράσης με μηδενική πιθανότητα επίτευξης, είναι η εξοικονόμηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να εξεταστούν πρόσθετες επεμβάσεις εξοικονόμησης σε τομείς οικονομικής δραστηριότητας, στους οποίους δε δόθηκε ιδιαίτερο βάρος στην παρούσα διατριβή. Ιδιαίτερα για τους τομείς των μεταφορών και της βιομηχανίας που αποτελούν δύο από τους πιο ενεργοβόρους του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, επιβάλλεται η λήψη περαιτέρω μέτρων. Πιθανές λύσεις μπορεί να αποτελέσουν:

- Επεμβάσεις μεγαλύτερης εμβέλειας στον τομέα της βιομηχανίας για αυξημένη εξοικονόμηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.
- Δράσεις στον τομέα των μεταφορών πέραν από την αντικατάσταση των οχημάτων ιδιωτικής χρήσης. Ενδεικτικά προτείνεται:
  - Η αναμόρφωση του συστήματος των Μέσων Μαζικής Μεταφοράς, με τη βελτίωση του σχεδιασμού διαδρομών, τη συνεργασία και ανταπόκριση διαφορετικών μέσων αλλά και η δημιουργία νέων υποδομών και επέκταση των υφιστάμενων.
  - Η σύνδεση της φορολογίας των οχημάτων με την ενεργειακή απόδοση και τις εκπομπές CO<sub>2</sub>.
- Προώθηση των ΑΠΕ στον οικιακό και στον αγροτικό τομέα σε επίπεδο τελικής χρήσης, πέραν των συστημάτων ηλιακής θέρμανσης νερού.

Τέλος, για τη βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας της χώρας, προτείνεται μια πιο ήπια διείσδυση του φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα της χώρας, ή περαιτέρω αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή.

### 9.2.3 Προτάσεις για Συνέχιση της Διατριβής

Η υφιστάμενη κατάσταση στην ελληνική κοινωνία και οικονομία είναι ακόμα ρευστή καθώς οι συνθήκες ακόμα διαμορφώνονται. Για την ασφαλέστερη και πληρέστερη εξέταση του προβλήματος και τη λήψη αποφάσεων απαιτείται περαιτέρω και διαρκής παρακολούθηση του συστήματος και της εξέλιξης του. Παράλληλα, μπορεί να εξεταστεί η εφαρμογή ενός νέου σχεδίου δράσης με ενσωματωμένες τις επιπλέον προτεινόμενες δράσεις.

Επίσης, θα μπορούσε να προβλεφθεί και η συμπεριφορά της μεγεθών που σχετίζονται με την κοινωνικά συνιστώσα του συστήματος, με βάση την εξέλιξη του ενεργειακού ισοζυγίου, με στόχο και την πρόβλεψη της εξέλιξης και των 3 αθροιστικών δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης αλλά και του συγκεντρωτικού δείκτη.

## 9.3 Εργαλεία Υποστήριξης Αποφάσεων

Η εφαρμογή του μεθοδολογικού πλαισίου σε ένα ολοκληρωμένο πρόβλημα ενεργειακού σχεδιασμού και μάλιστα σε εθνικό επίπεδο, βοηθάει στην αξιολόγηση της χρηστικότητας και λειτουργικότητας των δύο εργαλείων που αναπτύχθηκαν, στον εντοπισμό ενδεχόμενων αδυναμιών και στη διατύπωση, τελικά, προτάσεων για τις βελτιώσεις τις οποίες επιδέχονται ώστε να γίνουν πληρέστερα και πιο λειτουργικά.

### 9.3.1 Ενεργειακός Σχεδιασμός

Πέρα από τις σημαντικές καινοτομίες που παρουσιάζει το εργαλείο του ενεργειακού σχεδιασμού, εξακολουθούν να υφίστανται ενδεχόμενες επεκτάσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν θετικά το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Αυτές αφορούν τόσο τον αλγόριθμο επίλυσης όσο και τη βελτίωση της λειτουργικότητας του συστήματος.

Η υποστήριξη περισσότερων επιλογών για τη μοντελοποίηση της ενεργειακής ζήτησης και την επίλυση του ισοζυγίου αποτελεί μια δυνητική προσθήκη. Εκτός από την τεχνολογική προσέγγιση (ανάλυση «από τα κάτω προς τα πάνω»), θα μπορούσε να δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει μεταξύ ποικίλων μεθόδων προσομοίωσης του ενεργειακού συστήματος. Η ανάλυση «από τα πάνω προς τα κάτω» (“top down” analysis) καθώς και ένας αλγόριθμος αριστοποίησης είναι δύο από τις πιθανές επιλογές. Στην πρώτη περίπτωση μάλιστα θα είναι εφικτή η σύνδεση των μακροοικονομικών μεγεθών με τα ενεργειακά μεγέθη και παράλληλα μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση για την εξέλιξη των οικονομικών και κοινωνικών δεικτών βιώσιμης ανάπτυξης.

Επιπλέον, το υποσύνολο των δεικτών αυτών έχει προσδιορισθεί και προσαρμόσκει στις απαιτήσεις του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Θα μπορούσε να έχει την ευχέρεια ο χρήστης να ορίζει εκείνος τους δείκτες που επιθυμεί να υπολογιστούν και να παρουσιαστούν στα αποτελέσματα, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Η ενσωμάτωση της χωρικής πληροφορίας, με τη χρήση ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών, τόσο στο επίπεδο του σχεδιασμού και της επίλυσης του ενεργειακού συστήματος όσο και στην παρουσίαση αποτελεσμάτων είναι μία δυνητική προσθήκη, που θα εξυπηρετούσε την πιο ρεαλιστική απεικόνιση της διαθεσιμότητας των πρώτων υλών και του δυναμικού των ΑΠΕ (π.χ. χάρτες αιολικού και ηλιακού δυναμικού). Επίσης, έτσι θα μπορούσε να ενσωματωθεί στις παραμέτρους του μοντέλου επίλυσης η απόσταση της ζήτησης από την προσφορά ή η απόσταση του σημείου συλλογής ή παραγωγής των πρώτων υλών από το σημείο επεξεργασίας τους.

Τα ενεργειακά μεγέθη θα μπορούσαν να εισάγονται στο σύστημα με τις μονάδες μέτρησής τους οι οποίες, γενικά, είναι διαφορετικές. Στο αναπτυχθέν εργαλείο οι ροές ενέργειας καθώς και οι δυναμικότητες των εγκαταστάσεων εισάγονται στις ίδιες μονάδες, δηλαδή ο χρήστης πρέπει να μετατρέψει τα δεδομένα ώστε να υπάρχει η διαστατική ομοιομορφία.

Στη διαχείριση της επικινδυνότητας, οι μεταβλητές που εξετάζονται ως αβέβαιες αφορούν αποκλειστικά τις ιδιότητες των κόμβων και των συνδέσμων του ενεργειακού ισοζυγίου. Η δυνατότητα να ορίζει ο χρήστης τις παραμέτρους που θεωρεί ότι εισάγουν αβεβαιότητα στο πρόβλημα και ο εμπλουτισμός των στατιστικών κατανομών που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των αβέβαιων μεταβλητών θα ήταν δύο χρήσιμες επεκτάσεις. Στο προτεινόμενο εργαλείο χρησιμοποιούνται τέσσερις κατανομές (τριγωνική, κανονική, λογαριθμοκανονική και ομοιόμορφη).

Η δομή της βάσης δεδομένων που υποστηρίζει το εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού, είναι τέτοια ώστε το σύστημα διαχείρισης της βάσης δεδομένων μπορεί να επεκταθεί με στόχο την απευθείας λήψη στοιχείων από το διαδίκτυο και την άμεση ενημέρωση του ενεργειακού ισοζυγίου. Η λήψη αυτή των στοιχείων μπορεί να γίνει τόσο από το δικτυακό τόπο του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής όσο και από άλλον αντίστοιχο δικτυακό τόπο ο οποίος χρησιμοποιεί την ίδια δομή μητρώου για την παρουσίαση ενός ενεργειακού ισοζυγίου. Επιπρόσθετα, θα μπορούσε να σχεδιάζεται αυτόματα το ενεργειακό σύστημα αναφοράς της περιοχής μελέτης, με μοναδικό δεδομένο την απεικόνιση του ισοζυγίου υπό τη μορφή μητρώου. Τέλος, θα ήταν χρήσιμο να εμπλουτιστεί η βάση δεδομένων των τεχνολογιών με περαιτέρω στοιχεία που δεν αφορούν αποκλειστικά το ελληνικό ενεργειακό σύστημα.

### 9.3.2 Εργαλείο Αξιολόγησης Επεμβάσεων

Ο σημαντικότερος περιορισμός του αλγορίθμου αξιολόγησης εναλλακτικών επεμβάσεων, στηρίζεται στην παραδοχή ότι η συνολική αποτελεσματικότητα και το συνολικό κόστος ενός συνδυασμού δύο εναλλακτικών επεμβάσεων προκύπτει αθροιστικά και ότι η υλοποίηση ενός μέτρου δεν επηρεάζει το κόστος ή την αποτελεσματικότητα των επερχόμενων.

Έγινε μια σημαντική προσπάθεια γενίκευσης του αλγορίθμου, η οποία αφορούσε όμως μόνο την αθροιστική αποτελεσματικότητα στην περίπτωση επεμβάσεων εξοικονόμησης. Παραμένει, λοιπόν, ο περιορισμός του αθροιστικού κόστους δύο επεμβάσεων καθώς επίσης και η ανάγκη θεμελίωσης ενός πιο γενικευμένου τρόπου υπολογισμού της συνολικής αποτελεσματικότητας και του συνολικού κόστους. Θα μπορούσε, λοιπόν, να τροποποιηθεί το εργαλείο αξιολόγησης ώστε να επιτρέπει στο χρήστη να ορίζει τη συνάρτηση υπολογισμού των δύο αυτών αθροιστικών μεγεθών.

Τέλος, ο εμπλουτισμός των χρησιμοποιούμενων για την περιγραφή των αβέβαιων μεταβλητών στατιστικών κατανομών μπορεί να οδηγήσει στην περαιτέρω βελτίωση του προτεινόμενου εργαλείου καθώς στην παρούσα φάση χρησιμοποιούνται τέσσερις κατανομές (τριγωνική, κανονική, λογαριθμοκανονική και ομοιόμορφη).

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

Alcamo, J. (2001). *Scenarios as tools for international environmental assessments. Environmental issues report. Experts corner report. Prospects and Scenarios No.5*. Copenhagen: European Environment Agency.

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

Angelis-Dimakis, A., Arampatzis, G., & Assimacopoulos, D. (2009). Cost-effectiveness analysis for the exploitation of renewable energy sources in isolated systems under uncertainty. *9th National Conference on Soft Energy Sources*. Geroskipou, Paphos, Cyprus.

Assimacopoulos, D. (2004). Cost-Effectiveness Analysis for Water Management. The case of Paros island, Greece. *International conference on renewable energies for islands: Sustainable Energy Solutions*. Larnaca, Cyprus.

Baker, A., & Finizza, A. (1990). Corporate Point of View on Modeling. *Energy*, 15, 149-153.

Balaras, C., Gaglia, A., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., & Lalas, D. (2007). European Residential Buildings and Empirical Assessment of the Hellenic Building Stock, Energy Consumption, Emissions & Potential Energy Savings. *Building and Environment*, 42 (3), 1298-1314.

Barreto-Comez, T. (2005). *Technological Learning in Energy Optimisation Models and Deployment of Emerging Technologies*. PhD Dissertation, Swiss Federal Institute Of Technology, Zurich.

Bhattacharyya, S. (1996). Applied General Equilibrium Models for Energy Studies: A Survey. *Energy Economics*, 18 (3), 145-164.

Briggs, A. (1999). A Bayesian Approach to Stochastic Cost Effectiveness Analysis. *Health Economics*, 8, 257-261.

Carlson, B., & Palesh, G. (1993). *Bussey Lake: Demonstration Study of Incremental Analysis in Environmental Planning*. Virginia: Army Engineer Institute for Water Resources.

Chapman, R., & Rushing, A. (2008). *Users Manual for Version 4.0 of the Cost-Effectiveness Tool for Capital Asset Protection*. U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology.

Charusiri, W., Eua-arporn, B., & Ubonwat, J. (2008). Application of Long Range Energy Alternatives Planning (LEAP) Model for Thailand Energy Outlook 2030:

Reference Case. *Proceedings of Power Energy Systems*. Langkawi, Malaysia, 2-4 April.

Chedid, R., Mezher, T., & Jarrouche, C. (1999). A Fuzzy Programming Approach to Energy Resource Allocation. *International Journal of Energy Research*, 23, 303-317.

Cleto, J., Simoes, S., Fortes, P., & Seixas, J. (2008). Renewable Energy Sources Availability Under Climate Change Scenarios - Impacts on the Portuguese Energy System. *Proceedings of the 5th International Conference on European Electricity Market*. Lisbon, Portugal, May 2008.

Daniel, T., & Goldberg, H. (1981). Dynamic Equilibrium Energy Modeling: The Canadian BALANCE Model. *Operations Research*, 29 (5), 829-852.

EC. (1999). *Integration - Indicators for Energy*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Elmasri, R., & Navathe, S. (2007). *Fundamentals of Database Systems*. Addison Wesley.

Fenwick, E., O' Brien, B., & Briggs, A. (2004). Cost Effectiveness Acceptability Curves – Facts, Fallacies and Frequently Asked Questions. *Health Economics*, 13, 405-415.

Fischhoff, B. (1995). Risk Perception and Communication Unplugged: Twenty Years of Process. *Risk Analysis*, 15 (2).

Ford, A., & Geinzer, J. (1990). Adding Uncertainty to Least-Cost Planning: A Case Study of Efficiency Standards in the Northwest. *Energy Policy*, 18 (4), 331-339.

Gaglia, A., Balaras, C., Mirasgedis, S., Georgopoulou, E., Sarafidis, Y., & Lalas, D. (2007). Empirical Assessment of the Hellenic Non-Residential Building Stock, Energy Consumption, Emissions and Potential Energy Savings. *Energy Conversion and Management*, 48 (4), 1160-1175.

Gerasidi, A., Katsiardi, P., Papaefstathiou, N., Manoli, E., & Assimacopoulos, D. (2003). Cost-effectiveness for water management in the island of Paros, Greece. *8th International Conference on Environmental Science and Technology*. Lemnos, Greece.

Gholamnezhad, A. (1983). A New Model In The Energy Policy Planning. *Mathematics and Computers in Simulation XXV*, 125- 134.

Gholamnezhad, A., & Saaty, T. (1982). A Desired Energy Mix for the United States in the Year 2000: An Analytic Hierarchy Approach. *International Journal of Policy Analysis and Information Systems*, 6 (1).

- Greenpeace. (2007). *Μακροχρόνιος Ενεργειακός Σχεδιασμός: Οι προτάσεις της Greenpeace*.
- Grubb, M., Edmonds, J., ten Brink, P., & Morrison, M. (1993). The Costs of Limiting Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions: A Survey and Analysis. *Annual Review of Energy and the Environment*, 18, 397-478.
- Haimes, Y. (1995). *Risk Modeling, Assessment, and Management*. John Wiley & Sons.
- Hardi, P., & Barg, T. (1997). *Measuring Sustainable Development: Review of Current Practice*. Occasional Paper No.17, Industry Canada.
- Harrison, G., & Wallace, A. (2005). Climate Change Impacts on Renewable Energy - Is it All Hot Air? *Proceedings of World Renewable Energy Congress*. Aberdeen, 22-27 May 2005.
- Heaps, C. (2004). *Long-range Energy Alternatives Planning User Guide*. Boston, USA.
- Heston, A., Summers, R., & Aten, B. (2009). *Penn World Table Version 6.3*. Center for International Comparisons of Production, Income and Prices at the University of Pennsylvania.
- Hoffman, K., & Jorgenson, D. (1977). Economic and Technological Models for Evaluation of Energy Policy. *The Bell Journal of Economics*, 8 (2), 444-466.
- Hora, S. (1992). Acquisition of Expert Judgement: Examples from Risk Assessment. *Journal of Energy Engineering*, 136-148.
- Hubbard, D. (2007). *How to Measure Anything: Finding the Values of Intangibles in Business*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Hudson, E., & Jorgenson, D. (1974). US Energy Policy and Economic Growth 1975-2000. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 5 (2), 461-514.
- IAEA. (2005). *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. Vienna, Austria: IAEA Publishing Section.
- IEA. (1997). *Indicators of Energy Use and Efficiency - Understanding the Link Between Energy and Human Activity*. Paris, France: OECD/IEA.
- Janssen, P., Petersen, A., van der Sluijs, J., Risbey, J., & Ravetz, J. (2003). *RIVM/MNP Guidance for Uncertainty Assessment and Communication: Quickscan Hints & Actions List*. Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Jebaraj, S., & Iniyar, S. (2004). A Review of Energy Models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-31.

- Kassler, P. (1995). Scenarios for World Energy: Barricades or New Frontiers. *Long Range Planning*, 28 (6), 38-47.
- Kleinpeter, M. (1995). *Energy Planning and Policy*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Knight, F. H. (2006). *Risk, Uncertainty and Profit*. New York: Cosimo Inc.
- Lanza, A., & Bosello, F. (2004). Modeling Energy Supply and Demand: A Comparison of Approaches. *Encyclopedia of Energy*, 4, 55-64.
- Leung, P., & Hsu, G. (1984). An Integrated Energy Planning Model for Hawaii. *Energy Economics*, 117-121.
- Lindberg, L. (1977). *The Energy Syndrome: Comparing National Responses to the Energy Crisis*. Farnborough: Lexington Books and Teakfield.
- Lucas, N., & Papaconstantinou, D. (1982). Electricity Planning Under Uncertainty: Risks, Margins and the Uncertain Planner. *Energy Policy*, 10 (2).
- Lucas, N., & Papaconstantinou, D. (1983). Energy Planning Under Uncertainty: Implications for Coal Processing and Oil Stocking Policy. *Energy Policy*, 11 (3).
- Malik, S., Satsangi, P., Tripathy, S., & Balasubramanian, R. (1994). Mathematical Model for Energy Planning of Rural India. *International Journal of Energy Research*, 18, 469-482.
- Mangone, G. (1977). *Energy Policies of the World*. New York, Amsterdam: Elsevier.
- Martins, G., Figueiredo, R., Coelho, D., & de Sousa, J. (1998). Energy Planning in Urban Historical Centres: A Methodological Approach with a Case Study. *Energy Policy*, 26 (15), 1153-1165.
- Mavrotas, G., Diakoulaki, D., & Papayannakis, L. (1999). An Energy Planning Approach Based on Mixed 0-1 Multiple Objective Linear Programming. *International Transactions in Operational Research*, 6, 231-244.
- MEECC. (2009). *Emissions Projections, Policies and Measures*. Athens: Ministry of Environment Energy and Climate Change.
- Meier, P. (1986). *Energy Planning in Developing Countries: An Introduction to Analytical Methods*. Colorado: Westview Press.
- Meier, P. (1984). *Lecture Notes in Economic and Mathematical Systems*. Berlin: Springer Verlag.
- Meier, P., & Munasinghe, M. (1984). Policy Analysis and Effects of Uncertainties on the Sri Lanka Energy System. *IMACS Symposium in Energy Modeling and Simulation*. BNL.



- Messner, S., & Strubegger, M. (1995). Model-Based Decision Support in Energy Planning. Working Paper 95-119, International Institute for Applied Systems Analysis, Austria.
- Neij, L. (1997). Use of Experience Curves to Analyse the Prospects to Diffusion and Adoption of Renewable Energy Technology. *Energy Policy*, 23 (13), 1099-1107.
- OECD. (2001). *Key Enironmental Indicators*. Paris, France: Organization for Economic Co-operation and Development.
- Oppenheimer, P. (1990). The new Europe and the Middle East: Scenarios for Energy Planning. *Energy Policy*, 18 (9), 798-805.
- Orth, K. (1994). *Cost Effectiveness Analysis for Environmental Analysis for Environmental Studies: Nine Easy Steps*. Virginia: Army Engineer Institute for Water Resources, IWR Report 94-PS-2.
- Palitzianas, K., Doukas, H., Kagiannas, A., & Psarras, J. (2008). Sustainable Energy Policy Indicators: Review and Recommendations. *Renewable Energy*, 33, 966-973.
- Pandey, R. (2002). Energy Policy Modeling: Agenda for Developing Countries. *Energy Policy*, 30, 97-106.
- Parkpoom, J., & Harrison, G. (2008). Analyzing the Impact of Climate Change on Future Electricity Demand in Thailand. *IEEE Transactions on Power Systems*, 23 (3).
- Pereira Jr., A., Soares, J., de Oliveira, R., & de Queiroz, R. (2008). Energy in Brazil: Towards sustainable development. *Energy Policy*, 38, 73-83.
- Rath-Nagel, S., & Voss, A. (1981). Energy Models for Planning and Policy Assessment. *European Journal of Operational Research*, 8, 99-114.
- Refsgaard, J. C., van der Sluijs, J., Højbjerg, A. L., & Vanrolleghem, P. (2007). Uncertainty in the Environmental Modeling Process - A Framework and Guidance. *Environmental Modeling and Software*, 22, 1543-1556.
- Reisman, A., & Malone, R. (1978). *Less Developed Countries Energy System Network Simulator, LDC-ESNS: a brief description*. Upton, NY (USA): Brookhaven National Lab.
- Riaz, T. (1981). Energy Policy Formulation for Pakistan. *Energy Economics*, 191-197.
- Robinson, R., Hansen, W., Orth, K., & Franco, S. (1995). *Evaluation of Environmental Investments Procedures Manual, Cost Effectiveness and Incremental Cost Analyses*. US Army Corps of Engineers.
- Rogers, C., & Robinson, M. (2006). *IWR Planning Suite User's Guide*. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.

- Roland, H., & Moriarty, B. (1990). *Systems Safety Engineering and Management*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- RPA. (2004). *CEA and Developing a Methodology for Assessing Disproportionate Costs*. Final Report for Defra, WAG, SE and DOENI.
- Sadeghi, M., & Hosseini, H. M. (2006). Energy Supply Planning in Iran by Using Fuzzy Linear Programming Approach (Regarding Uncertainties of Investment Costs). *Energy Policy*, 34, 993-1003.
- Saltelli, A., Chan, K., & Scott, M. (2000). *Sensitivity Analysis*. John Wiley & Sons.
- Saltzman, S. A. (1977). *Energy Technology and Global Policy: A Selection of Contributing Papers to the Conference on Energy Policies and the International System*. Santa Barbara, Oxford: Clio Press.
- Sathaye, J., & Sanstad, A. (2004). Bottom-Up Energy Modeling. *Encyclopedia of Energy*, 4, 251-264.
- Schrattenholzer, L. (2005). Some Issues in Energy Policy and Planning. Στο *Encyclopedia of Life Support Systems*. Oxford, UK: EOLSS Publishers.
- Schulz, V., & Stehfest, H. (1984). Regional Energy Supply Optimization with Multiple Objectives. *European Journal of Operational Research*, 302-312.
- Sinocruz, M. (2008). The Philippines Energy Outlook. *5th Asia Energy Environment Modeling Forum*. Shanghai, China, 1-5 June.
- Stelzer, I. M. (1989). Making Energy Policy in a World of Uncertainties. *The Electricity Journal*, 2 (1), 12-19.
- Streimikiene, D., & Šivickas, G. (2008). The EU sustainable energy policy indicators framework. *Environment International*, 34, 1227-1240.
- Streimikiene, D., Ciegis, R., & Grundey, D. (2007). Energy indicators for sustainable development in Baltic States. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 877-893.
- Tomkins, R. (1987). *ENERGY TOOLBOX: An Integrated Microcomputer Program for Energy Planners*. London.: Management School, Imperial College of Science.
- UNDESA. (2001). *Indicators of Sustainable Development*. 2nd Edition, New York: United Nations.
- van Beeck, N. (1999). *Classification of energy models*. Tilburg: Faculty of Economics and Business Administration, Tilburg University.
- Van Der Heijden, K. (1996). *Scenarios: The Art of Strategic Conversation*. Chichester: John Wiley & Sons.

Van Hout, B., Al, M., Gordon, G., & Rutten, F. (1994). Costs, Effects and Cost Effective Ratios Alongside a Clinical Trial. *Health Economics*, 3, 309-319.

Vaughan, E. (1997). *Risk Management*. John Wiley & Sons.

Vera, I., & Langlois, L. (2007). Energy Indicators for Sustainable Development. *Energy*, 32 (6), 875-882.

Walker, W., Harremoes, P., Rotmans, J., Van der Sluijs, J., Van Asselt, M., Janssen, P., και συν. (2003). Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support. *Integrated Assessment*, 4 (1), 5-17.

WBGU. (2004). *World In Transition: Towards Sustainable Energy Systems*. Berlin, Germany: German Advisory Council On Global Change.

WEC. (2000). *Energy for Tomorrow's World – Acting Now!* Ανάκτηση 01 2010, από World Energy Council Web Site.

Willows, R. I., & Connell, R. K. (2003). *Climate Adaptation: Risk, Uncertainty and Decision Making*. Oxford: UKCIP.

Xiouras, C., Angelis-Dimakis, A., Arampatzis, G., & Assimacopoulos, D. (2011). Environmental and Energy Assessment of New Vehicle Technologies in the Greater Athens Area. *Submitted in the 12th International Conference on Environmental Science and Technology*.

Xu, F.-L., Zhao, S.-S., Dawson, R., Haoa, J.-Y., Zhanga, Y., & Taoa, S. (2006). A triangle model for evaluating the sustainability status and trends of economic development. *Ecological Modelling*, 195, 327-337.

Yoe, C. (1992). *Incremental Cost Analysis Primer for Environmental Resources Planning (Draft)*. Alexandria Virginia: U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.

Αλεξόπουλος, Ι. (2004). *Επαναπροσδιορισμοί στη γένεση γεωπληροφορίας μέσω της αναδόμησης πολεοδομικού συστήματος πληροφοριών στο αντικειμενοσχεσιακό χωρικό μοντέλο για την πόλη του Πύργου Ηλείας*. Αθήνα: Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Γεωπληροφορική", ΕΜΠ.

Ασκούνης, Δ. (2009). *Διοίκηση Παραγωγής και Συστημάτων Υπηρεσιών*. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ.

Αυγερινός, Α. (2006). *Μελέτη ανάπτυξης ενεργειακού ισοζυγίου και διερεύνηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής*. Αθήνα: Διπλωματική Εργασία, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ.

Γαγλία, Α. (2008). Δυναμικό Εξοικονομησης Ενέργειας-Υπολογιστικές Μεθοδοί Ενέργειακών Επιθεωρήσεων στα Κτίρια. 2η Εβδομάδα Ενέργειας IENE, 10-14 Νοεμβρίου 2008.

Γούλας, Γ. (2005). *Εξοικονόμηση Ενέργειας στις Μεταφορές*. Αθήνα: Διδακτορική Διατριβή. Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ.

ΕΑΑ. (2008). *Διαδικασία εξόρυξης και ανάλυσης στοιχείων για το κτιριακό απόθεμα και την ενεργειακή του απόδοση*. Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας Ινστιτούτο Μελετών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

Λόης, Ε. (2009). *Επισκόπηση της Αγοράς Πετρελαιοειδών στην Ελλάδα*. . Σημειώσεις Μαθήματος Τεχνολογία Πετρελαίου και Φυσικού Αερίου. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

Μάργαρης, Σ. (2009). *Εισαγωγή στην Αντίληψη του Ρίσκου με χρήση Διαγραμμάτων Επιρροής*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, ΕΜΠ.

Μούγκρος, Κ. (2010). *Μακροχρόνιος Ενεργειακός Σχεδιασμός στην Ελλάδα*. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

Ντεμίρη, Σ. (2005). *Ανάπτυξη Εργαλείου για την Εφαρμογή της Ανάλυσης Κόστους-Αποδοτικότητας υπό Συνθήκες Αβεβαιότητας*. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

ΣΕΕΣ. (2009). *Μακροχρόνιος Ενεργειακός Σχεδιασμός – Έκθεση 2009*. Αθήνα.

ΣΕΕΣ. (2008). *Μέτρα και Μέσα για μια Βιώσιμη και Ανταγωνιστική Ενεργειακή Πολιτική*. Αθήνα.

Τίγκας, Κ., Γιαννακίδης, Γ., Δαμασιώτης, Μ., Σιάκκης, Φ., Βάσσοι, Σ., & Κίλιας, Β. (2005). Ανάλυση του ελληνικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής εν όψει των στόχων του Κιότο. *Διημερίδα ΤΕΕ Αιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας*. Αθήνα.

Τσιλιγκιρίδης, Γ. (1995). *Χρονική και Χωρική Ανάλυση της Χρήσης Ενέργειας και των Συνεπαγόμενων Εκπομπών Αερίων Ρύπων κατά την Περίοδο 1960-1990 στην Ελλάδα*. Θεσσαλονίκη: Διδακτορική Διατριβή. Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, ΑΠΘ.

Υπουργείο Ανάπτυξης. (1997). *Refinery Capacity Data “ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΑ Α.Ε.”*.

Υπουργείο Ανάπτυξης. (2007). *1η Έκθεση για το Μακροχρόνιο Ενεργειακό Σχεδιασμό της Ελλάδας, 2008-2020 – Μέρος Ι*. Αθήνα.

Υπουργείο Ανάπτυξης. (2006). *3η Εθνική Έκθεση σχετικά με την Προώθηση της Χρήσης των Βιοκαυσίμων ή Άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων για Μεταφορές στην Ελλάδα την Περίοδο 2005-2010*. Αθήνα.

Υπουργείο Ανάπτυξης. (2008α). *4η Εθνική Έκθεση σχετικά με την προώθηση της χρήσης των Βιοκαυσίμων ή Άλλων Ανανεώσιμων Καυσίμων για Μεταφορές στην Ελλάδα την Περίοδο 2005-2010*. Αθήνα.

Υπουργείο Ανάπτυξης. (2008β). *Μελέτη Ανάλυσης του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος εν όψει των Νέων Εθνικών Στόχων για τον Περιορισμό των Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου από τον Ενεργειακό Τομέα, τη Διείσδυση των ΑΠΕ και την Εξοικονόμηση Ενέργειας*. Αθήνα.

### Διαδίκτυο

Eurostat. (2009). Ιστοσελίδα Eurostat Ανάκτηση Ιανουάριος 2010, (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>).

Fibrex Hellas. (2009). Ιστοσελίδα Fibrex Hellas, Ανάκτηση Μάιος 2009, (<http://www.fibrexhellas.gr/>).

Motor Oil. (2009). Ιστοσελίδα Motor Oil, Ανάκτηση Ιανουάριος 2010, (<http://www.moh.gr/resources/>).

PriceWaterhouse. (2011). Ιστοσελίδα Bloomberg, Ανάκτηση Απρίλιος 2011, (<http://www.bloomberg.com/news/2011-01-07/g-7-economy-will-be-overtaken-by-emerging-markets-in-two-decades-pwc-says.html>).

TED (2010), Long Range Energy Alternatives Planning Technology & Environmental Database, Ανάκτηση Νοέμβριος 2010, (<http://www.energycommunity.org/>)

WWF, (2010). Ιστοσελίδα World Wide Fund for Nature Ελλάδας, Ανάκτηση Ιούλιος 2010, (<http://www.wwf.gr>).

ΔΕΗ, (2009). Ιστοσελίδα Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού, Ανάκτηση Νοέμβριος 2009, (<http://www.dei.gr>).

ΔΕΠΑ, (2010). Ιστοσελίδα Δημόσιας Επιχείρησης Αερίου, Ανάκτηση Ιανουάριος 2010, (<http://www.depa.gr>).

ΕΛΕΤΑΕΝ. (2010). Ιστοσελίδα Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας, Ανάκτηση Ιούλιος 2010, (<http://www.eletaen.gr/>).

ΕΛΠΕ. (2010). Ιστοσελίδα Ελληνικών Πετρελαίων, Ανάκτηση Ιανουάριος 2010, (<http://www.hellenic-petroleum.gr/online/index.aspx>).

ΕΠΑ Αττικής (2010), Ιστοσελίδα Εταιρεία Παροχής Αερίου Αττικής, Ανάκτηση Σεπτέμβριος 2010, (<http://www.aerioattikis.gr/>)

Ελ. Στατ., (2010). Ιστοσελίδα Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, Ψηφιακή Βιβλιοθήκη, Ανάκτηση Ιανουάριος 2010, (<http://www.statistics.gr>).

ΥΠΑΝ. (2009 β). Εισαγωγική Ομιλία του Υπουργού Ανάπτυξης Κωστή Χατζηδάκη κατά την παρουσίαση του προγράμματος Ενεργειακής Αναβάθμισης Κατοικιών «Εξοικονόμηση κατ' οίκον». [http://www.ypan.gr/c\\_announce/45\\_5545\\_cms.htm](http://www.ypan.gr/c_announce/45_5545_cms.htm)

ΥΠΑΝ. (2010). Ιστοσελίδα Υπουργείου Ανάπτυξης, Ανάκτηση Ιανουάριος 2010 (<http://www.ypan.gr/>).

ΥΠΕΚΑ. (2010). Ιστοσελίδα Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ανάκτηση Οκτώβριος 2010 (<http://www.ypeka.gr/>).

### Ημερήσιος Τύπος

Βασιλείου, Μ. (2009). Στην πρίζα οι πράσινες συσκευές, Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 7 Φεβρουαρίου 2009

Γιογιάκας, Π. (2009). Ανεβάστε το σπίτι σας στην Α' Εθνική, Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 31 Ιανουαρίου 2009.

Φιντικάκης, Γ. (2009). Ευρω-τσέκ για εξοικονόμηση ενέργειας στα σπίτια, Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 14 Φεβρουαρίου 2009.

Καρανίκας, Χ. (2009). «Πράσινα» σπίτια που κάνουν οικονομία, Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 13 Ιουνίου 2009.

Τζαναβάρα, Χ. (2010). Το πανόραμα των «πράσινων» παρεμβάσεων στις οικοδομές, Εφημερίδα Ελευθεροτυπία, 4 Ιουλίου 2010.

Φιντικάκης, Γ. (2009). Πράσινοι επιθεωρητές στα σπίτια, Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 12 Ιανουαρίου 2010.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

---

Ένα **Σύστημα Διαχείρισης Βάσης Δεδομένων** (*Database Management System, DMS*) είναι ένα λογισμικό ή ένα σύνολο αλληλοσυσχετιζόμενων προγραμμάτων, τα οποία συνδυάζονται με στόχο τη δημιουργία, διαχείριση και ενημέρωση μίας βάσης δεδομένων και τον έλεγχο της πρόσβασης σε αυτή. Χρησιμοποιεί πρότυπες μεθόδους καταλογοποίησης, ανάκτησης, και εκτέλεσης ερωτημάτων σχετικών με τα δεδομένα και οργανώνει τα εισερχόμενα δεδομένα με τρόπους χρησιμοποιήσιμους από εξωτερικούς χρήστες. Το σημαντικότερο όλων είναι ότι πρέπει να φροντίζει για την ακεραιότητα των εισαγόμενων στοιχείων και την απόδοσή τους με πολλούς διαφορετικούς τύπους, ανάλογα με ιδιαίτερες ανάγκες του χρήστη.

Αντίθετα προς τα «συστήματα διαχείρισης των δεδομένων», τα οποία επεξεργάζονται και τροποποιούν τα δεδομένα σύμφωνα με τα προσδοκώμενα αποτελέσματα από έναν ιδιαίτερο αλγόριθμο, αποδίδοντας λογικό περιεχόμενο, το σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων εκτελεί τους ελάχιστους δυνατούς μαθηματικούς υπολογισμούς καθώς ο κύριος στόχος του είναι η οργάνωση, η διαχείριση και η απόδοση δεδομένων σε περίπτωση που αυτά ζητηθούν.

Η ιδεατή αρχιτεκτονική ενός συστήματος διαχείρισης βάσης δεδομένων οργανώνεται σε τρία επίπεδα, (Αλεξόπουλος, 2004):

- Εσωτερικό επίπεδο. Η φυσική αποθήκευση των δεδομένων
- Εννοιολογικό επίπεδο. Η δομή της βάσης δεδομένων
- Εξωτερικό επίπεδο. Η περιγραφή τμημάτων της βάσης σε μορφή όψεων

Οι βασικές λειτουργίες που εκτελεί ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων είναι (Elmasri & Navathe, 2007):

- Ορισμός της βάσης δεδομένων
- Χειρισμός της βάσης δεδομένων
- Έκφραση ερωτημάτων στη βάση δεδομένων
- Ενημέρωση της βάσης δεδομένων

Στην παρούσα διατριβή αναπτύχθηκε ένα σύστημα διαχείρισης των δύο βάσεων δεδομένων του ενεργειακού συστήματος της περιοχής μελέτης. Στη μία εξ αυτών αποθηκεύονται οι κόμβοι και οι σύνδεσμοι του ενεργειακού δικτύου μαζί με όλες τις ιδιότητες τους και στην άλλη όλες οι ενεργειακές μορφές και τεχνολογίες παραγωγής, και μετατροπής ενέργειας. Οι βάσεις δεδομένων χρησιμοποιούνται από το εργαλείο επίλυσης ενός ενεργειακού δικτύου και αποτελούν το κυριότερο αποθηκευτικό μέσο του συστήματος.

Στις ενότητες Π.1.1 και Π.1.2 αναλύεται η δομή των δύο βάσεων δεδομένων του συστήματος. Για κάθε μια βάση αποτυπώνεται το διάγραμμα σχέσεων και παρουσιάζεται αναλυτικά κάθε πίνακας της, καταγράφοντας όλα τα πεδία που τον αποτελούν, τον τύπο τους και μια σύντομη περιγραφή τους. Στην ενότητα Π.1.3. αναλύεται η διαδικασία δημιουργίας και ενημέρωσης της βάσης δεδομένων, η οποία στηρίζεται σε μια τυποποιημένη απεικόνιση του ενεργειακού ισοζυγίου με τη μορφή ενός μητρώου. Τέλος, στην ενότητα Π.1.4 παρουσιάζονται σε συντομία τα περιεχόμενα της βάσης δεδομένων για το ελληνικό ενεργειακό σύστημα.

### Π.1.1. Βάση Δεδομένων Δικτύου

Στη βάση δεδομένων του ενεργειακού δικτύου αποθηκεύονται όλες οι πληροφορίες που εισάγει ο χρήστης και σχετίζονται με τα ενεργειακά χαρακτηριστικά των κόμβων και των συνδέσμων. Επίσης, αποθηκεύονται τα αποτελέσματα της επίλυσης του ενεργειακού ισοζυγίου για όλα τα έτη της χρονικής περιόδου μελέτης στις αντίστοιχες χρονοσειρές. Στην Εικόνα Π.1.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα σχέσεων της βάσης δεδομένων του ενεργειακού δικτύου.

#### Πίνακας Κόμβων Δικτύου (Nodes)

Περιέχει τις γενικές πληροφορίες για όλους κόμβους του ενεργειακού δικτύου (όνομα και κατηγορία). Το σύμβολο # δηλώνει ότι το πεδίο είναι το πρωτεύον κλειδί.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# NodeID	Integer	Κωδικός του κόμβου
Name	String	Όνομα του κόμβου
SectorID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας του κόμβου

#### Πίνακας Κατηγοριών των Κόμβων του Δικτύου (Sectors)

Περιέχει τις πληροφορίες για όλες τις κατηγορίες των κόμβων του ενεργειακού δικτύου (κωδικός, περιγραφή) καθώς και την ιεραρχική δομή μεταξύ των κατηγοριών.

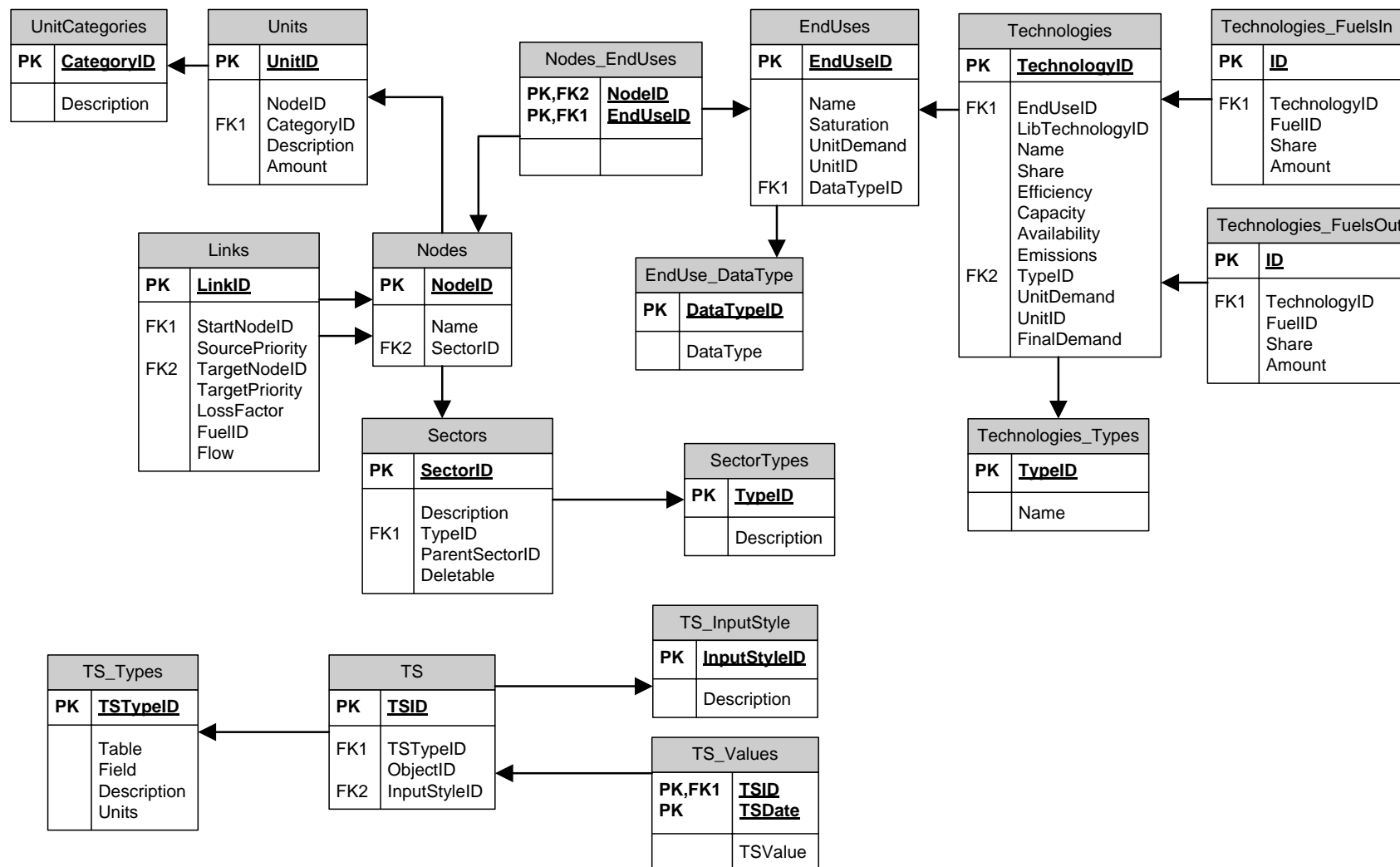
Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# SectorID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας
Description	String	Περιγραφή της κατηγορίας
TypeID	Integer	Ταξινόμηση της κατηγορίας
ParentSectorID	Integer	Κωδικός της ανώτερης σε ιεραρχική δομή κατηγορίας.
Deletable	Boolean	Έλεγχος για το αν μπορεί να διαγραφεί η κατηγορία.

#### Πίνακας Ταξινόμησης των Κατηγοριών (SectorTypes)

Περιλαμβάνει την ταξινόμηση των κατηγοριών των κόμβων ανάλογα με το αν πρόκειται για διεργασία παραγωγής, μετατροπής ή κατανάλωσης ενέργειας ή πρόκειται για εισαγωγικό/εξαγωγικό κόμβο.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# TypeID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας
Description	String	Περιγραφή της κατηγορίας





Εικόνα Π.1.1. Διάγραμμα Σχέσεων της Βάσης Δεδομένων των Αντικειμένων του Δικτύου

**Πίνακας Συνδέσμων Δικτύου (Links)**

Περιέχει όλα τα δεδομένα που σχετίζονται με τους συνδέσμους του ενεργειακού δικτύου. Κάθε σύνδεσμος χαρακτηρίζεται μοναδικά από ένα κόμβο έναρξης, ένα κόμβο τερματισμού και το καύσιμο που μεταφέρεται. Επιπλέον χαρακτηριστικά είναι η προτεραιότητα παροχής και ζήτησης, το ποσοστό απωλειών και η συνολική ροή μέσω του συνδέσμου.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# LinkID	Integer	Κωδικός του συνδέσμου
StartNodeID	Integer	Κωδικός του κόμβου εκκίνησης
SourcePriority	Integer	Προτεραιότητα παροχής
EndNodeID	Integer	Κωδικός του κόμβου τερματισμού
TargetPriority	Integer	Προτεραιότητα ζήτησης
LossFactor	Double	Ποσοστό Απωλειών
FuelID	Integer	Κωδικός του καυσίμου
Flow	Double	Συνολική ροή μέσω του συνδέσμου

**Πίνακας Τελικών Χρήσεων (EndUses)**

Περιλαμβάνει τις γενικές πληροφορίες για τις τελικές χρήσεις του δικτύου (κωδικός, όνομα) αλλά και τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά (ποσοστό κάλυψης, μορφή των δεδομένων εισόδου, μοναδιαία ζήτηση ενέργειας και μονάδα μέτρησης).

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# EndUseID	Integer	Κωδικός της τελικής χρήσης
Name	String	Όνομα της τελικής χρήσης
Saturation	Double	Ποσοστό κάλυψης της τελικής χρήσης στον αντίστοιχο κόμβο
DataTypeID	Integer	Μορφή των δεδομένων ζήτησης
UnitDemand	Double	Μοναδιαία ζήτηση ενέργειας
UnitID	Integer	Μονάδα μέτρησης της ζήτησης ενέργειας

**Πίνακας Μορφής Δεδομένων Ζήτησης Τελικών Χρήσεων (EndUse\_DataType)**

Περιλαμβάνει την ταξινόμηση των δεδομένων ζήτησης μιας τελικής χρήσης ανάλογα με το αν είναι δεδομένα ωφέλιμης ενέργειας ή τελικής ενέργειας.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# DataType ID	Integer	Κωδικός της μορφής των δεδομένων ζήτησης
DataType	String	Περιγραφή της μορφής

**Πίνακας Τελικών Χρήσεων Κόμβου (Nodes\_EndUses)**

Περιλαμβάνει την αντιστοίχιση μεταξύ των τελικών χρήσεων και των αντίστοιχων κόμβων του δικτύου. Αποτελείται από μοναδικούς συνδυασμούς του κωδικού του κόμβου και του αντίστοιχου της τελικής χρήσης.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# NodeID	Integer	Κωδικός του κόμβου
# EndUseID	Integer	Κωδικός της τελικής χρήσης

**Πίνακας Τεχνολογιών Κόμβου (Technologies)**

Περιλαμβάνει τις γενικές πληροφορίες για τις τεχνολογίες του δικτύου (κωδικός, όνομα, κατηγορία) αλλά και τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά, τόσο δεδομένα (μερίδιο, απόδοση, δυναμικότητα, διαθεσιμότητα, μοναδιαία ζήτηση ενέργειας) όσο και αποτελέσματα (τελική ζήτηση ενέργειας, εκπομπές).

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# TechnologyID	Integer	Κωδικός της τεχνολογίας
EndUseID	Integer	Κωδικός της τελικής χρήσης
LibTechnologyID	Integer	Κωδικός της τεχνολογίας στη βιβλιοθήκη τεχνολογιών
Name	String	Όνομα της τεχνολογίας
Share	Double	Μερίδιο της τεχνολογίας
Efficiency	Double	Απόδοση της τεχνολογίας
Capacity	Double	Δυναμικότητα της τεχνολογίας
Availability	Double	Διαθεσιμότητα της τεχνολογίας
Emissions	Double	Εκπομπές CO <sub>2</sub> της τεχνολογίας
Type	String	Κατηγορία της τεχνολογίας
UnitDemand	Double	Μοναδιαία κατανάλωση ενέργειας
UnitID	String	Μονάδα μέτρησης κατανάλωσης ενέργειας
FinalDemand	Double	Συνολική κατανάλωση ενέργειας

**Πίνακας Ταξινόμησης των Τεχνολογιών (Technologies\_Types)**

Περιλαμβάνει την ταξινόμηση των κατηγοριών των τεχνολογιών ανάλογα με το αν πρόκειται για διεργασία πρωτογενούς ή δευτερογενούς μετατροπής ενέργειας ή τελικής κατανάλωσης.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# TypeID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας
Name	String	Περιγραφή της κατηγορίας

**Πίνακας Εισερχόμενων Καυσίμων Τεχνολογίας (Technologies\_FuelsIn)**

Περιλαμβάνει την αντιστοίχιση μεταξύ των τεχνολογιών και των αντίστοιχων καυσίμων που αποτελούν το μίγμα εισόδου της τεχνολογίας. Αποτελείται από μοναδικούς συνδυασμούς του κωδικού του τεχνολογίας και του αντίστοιχου του καυσίμου. Περιέχει ακόμα πληροφορίες για το μερίδιο του κάθε καυσίμου και για το τελικό ποσό που εισέρχεται.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
ID	Integer	Κωδικός της συνδυασμού τεχνολογίας-καυσίμου
# TechnologyID	Integer	Κωδικός της τεχνολογίας
# FuelID	Integer	Κωδικός του καυσίμου
Share	Double	Μερίδιο του καυσίμου
Amount	Double	Ποσότητα του καυσίμου

**Πίνακας Εξερχομένων Καυσίμων Τεχνολογίας (Technologies\_FuelsOut)**

Περιλαμβάνει την αντιστοίχιση μεταξύ των τεχνολογιών και των αντίστοιχων καυσίμων που αποτελούν το μίγμα εξόδου της τεχνολογίας. Αποτελείται από μοναδικούς συνδυασμούς του κωδικού του τεχνολογίας και του αντίστοιχου του

καυσίμου. Περιέχει ακόμα πληροφορίες για το μερίδιο του κάθε καυσίμου και για το τελικό ποσό που εξέρχεται.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
ID	Integer	Κωδικός της συνδυασμού τεχνολογίας-καυσίμου
# TechnologyID	Integer	Κωδικός της τεχνολογίας
# FuelID	Integer	Κωδικός του καυσίμου
Share	Double	Μερίδιο του καυσίμου
Amount	Double	Ποσότητα του καυσίμου

#### Πίνακας Εισερχόμενων Καυσίμων Κόμβου (Nodes\_FuelsIn)

Πρόκειται για ένα βοηθητικό πίνακα που στην ουσία περιέχει τις ενεργειακές απαιτήσεις κάθε κόμβου και στον οποίο αποθηκεύεται το συνολικό ποσό κάθε καυσίμου που εισέρχεται σε ένα κόμβο. Αποτελείται από μοναδικούς συνδυασμούς του κωδικού του τεχνολογίας και του αντίστοιχου κωδικού του καυσίμου.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# NodeID	Integer	Κωδικός του κόμβου
# FuelID	Integer	Κωδικός του καυσίμου
Amount	Double	Ποσότητα του καυσίμου

#### Πίνακας Περιοχής (Region)

Περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά μεγέθη που αφορούν την περιοχή μελέτης. Εκτός από τον πληθυσμό και το ΑΕΠ που υπάρχουν, ο χρήστης μπορεί να προσθέσει και άλλα μεγέθη κατά βούληση.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
Population	Double	Πληθυσμός της περιοχής
GDPtotal	Double	ΑΕΠ της περιοχής
GDPa	Double	ΑΕΠ πρωτογενούς τομέα της περιοχής
GDPb	Double	ΑΕΠ δευτερογενούς τομέα της περιοχής
GDPc	Double	ΑΕΠ τριτογενούς τομέα της περιοχής

#### Πίνακας Μοναδιαίων Καταναλωτών Δικτύου (Units)

Περιέχει όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες για τους μοναδιαίους καταναλωτές ενέργειας (κωδικός, περιγραφή, κατηγορία, κωδικός κόμβου στον οποίο αντιστοιχεί) καθώς και το πλήθος τους.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# UnitID	Integer	Κωδικός του μοναδιαίου καταναλωτή
NodeID	Integer	Όνομα του κόμβου
CategoryID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας του μοναδιαίου καταναλωτή
Description	String	Περιγραφή του μοναδιαίου καταναλωτή
Amount	Double	Ποσότητα του μοναδιαίου καταναλωτή

#### Πίνακας Κατηγοριών Μοναδιαίων Καταναλωτών (UnitCategories)

Περιλαμβάνει την ταξινόμηση των κατηγοριών των μοναδιαίων καταναλωτών ενέργειας.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# CategoryID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας
Description	String	Περιγραφή της κατηγορίας

### Πίνακας Κατηγοριών Χρονοσειρών (TS\_Types)

Οι τέσσερις τελευταίοι πίνακες της βάσης δεδομένων του δικτύου περιέχουν όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για τη δημιουργία και την αποθήκευση των χρονοσειρών. Ο πρώτος εξ αυτών περιλαμβάνει όλες τις κατηγορίες των χρονοσειρών. Μέσω αυτού στην ουσία καθορίζεται ποια από τα αριθμητικά μεγέθη των παραπάνω πινάκων θα αποθηκευτούν με τη μορφή χρονοσειράς για την περίοδο μελέτης.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# TSTypeID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας της χρονοσειράς
Table	String	Όνομα του πίνακα
Field	String	Όνομα του πεδίου του πίνακα
Description	String	Περιγραφή της χρονοσειράς
Units	String	Μονάδες μέτρησης του μεγέθους

### Πίνακας Τύπου Χρονοσειρών (TS\_InputStyle)

Περιλαμβάνει τους εναλλακτικούς τρόπους με τους οποίους ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μια χρονοσειρά (εισάγοντας τιμές για όλες τις χρονικές στιγμές, το ρυθμό γραμμικής αύξησης για όλη τη χρονική περίοδο, την τιμή για το τελευταίο έτος της περιόδου ή τιμές για ορισμένες χρονικές στιγμές της περιόδου μελέτης).

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
InputStyleID	Integer	Κωδικός του τύπου των χρονοσειρών
Description	Double	Περιγραφή του τύπου των χρονοσειρών

### Πίνακας Χρονοσειρών (TS)

Αποθηκεύει όλες τις χρονοσειρές για το ενεργειακό δίκτυο που μελετάται μαζί με τον τύπο της.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# TSID	Integer	Κωδικός της χρονοσειράς
TSTypeID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας της χρονοσειράς
ObjectID	Integer	Κωδικός του αντικειμένου
InputStyleID	String	Τύπος της χρονοσειράς

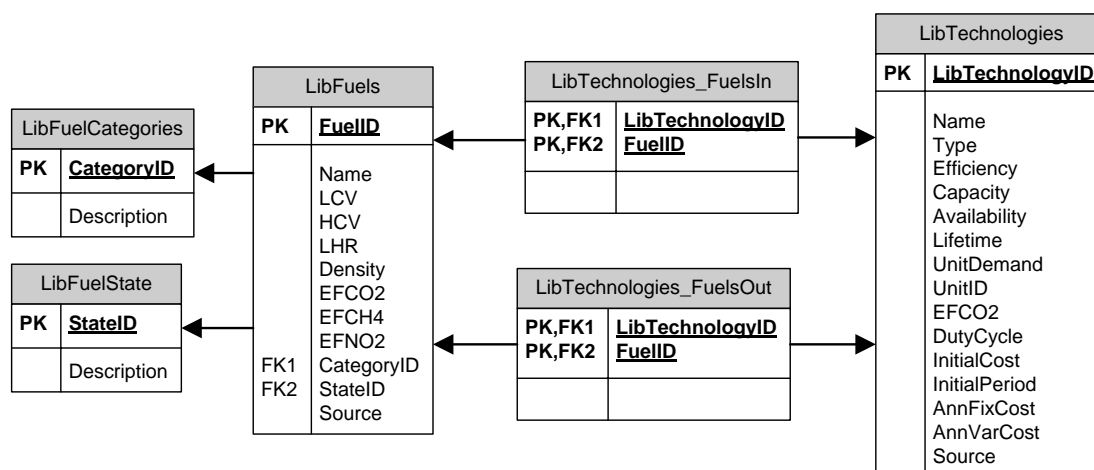
### Πίνακας Τιμών Χρονοσειρών (TS\_Values)

Περιέχει όλες τις απαιτούμενες τιμές για όλες τις χρονοσειρές του ενεργειακού δικτύου.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# TSID	Integer	Κωδικός της χρονοσειράς
# TSDate	Double	
TSValue	Double	Τιμή της χρονοσειράς

## Π.1.2. Βάση Δεδομένων Καυσίμων και Τεχνολογιών

Στη βάση δεδομένων περιλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των τεχνολογιών και των καυσίμων που περιλαμβάνονται στην βιβλιοθήκη του εργαλείου. Η βιβλιοθήκη αυτή αποτελεί τη βάση για κάθε ενεργειακό ισοζύγιο. Για κάθε νέα ανάλυση δημιουργείται ένα καινούριο αντίγραφο της. Στην Εικόνα Π.1.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα σχέσεων της βάσης δεδομένων καυσίμων και τεχνολογιών.



Εικόνα Π.1.2. Διάγραμμα Σχέσεων της Βάσης Δεδομένων της Βιβλιοθήκης

### Πίνακας Βιβλιοθήκης Τεχνολογιών (LibTechnologies)

Περιλαμβάνει τις γενικές πληροφορίες για τις διαθέσιμες τεχνολογίες (κωδικός, όνομα, κατηγορία), τα ενεργειακά τους χαρακτηριστικά (απόδοση, δυναμικότητα, διαθεσιμότητα, μοναδιαία ζήτηση ενέργειας) όσο και δεδομένα κόστους αγοράς και εγκατάστασης τους.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# LibTechnologyID	Integer	Κωδικός της τεχνολογίας
Name	String	Όνομα της τεχνολογίας
Type	Integer	Κατηγορία της τεχνολογίας
Efficiency	Double	Απόδοση της τεχνολογίας
Capacity	Double	Δυναμικότητα της τεχνολογίας
Availability	Double	Διαθεσιμότητα της τεχνολογίας
Lifetime	Double	Εκπομπές CO <sub>2</sub> της τεχνολογίας
UnitDemand	Double	Μοναδιαία κατανάλωση ενέργειας
UnitID	Integer	Μονάδα μέτρησης κατανάλωσης ενέργειας
EFCO2	Double	Συντελεστής εκπομπής CO <sub>2</sub> της τεχνολογίας
DutyCycle	Double	Παράγοντας φορτίου της τεχνολογίας
InitialCost	Double	Κόστος αγοράς και εγκατάστασης
InitialPeriod	Double	Χρονική διάρκεια εγκατάστασης
AnnFixCost	Double	Σταθερό ετήσιο κόστος λειτουργίας
AnnVarCost	Double	Μεταβλητό ετήσιο κόστος λειτουργίας
Source	String	Πηγή των δεδομένων

**Πίνακας Εισερχόμενων Καυσίμων Τεχνολογίας (LibTechnologies\_FuelsIn)**

Περιλαμβάνει την αντιστοίχιση τεχνολογιών και καυσίμων στο μίγμα εισόδου της τεχνολογίας. Αποτελείται από μοναδικούς συνδυασμούς του κωδικού του τεχνολογίας και του αντίστοιχου του καυσίμου.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# LibTechnologyID	Integer	Κωδικός της τεχνολογίας
# FuelID	Integer	Κωδικός του καυσίμου

**Πίνακας Εξερχομένων Καυσίμων Τεχνολογίας (LibTechnologies\_FuelsOut)**

Περιλαμβάνει την αντιστοίχιση τεχνολογιών και καυσίμων στο μίγμα εξόδου της τεχνολογίας. Αποτελείται από μοναδικούς συνδυασμούς του κωδικού του τεχνολογίας και του αντίστοιχου του καυσίμου.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# LibTechnologyID	Integer	Κωδικός της τεχνολογίας
# FuelID	Integer	Κωδικός του καυσίμου

**Πίνακας Καυσίμων (LibFuels)**

Περιλαμβάνει τις γενικές πληροφορίες για τα διαθέσιμα καυσίμα (κωδικός, όνομα, κατηγορία, φυσική κατάσταση), τα φυσικά τους χαρακτηριστικά (ανώτερη και κατώτερη θερμογόνος δύναμη, πυκνότητα) και τα περιβαλλοντικά τους χαρακτηριστικά (συντελεστές εκπομπής CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και NO<sub>2</sub>).

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# FuelID	Integer	Κωδικός του καυσίμου
Name	String	Όνομα του καυσίμου
LCV	Integer	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου
HCV	Double	Ανώτερη θερμογόνος δύναμη του καυσίμου
LHR	Double	Λόγος θερμογόνων δυνάμεων
Density	Double	Πυκνότητα του καυσίμου
EFCO2	Double	Συντελεστής εκπομπής CO <sub>2</sub> του καυσίμου
EFCH4	Double	Συντελεστής εκπομπής CH <sub>4</sub> του καυσίμου
EFNO2	Double	Συντελεστής εκπομπής NO <sub>2</sub> του καυσίμου
CategoryID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας του καυσίμου
StateID	Integer	Κωδικός της κατάστασης του καυσίμου
Source	String	Πηγή των δεδομένων

**Πίνακας Κατηγοριών Καυσίμου (LibFuelCategories)**

Περιλαμβάνει την ταξινόμηση των κατηγοριών των καυσίμων σε πετρελαιοειδές προϊόν, ανθρακικό προϊόν, κάποια μορφή βιόμαζας ή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# CategoryID	Integer	Κωδικός της κατηγορίας του καυσίμου
# Description	Integer	Περιγραφή της κατηγορίας του καυσίμου



**Πίνακας Φυσικής Κατάστασης Καυσίμου (LibFuelState)**

Περιλαμβάνει την ταξινόμηση των καυσίμων ανάλογα με τη φυσική τους κατάσταση (υγρή, στερεή, αέρια).

Πεδίο	Τύπος	Περιγραφή
# StateID	Integer	Κωδικός της κατάστασης του καυσίμου
# Description	Integer	Περιγραφή της κατάστασης του καυσίμου

**Π.1.3. Διαδικασία Εισαγωγής Δεδομένων**

Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας ανάγνωσης των δεδομένων εισόδου του ελληνικού ενεργειακού ισοζυγίου για μια εκτενή περίοδο μελέτης δημιουργείται μια ξεχωριστή ρουτίνα ανάγνωσής του από ένα βιβλίο εργασίας του Microsoft Excel. Κάθε φύλλο εργασίας του αρχείου που δημιουργείται πρέπει να έχει ως όνομα το έτος στο οποίο αντιστοιχεί το ισοζύγιο το οποίο περιλαμβάνει. Το περιεχόμενο κάθε φύλλου εργασίας πρέπει να έχει μια συγκεκριμένη δομή. Η δομή αυτή είναι παρόμοια σε διεθνές επίπεδο, κάτι που επιδιώκεται άλλωστε, ώστε να πραγματοποιούνται ευκολότερα οι συγκρίσεις ανάμεσα στα διάφορα κράτη. Έτσι, τα περισσότερα ισοζύγια τείνουν να ακολουθήσουν το μοντέλο είτε της Eurostat είτε του έτερου σημαντικού οργανισμού, του IEA.

Στην παρούσα διατριβή ακολουθείται η δομή του εθνικού ενεργειακού ισοζυγίου που δημοσιεύεται από το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) και το οποίο βασίζεται στο μοντέλο της Eurostat. Πρόκειται για ένα διδάστατο πίνακα, ο οποίος στις γραμμές του περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες παραγωγής, μετατροπής και κατανάλωσης ενέργειας με την ιεραρχική δομή, την ομαδοποίηση και τα ονόματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα Π.2.1.

Ο πίνακας χωρίζεται οριζοντίως σε πέντε επιμέρους περιοχές. Στην πρώτη καταγράφεται η παροχή ενέργειας και υπολογίζεται η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση. Αναλυτικότερα, αποτελείται τα εξής πεδία (Αυγερινός, 2006):

- Πρωτογενής παραγωγή: Αποτελεί την εγχώρια ενεργειακή παραγωγή μιας χώρας και περιλαμβάνει όλες τις ακατέργαστες μορφές ενέργειας, όπως τα στερεά καύσιμα, το αργό πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, τις ΑΠΕ και την πυρηνική ενέργεια. Αξίζει να σημειωθεί, ότι η καταμέτρηση των ποσοτήτων γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην παραγωγή και έχοντας πρώτα αφαιρέσει προσμίξεις και ακαθαρσίες.
- Ανακυκλώσιμα προϊόντα: Αντιπροσωπεύουν μια μικρή κατηγορία καυσίμων, η οποία εκφράζει τα τελικά προϊόντα που επαναχρησιμοποιούνται ενώ έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί από τους τελικούς καταναλωτές, όπως τα χρησιμοποιημένα λιπαντικά.
- Εισαγωγές: Εδώ καταγράφονται όλες οι εισαγόμενες ποσότητες ενέργειας από μια ξένη χώρα, ανεξαρτήτως της ύπαρξης ή μη, δασμών. Σημειωτέον ότι στην



εξελισσόμενη ελεύθερη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, παρατηρούνται προβλήματα στον προσδιορισμό της εντοπιότητας της ενέργειας.

- **Μεταβολή αποθεμάτων:** Εκφράζει τη διαφορά των αποθεμάτων καυσίμων ανάμεσα στην πρώτη και την τελευταία μέρα του έτους. Υπολογίζονται τόσο τα κρατικά αποθέματα όσο και των παραγωγών/μεγάλων καταναλωτών. Όταν αποσύρονται ποσότητες από τα αποθέματα για να καταναλωθούν σε εθνικό επίπεδο, η μεταβολή των αποθεμάτων έχει θετικό πρόσημο. Στην αντίθετη περίπτωση το πρόσημο είναι αρνητικό.
- **Εξαγωγές:** Αποτελούν το σύνολο της ενέργειας που εγκαταλείπει μια χώρα και προϋποθέτει, σε ένα βαθμό, την ενεργειακή αυτάρκεια μιας χώρας.
- **Αποθήκες καυσίμων πλοίων:** Περιλαμβάνονται οι ποσότητες καυσίμων που καταναλώνονται από πλοία που εκτελούν διεθνή δρομολόγια, ανεξαρτήτως σημαίας. Αποκλείονται από αυτή την κατηγορία τα πλοία που καλύπτουν εσωτερικές μετακινήσεις και οι αλιευτικές λέμβοι, ενώ συμπεριλαμβάνονται τα πολεμικά πλοία.

Στις επόμενες δύο καταγράφονται τα ενεργειακά μεγέθη που αφορούν τον τομέα μετατροπής ενέργειας, δηλαδή οι ποσότητες που καταναλώνονται και παράγονται από κάθε διεργασία. Η τέταρτη περιοχή περιλαμβάνει τις ανταλλαγές, τις μεταβιβάσεις και τις ανταποδόσεις ενέργειας, την κατανάλωση του ενεργειακού τομέα και τις απώλειες διανομής-μεταφοράς και καταλήγει στη διαθεσιμότητα για τελική κατανάλωση. Αποτελείται από τα ακόλουθα πεδία (Αυγερινός, 2006):

- **Ανταλλασσόμενα προϊόντα:** Αφορά κυρίως στις ΑΠΕ οι οποίες καταγράφονται με αρνητικό πρόσημο ενώ η παραγόμενη από αυτές ηλεκτρική ενέργεια με θετικό.
- **Μεταβιβαζόμενα προϊόντα:** Τελικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται ως τροφοδοσία για την περαιτέρω επεξεργασία άλλων προϊόντων στα διυλιστήρια και την αναβάθμιση των ποιοτικών τους χαρακτηριστικών. Τα προϊόντα αυτά, όπως η νάφθα, δεν προορίζονται για τους τομείς της τελικής κατανάλωσης.
- **Ανταποδόσεις πετροχημικής βιομηχανίας:** Εδώ καταγράφεται πιθανή ανταπόδοση ενέργειας από την πετροχημική βιομηχανία.
- **Κατανάλωση ενεργειακού τομέα:** Καταχωρείται η πρωτογενής και δευτερογενής ενέργεια που καταναλώνεται από τα εργοστάσια μετατροπής, συμπεριλαμβανομένων των διεργασιών εξόρυξης των πρωτογενών πηγών.
- **Απώλειες διανομής-μεταφοράς:** Περιέχει τις απώλειες που προκύπτουν κατά τη μεταφορά και διανομή του φυσικού αερίου και της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τη μεταφορά άνθρακα.

Στην τελευταία περιοχή παρουσιάζεται η τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τομέα οικονομικής δραστηριότητας. Στο τέλος του ενεργειακού ισοζυγίου, καταγράφεται η

στατιστική διαφορά που προκύπτει σε κάθε ενεργειακό προϊόν. Αυτή η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι οι πληροφορίες που περιέχονται στο ενεργειακό ισοζύγιο, συλλέγονται από πολλές πηγές. Έτσι, η ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση που προκύπτει από τα στοιχεία του πρωτογενούς/δευτερογενούς τομέα και αυτά που υπολογίζονται βάσει των στοιχείων του τριτογενούς, διαφοροποιούνται κατά την ποσότητα της στατιστικής διαφοράς. Σε κάθε περίπτωση, η ακρίβεια των δεδομένων είναι σχετική και εξαρτάται από την πηγή τους (Αυγερινός, 2006).

Στις στήλες του πίνακα τοποθετούνται τα καύσιμα που συμμετέχουν στο μίγμα εισόδου και εξόδου των διεργασιών αυτών. Για την ονομασία κάθε στήλης πρέπει να χρησιμοποιηθούν τα ονόματα που χρησιμοποιούνται στην Εικόνα 6.1 και στον Πίνακα 6.2 και αποτελούν τα ονόματα που χρησιμοποιεί το ΥΠΕΚΑ.

Ένας περιορισμός που υπάρχει στην διαδικασία ανάγνωσης και οφείλεται στο εργαλείο επίλυσης του ενεργειακού δικτύου είναι ότι όλες οι τιμές πρέπει να βρίσκονται στις ίδιες μονάδες. Επίσης, επειδή από το εργαλείο δεν υποστηρίζεται η αυτόματη δημιουργία του δικτύου με μόνο δεδομένο τον πίνακα του ενεργειακού ισοζυγίου, ο χρήστης πρέπει να έχει ήδη σχεδιάσει το Ενεργειακό Σύστημα Αναφοράς στο γραφικό περιβάλλον του εργαλείου επίλυσης και τα ονόματα των κόμβων να συμπίπτουν με τα ονόματα των αντίστοιχων στηλών στο Φύλλο Εργασίας του Excel.

#### Πίνακας Π.1.1. Δομή Πίνακα Ανάγνωσης Δεδομένων

Διεργασία	Καύσιμο 1	Καύσιμο 2	...
Πρωτογενής Παραγωγή			...
Ανακυκλώσιμα Προϊόντα			...
Εισαγωγές			...
Εξαγωγές			...
Αποθήκη Καυσίμων Πλοίων			...
Μεταβολή Αποθεμάτων			...
<b>Ακαθάριστη Εγχώρια Κατανάλωση</b>			...
<b>Προς Μετατροπή</b>			...
Δημόσιοι Θερμικοί Σταθμοί			...
Θερμικοί Σταθμοί Αυτοπαραγωγών			...
Πυρηνικοί Θερμικοί Σταθμοί			...
Σταθμοί Συσσωμάτωσης Μπρικετών			...
Οπτανθρακοκάμιννοι			...
Υψικάμιννοι			...
Εγκαταστάσεις Αερίου Πόλης			...
Διυλιστήρια			
Θερμικοί Σταθμοί Τηλεθέρμανσης			...
<b>Από Μετατροπή</b>			...
Δημόσιοι Θερμικοί Σταθμοί			...
Θερμικοί Σταθμοί Αυτοπαραγωγών			...
Πυρηνικοί Θερμικοί Σταθμοί			...

Σταθμοί Συσσωμάτωσης Μπρικετών			...
Οπτανθρακοκάμιννοι			...
Υψικάμιννοι			...
Εγκαταστάσεις Αερίου Πόλης			...
Διυλιστήρια			...
Θερμικοί Σταθμοί Τηλεθέρμανσης			...
<b>Ανταλλαγές και μεταβιβάσεις, ανταποδόσεις</b>			
Ανταλλασσόμενα προϊόντα			
Μεταβιβαζόμενα προϊόντα			
Ανταποδόσεις πετροχημικής βιομηχανίας			
<b>Κατανάλωση Ενεργειακού Τομέα</b>			
<b>Απώλειες διανομής</b>			
<b>Διαθέσιμη προς Τελική Κατανάλωση</b>			...
Τελική Μη Ενεργειακή Κατανάλωση			
...Μη ενεργειακή χρήση σε χημική & πετροχημική βιομηχανία			
...Άλλοι Τομείς			
<b>Βιομηχανία</b>			...
...Σιδήρου και Χάλυβα			...
...Χημική και Πετροχημική			...
...Μη Σιδηρούχα Μεταλλουργική			...
...Μη Μεταλλικών Ορυκτών			...
...Εξοπλισμού Μεταφορών			...
...Μηχανημάτων			...
...Εξόρυξη			...
...Τροφίμων, Ποτών και Καπνού			...
...Χάρτου και Εκτυπώσεων			...
...Ξύλου και Προϊόντων Ξύλου			...
...Κατασκευών			...
...Υφαντουργία, Ενδυμάτων και Δέρματος			...
...Άλλες βιομηχανίες			...
<b>Μεταφορές</b>			...
...Αερομεταφορές			...
...Οδικές			...
...Σιδηροδρομικές			...
...Εγχώρια Ακτοπλοΐα			...
<b>Τριτογενής Τομέας</b>			...
...Αγροτικός Τομέας			...
...Δημ. Διοίκηση και Εμπορικός Τομέας			...
...Οικιακός Τομέας			...
<b>Στατιστική Διαφορά</b>			...

## Π.1.4. Περιεχόμενα της Βάσης Δεδομένων Καυσίμων και Τεχνολογιών

Η βάση δεδομένων καυσίμων και τεχνολογιών περιέχει δεδομένα που αφορούν το ελληνικό ενεργειακό σύστημα και τιμές αναφοράς για τις ενεργειακές μορφές που προτείνονται από διάφορους ενεργειακούς φορείς.

Αναλυτικότερα, περιλαμβάνονται όλες οι διεργασίες παραγωγής και μετατροπής της ενέργειας που εμφανίστηκαν στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα τα τελευταία 50 χρόνια, καθώς και τα καύσιμα που συμμετείχαν στο ενεργειακό μίγμα εισόδου και εξόδου κάθε μίας εξ αυτών, όπως αυτά παρουσιάζονται στους Πίνακες 6.2 και 6.3. Επίσης, περιλαμβάνονται οι τιμές αναφοράς που αποτυπώνονται στους Πίνακες Π.1.2-Π.1.4 και προέρχονται από τους σημαντικότερους διεθνείς οργανισμούς που σχετίζονται με ενεργειακά στοιχεία, όπως η Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία (Eurostat), το Διεθνές Ενεργειακό Γραφείο (IEA), η Ευρωπαϊκή Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών (UNECE), η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) και το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ. Ο χρήστης μπορεί να προσθέσει επιπλέον καύσιμα και τεχνολογίες κατά βούληση αλλά δεν μπορεί να διαγράψει τις υπάρχουσες εγγραφές.

**Πίνακας Π.1.2. Κατώτερη θερμογόνοος δύναμη καυσίμων (TJ/kt) (Αυγερινός, 2006)**

Ενεργειακή Μορφή	Eurostat	IEA	UNECE	IPCC
<b>Προϊόντα Άνθρακα</b>				
Λιθάνθρακας	17.2-30.7	17.2-30.7	29.31	27.21
Οπτάνθρακας	28.50	28.50	26.38	29.30
Λιγνίτης	5.6-10.5	5.6-10.5	11.28	5.74
Μπρικότες Λιγνίτη	20.00	20.00	29.31	15.28
<b>Πετρέλαιο και Προϊόντα Πετρελαίου</b>				
Αργό Πετρέλαιο	41.6-42.8	41.6-42.8	42.62	42.75
Υλικό Αφετηρίας	42.50	42.50	43.94	42.5-44.8
Αέριο Διυλιστηρίου	50.00	48.15	17.59 <sup>1</sup>	48.15
Υγραέριο	46.00	47.31	45.55	47.31
Βενζίνη	44.00	44.80	43.97	44.80
Καύσιμα Αεριοθούμενων	43.00	44.59	43.21	-
Νάφθα	44.00	45.01	44.13	45.01
Πετρέλαιο Εσωτερικής Καύσης	42.30	43.33	42.50	43.33
Υπόλειμμα Διύλισης (Μαζούτ)	40.00	40.19	41.51	42.75
Πετρελαϊκό Κωκ	31.40	30.98	36.40	31.00
Άλλα Πετρελαϊκά Προϊόντα	30.00	40.19	42.50	-
<b>Λοιπά Καύσιμα</b>				
Φυσικό Αέριο	-	-	39.20 <sup>1</sup>	-
Αέριο Πόλεως	-	-	17.59 <sup>1</sup>	-
Βιοαιθανόλη/Βιοντήζελ	37.00	-	-	-

<sup>1</sup> Οι τιμές είναι σε MJ/m<sup>3</sup>

Πίνακας Π.1.3. Συντελεστής εκπομπής καυσίμων (tCO<sub>2</sub>/TJ) (TED, 2010)

Ενεργειακή Μορφή	IPPC Tier 1	IPPC Tier 2	EDRC <sup>1</sup>
<b>Προϊόντα Άνθρακα</b>			
Λιθάνθρακας	92.64	92.64	87.00 <sup>2</sup>
Οπτάνθρακας	-	105.93	-
Λιγνίτης	-	99.11	-
Ανθρακίτης	-	96.24	-
<b>Πετρέλαιο και Προϊόντα Πετρελαίου</b>			
Υγραέριο	-	62.71	-
Βενζίνη	-	68.60	70.76
Κηροζίνη	-	-	69.94
Κάυσιμα Αεριοθούμενων	-	70.73	-
Πετρέλαιο Εσωτερικής Καύσης	72.55	73.27	76.85
Υπόλειμμα Διύλισης (Μαζούτ)	-	76.54	-
<b>Λοιπά Καύσιμα</b>			
Φυσικό Αέριο	55.78	55.78	61.99
Βιομάζα	109.56	103.54	106.45
Αστικά Απόβλητα		82.44	

<sup>1</sup> Energy and Development Research Centre, University of Cape Town<sup>2</sup> Αναφέρεται ως **άνθρακας απροσδιόριστης μορφής** (*unspecified coal*)Πίνακας Π.1.4. Πυκνότητα καυσίμων (kg/m<sup>3</sup>) (Αυγερινός, 2006)

Ενεργειακή Μορφή	Κόσμος	Ευρώπη	Ελλάδα
<b>Προϊόντα Άνθρακα</b>			
Λιθάνθρακας	1.554		
Οπτάνθρακας	1.201		
Λιγνίτης	1.250		
<b>Πετρέλαιο και Προϊόντα Πετρελαίου</b>			
Αργό Πετρέλαιο	850.5	852.5	867.0
Υλικό Αφετηρίας	811.5	788.6	902.0
Αέριο Διυλιστηρίου	697.5	768.7	750.0
Υγραέριο	562.5	564.4	552.0
Βενζίνη	744.9	745.4	745.0
Κηροζίνη	803.6	804.3	-
Κάυσιμα Αεριοθούμενων	797.0	797.7	797.0
Νάφθα	718.0	715.0	711.0
Πετρέλαιο Εσωτερικής Καύσης	839.7	838.9	827.0
Υπόλειμμα Διύλισης (Μαζούτ)	947.1	947.1	986.0
Πετρελαϊκό Κωκ	965.4	959.6	-
Άλλα Πετρελαϊκά Προϊόντα	830.0	831.5	-
<b>Λοιπά Καύσιμα</b>			
Φυσικό Αέριο	0.72-0.78	-	-
Βιοαιθανόλη	793.5	794.7	-
Βιοντήζελ	842.8	882.0	-



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

---

Οι συνήθεις μέθοδοι εκτίμησης επικινδυνότητας είναι οι εξής:

- Διαβούλευση Ειδικών
- Πίνακας Αβεβαιότητας
- Διαγράμματα Επιρροής
- Δέντρο Αποφάσεων
- Ανάλυση Ευαισθησίας
- Ανάλυση Σεναρίων
- Μέθοδος Monte Carlo

Οι δύο τελευταίες είναι εκείνες που επιλέχθηκαν στο παρόν μεθοδολογικό πλαίσιο και παρουσιάστηκαν στην ενότητα 2.2.3.2. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των υπόλοιπων πέντε μεθόδων.

### Π.2.1. Διαβούλευση Ειδικών

Πρόκειται για μια δομημένη διαδικασία με στόχο την εξαγωγή υποκειμενικών κρίσεων από ειδικούς και γνώστες του προβλήματος. Χρησιμοποιείται ευρέως για την ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας στην περίπτωση που δεν υπάρχουν ή είναι περιορισμένα τα εμπειρικά δεδομένα. Συνήθως η άποψη που διαμορφώνεται μεταφράζεται σε μια υποκειμενική «συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας» που αντανακλά τη γνώμη των ειδικών (Hora, 1992).

Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να συμπεριληφθεί η διαθέσιμη γνώση που δεν είναι δυνατόν να εκφραστεί μαθηματικά με άλλο τρόπο. Οι περιορισμοί στην εφαρμογή συνδέονται άμεσα με την υποκειμενικότητα των αποτελεσμάτων που σχετίζεται με την επιλογή των ειδικών. Τέλος, σε περίπτωση διχογνωμίας μεταξύ τους, υπάρχει δυσκολία στην ασφαλή ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας.

### Π.2.2. Πίνακας Αβεβαιότητας

Ο Πίνακας Αβεβαιότητας (*Uncertainty Matrix*) χρησιμοποιείται για την αναγνώριση και την κατάταξη σε σειρά σημαντικότητας των πηγών αβεβαιότητας ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Για μια δεδομένη περίπτωση, στις γραμμές του πίνακα τοποθετούνται οι πηγές της αβεβαιότητας ενώ στις στήλες οι κατηγορίες της και σε κάθε κελί ο χαρακτηρισμός, ποιοτικός ή ποσοτικός, της αντίστοιχης αναφοράς (Janssen et al, 2003)

Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια βάση για συζήτηση μεταξύ των εμπλεκομένων και ενδιαφερομένων φορέων ενώ ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να παραλειφθεί μια

πηγή αβεβαιότητας. Το κύριο μειονέκτημά του είναι ότι στηρίζεται κατά βάση σε υποκειμενικά κριτήρια.

### Π.2.3. Διαγράμματα Επιρροής

Το Διάγραμμα Επιρροής (*Influence Diagram*) είναι ένας πιθανοτικός γράφος, το οποίο προσφέρει μια γραφική αναπαράσταση ενός προβλήματος λήψης αποφάσεων που περιλαμβάνει μια αλληλουχία παρατηρήσεων και αποφάσεων. Αποτελείται από κόμβους που συνδέονται μεταξύ τους με προσανατολισμένους συνδέσμους, τα οποία δεν δημιουργούν κλειστούς βρόγχους. Οι κόμβοι είναι τριών ειδών και αναπαριστούν τυχαίες μεταβλητές, αποφάσεις ή συναρτήσεις χρησιμότητας. Τα βέλη προς τυχαίες μεταβλητές εκφράζουν πιθανολογική εξάρτηση, ενώ τα βέλη προς κόμβους απόφασης εκφράζουν την πληροφορία που είναι διαθέσιμη την ώρα που λαμβάνεται η απόφαση.

Ένα τέτοιο διάγραμμα είναι συμπαγές, δίνει έμφαση στις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών και παράλληλα εκφράζει μια πλήρη πιθανολογική περιγραφή του προβλήματος (Μάργαρης, 2009). Έτσι, μπορούν να εντοπιστούν ευκολότερα οι παράγοντες εκείνοι που εισάγουν την αβεβαιότητα, ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζουν το πρόβλημα, και ο τρόπος που διαφορετικές δράσεις, υποθέσεις ή αποφάσεις μπορούν να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα.

### Π.2.4. Δέντρο Αποφάσεων

Το Δέντρο Αποφάσεων (*Decision Tree*) είναι μια διαγραμματική απεικόνιση μιας διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Εκφράζει το σύνολο των εναλλακτικών αποφάσεων, των αντικειμενικών καταστάσεων, των πιθανοτήτων που σχετίζονται με τις αντικειμενικές καταστάσεις και των υποθετικών αποτελεσμάτων. Γραφικά αποτελείται από:

- Κόμβους, οι οποίοι αντιστοιχούν σε σημεία αποφάσεων και αναπαρίστανται με ορθογώνια. Οι σύνδεσμοι που ξεκινούν από ένα κόμβο αντιπροσωπεύουν τις εναλλακτικές πορείες που θα πρέπει να εξεταστούν.
- Την πιθανότητα κάθε αντικειμενικής κατάστασης, η οποία απεικονίζεται πάνω από κάθε σύνδεσμο. Το άθροισμα όλων των πιθανοτήτων θα πρέπει να είναι ίσο με 1.
- Το αποτέλεσμα της απόφασης, δηλαδή η έκβαση κάθε πιθανού συνδυασμού εναλλακτικών αποφάσεων το οποίο παρουσιάζεται στο τέλος κάθε συνδυασμού.

Πρόκειται, λοιπόν, για μια γραφική απεικόνιση του προβλήματος χωρίς όμως να δίνει τόσο μεγάλη σημασία στις σχέσεις και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των γεγονότων. Ένα από τα πλεονεκτήματά του είναι η ικανότητά του να αναπαριστά και να αναλύει πολλαπλά στάδια της διαδικασίας λήψης αποφάσεων (Ασκούνης, 2009).



## Π.2.5. Ανάλυση Ευαισθησίας

Η Ανάλυση Ευαισθησίας (*Sensitivity Analysis*) μελετά τον τρόπο με τον οποίο η μεταβολή του αποτελέσματος ενός μοντέλου μπορεί να αποδοθεί στις διάφορες μεταβλητές εισόδου (Saltelli, Chan, & Scott, 2000). Ανάλογα με την πολυπλοκότητα του μοντέλου (γραμμικό ή μη), οι μέθοδοι για την πραγματοποίηση ανάλυσης ευαισθησίας ποικίλλουν από πολύ απλές έως πολύ πιο σύνθετες.

Τα πλεονεκτήματά της είναι ότι προσφέρει πληροφορίες για την επίδραση οποιασδήποτε μεταβολής των παραμέτρων εισόδου και βοηθά στο διαχωρισμό μεταξύ τους ανάλογα με την επίδραση που έχουν στον τελικό αποτέλεσμα. Η τάση να παράγει υπερβολική ποσότητα δεδομένων και η έλλειψη πληροφόρησης για το πόσο πιθανό είναι να συμβεί η οποιαδήποτε μεταβολή είναι τα τρία σημαντικότερα μειονεκτήματά της.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ – ΑΝΑΛΥΣΗ MONTE CARLO

---

Στο τρίτο παράρτημα παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα αποτελέσματα της ανάλυσης Monte Carlo για τη μελλοντική εξέλιξη του ελληνικού ενεργειακού συστήματος, όπως αυτή εκφράζεται μέσα από τις μεταβλητές του μοντέλου που περιγράφουν αφενός μεν τους εθνικούς στόχους αφετέρου δε τους 6 δείκτες βιώσιμης ανάπτυξης

Στις Εικόνες Π.3.1-Π.3.21 και Π.3.28-Π.3.45 αποτυπώνεται γραφικά η συμπεριφορά των μεταβλητών του μοντέλου, οι οποίες. Το γραφικό τμήμα της κάθε εικόνας περιλαμβάνει:

- ένα ιστόγραμμα συχνοτήτων μαζί με την καμπύλη της προσαρμοσμένης σε αυτό κανονικής κατανομής,
- ένα θηκόγραμμα (διάγραμμα πλαισίου απολήξεων), στο οποίο απεικονίζονται η διάμεσος, το 1<sup>ο</sup> και το 3<sup>ο</sup> τεταρτημόριο καθώς και η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της κάθε μεταβλητής και
- μία σχηματική αποτύπωση των 95% διαστημάτων εμπιστοσύνης για τη μέση τιμή και τη διάμεσο.

Συμπληρωματικά, εμπεριέχεται και ένας πολύ περιεκτικός σε πληροφορίες πίνακας, ο οποίος περιλαμβάνει:

- τιμές για τον έλεγχο της καλής ή μη προσαρμογής της κανονικής κατανομής στα δεδομένα,
- τα περιγραφικά μέτρα της μεταβλητής και
- τα άκρα των 95% διαστημάτων εμπιστοσύνης για τη μέση τιμή, τη διάμεσο και την τυπική απόκλιση.

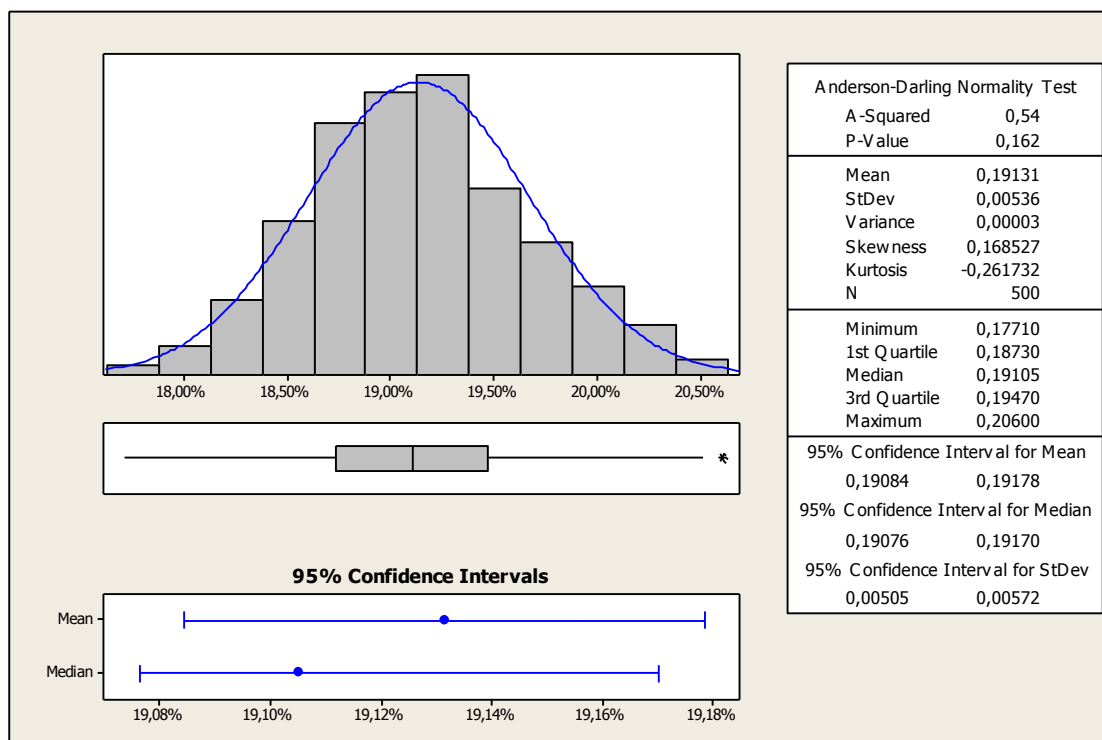
Τέλος, οι Εικόνες Π.3.22-Π.3.27 παρουσιάζουν θηκογράμματα για τη σύγκριση μεταξύ των τριών σεναρίων για κάθε έναν από τους στόχους του συστήματος.

### Π.3.1. Εθνικοί Στόχοι

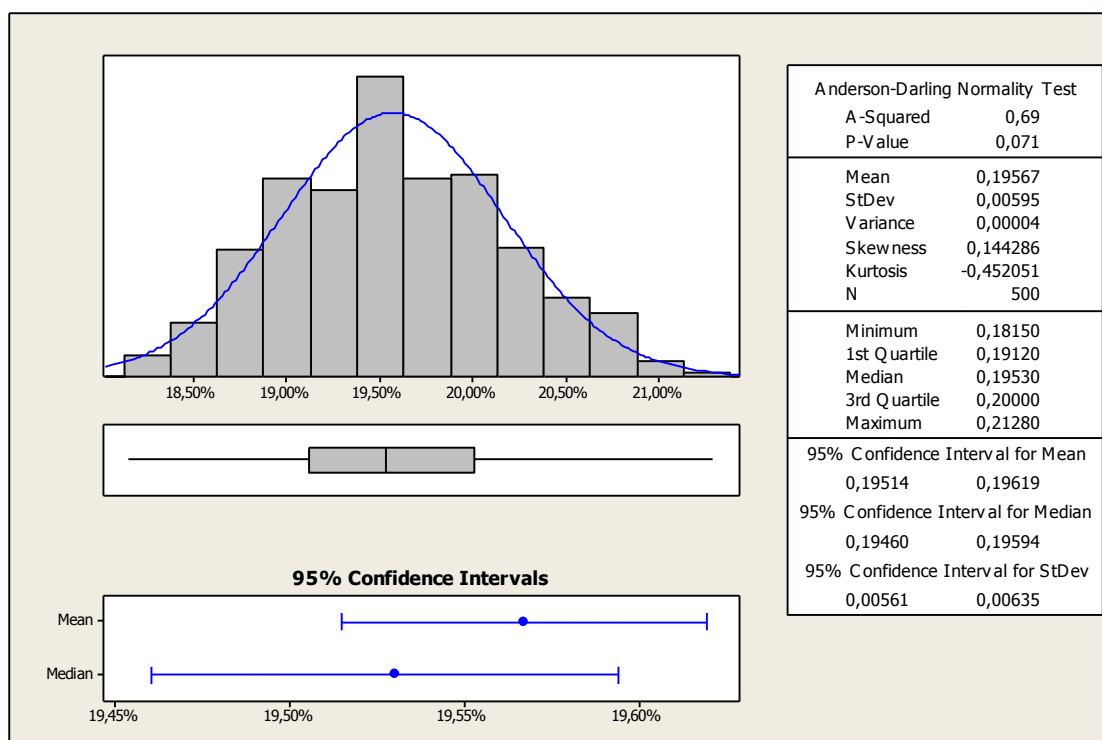
#### Π.3.1.1. Διείσδυση ΑΠΕ στην Τελική Κατανάλωση

Η εφαρμογή του προτεινόμενου σχεδίου δράσης έχει, όπως είναι αναμενόμενο, θετική επίδραση στην εξέλιξη του στόχου της διείσδυσης των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας. Από 13.5%, 13.6% και 12.5% για τα Σενάρια 1, 2 και 3, η διείσδυση μετά την εφαρμογή των μέτρων φτάνει στο  $19.1\% \pm 0.5\%$ ,  $19.3\% \pm 0.6\%$  και  $18.3\% \pm 0.6\%$  αντίστοιχα. Σε όλες δηλαδή τις περιπτώσεις η μέση τιμή των επαναλήψεων της μεθόδου Monte Carlo ξεπερνά το στόχο του 18% ενώ και το 95%

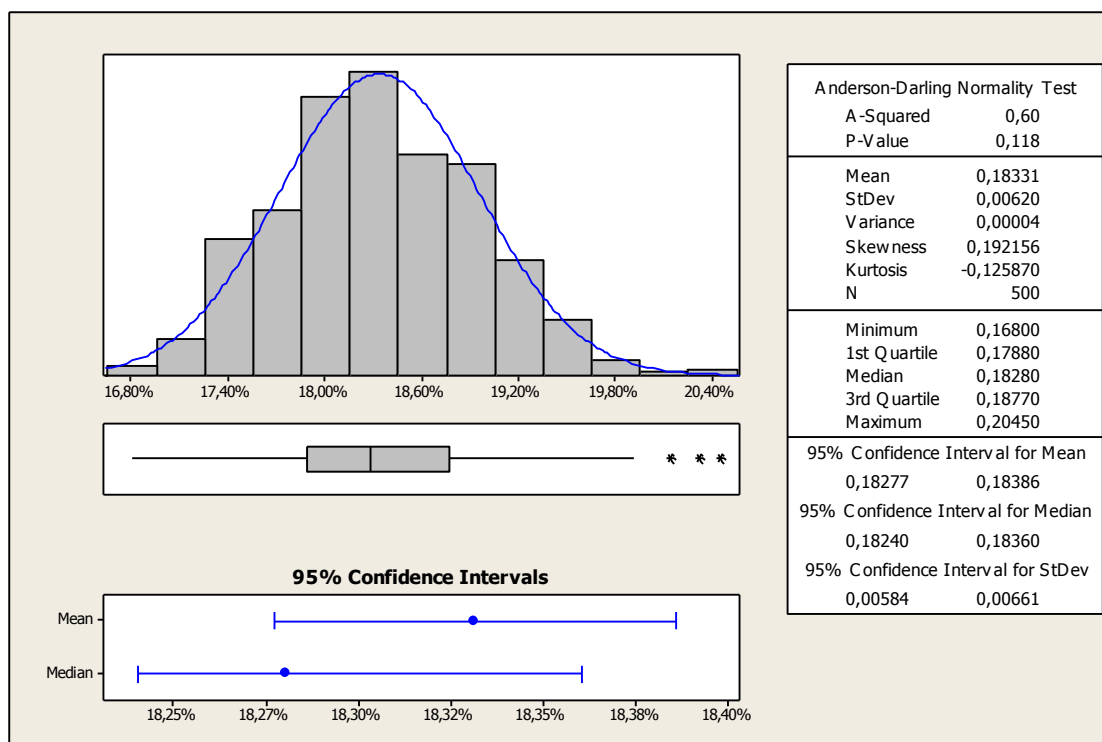
διάστημα εμπιστοσύνης για τη μέση τιμή σε κάθε σενάριο έχει κατώτατο όριο μεγαλύτερο από 18% και στα τρία σενάρια.



Εικόνα Π.3.1. Διείσδυση ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.2. Διείσδυση ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας (Σενάριο 2)



**Εικόνα Π.3.3. Διείσδυση ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας (Σενάριο 3)**

Μελετώντας τη διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%, που αποτελεί και δέσμευση του ελληνικού κράτους, οι πιθανότητες επίτευξης είναι χαμηλότερες. Συγκεκριμένα, για τα Σενάρια 1, 2 και 3 η πιθανότητα αυτή είναι 0.06, 0.24 και 0.01 αντίστοιχα.

Η πιθανότητα επίτευξης του στόχου σε κάθε σενάριο είναι 0.98, 1.00 και 0.77 αντίστοιχα. Στο Σενάριο 3 εμφανίζεται χαμηλότερη τιμή αλλά και μικρότερη πιθανότητα επίτευξης του στόχου γιατί είναι μειωμένη σε σχέση με τα υπόλοιπα δύο σενάρια η τελική κατανάλωση ενέργειας.

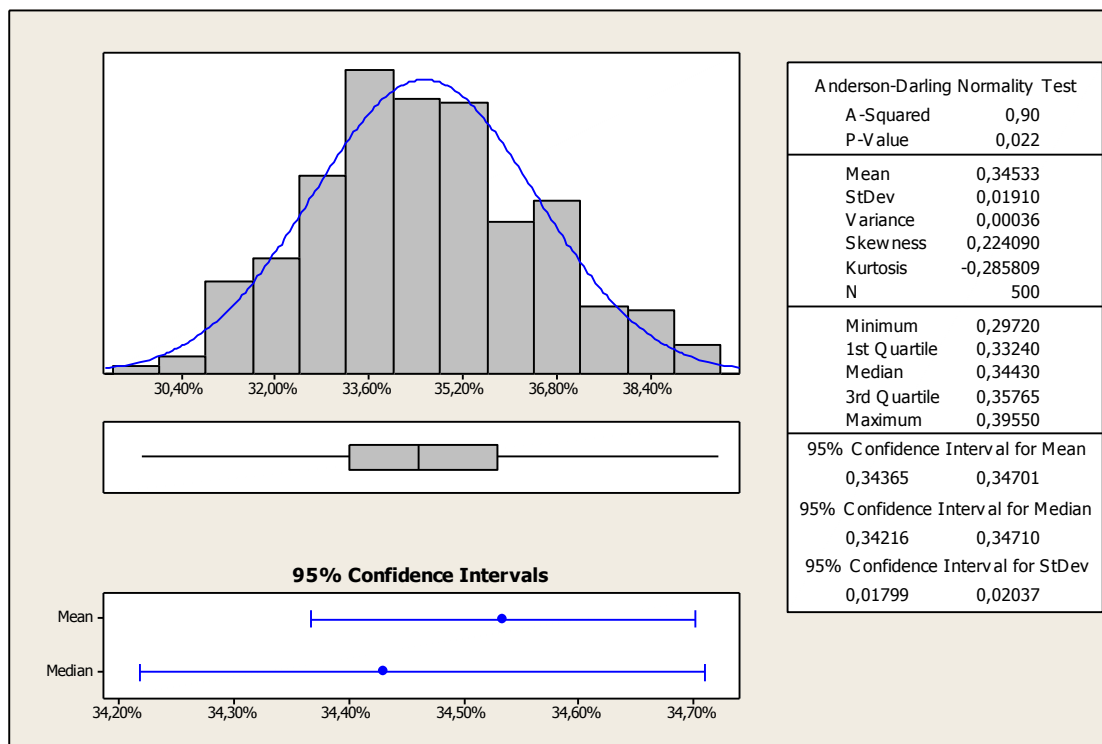
### Π.3.1.2. Διείσδυση ΑΠΕ στην Ηλεκτροπαραγωγή

Η διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής ευνοείται σημαντικά από την εφαρμογή του προτεινόμενου σχεδίου δράσης. Το μερίδιο σχεδόν διπλασιάζεται στα τρία σενάρια. Από 18.1%, 21.3% και 22% για τα Σενάρια 1, 2 και 3, η διείσδυση μετά την εφαρμογή των μέτρων φτάνει στο  $34.5\% \pm 1.9\%$ ,  $42.1\% \pm 2.4\%$  και  $40.2\% \pm 2.3\%$  αντίστοιχα.

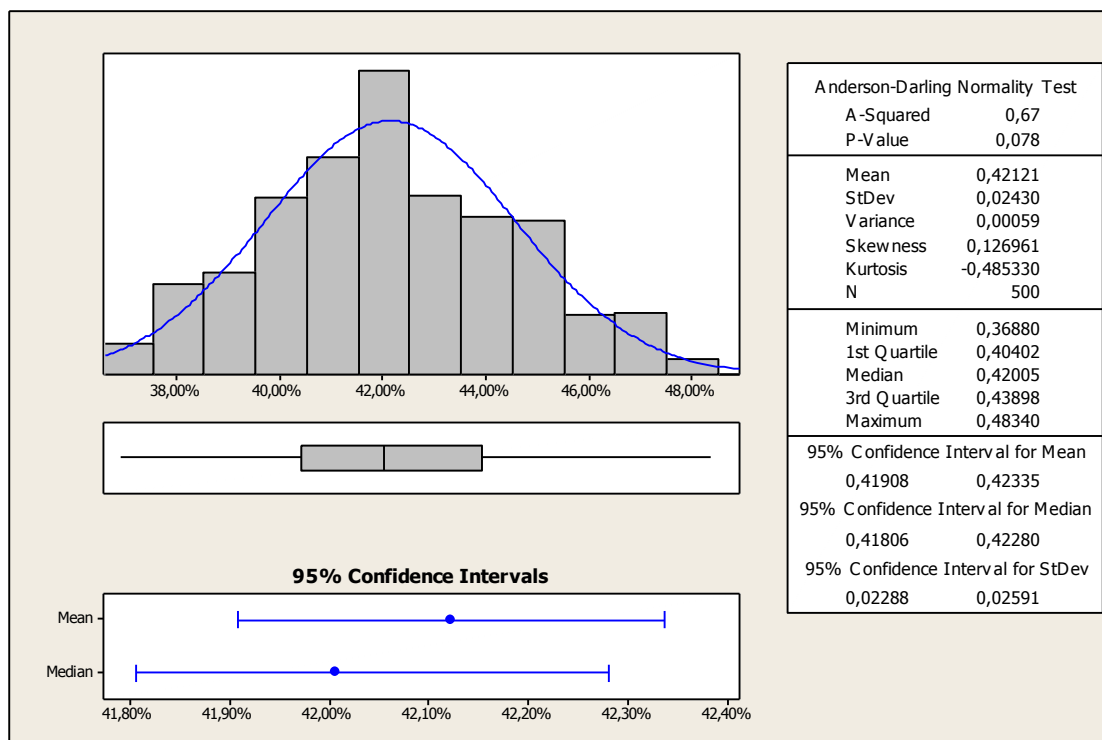
Στα Σενάρια 2 και 3 η μέση τιμή των επαναλήψεων της μεθόδου Monte Carlo ξεπερνά το στόχο του 40% ενώ στο Σενάριο 2 το 95% διάστημα εμπιστοσύνης για τη μέση τιμή σε κάθε σενάριο έχει κατώτατο όριο μεγαλύτερο από 40%.

Στο Σενάριο 1 η πιθανότητα επίτευξης του στόχου είναι μηδενική ενώ για τα υπόλοιπα δύο σενάρια η πιθανότητα αυτή ξεπερνά το 50%. Αναλυτικότερα, για το Σενάριο 2 η πιθανότητα διείσδυσης των ΑΠΕ σε ποσοστό μεγαλύτερο του 40% είναι 0.79 και στο Σενάριο 3 είναι 0.53.

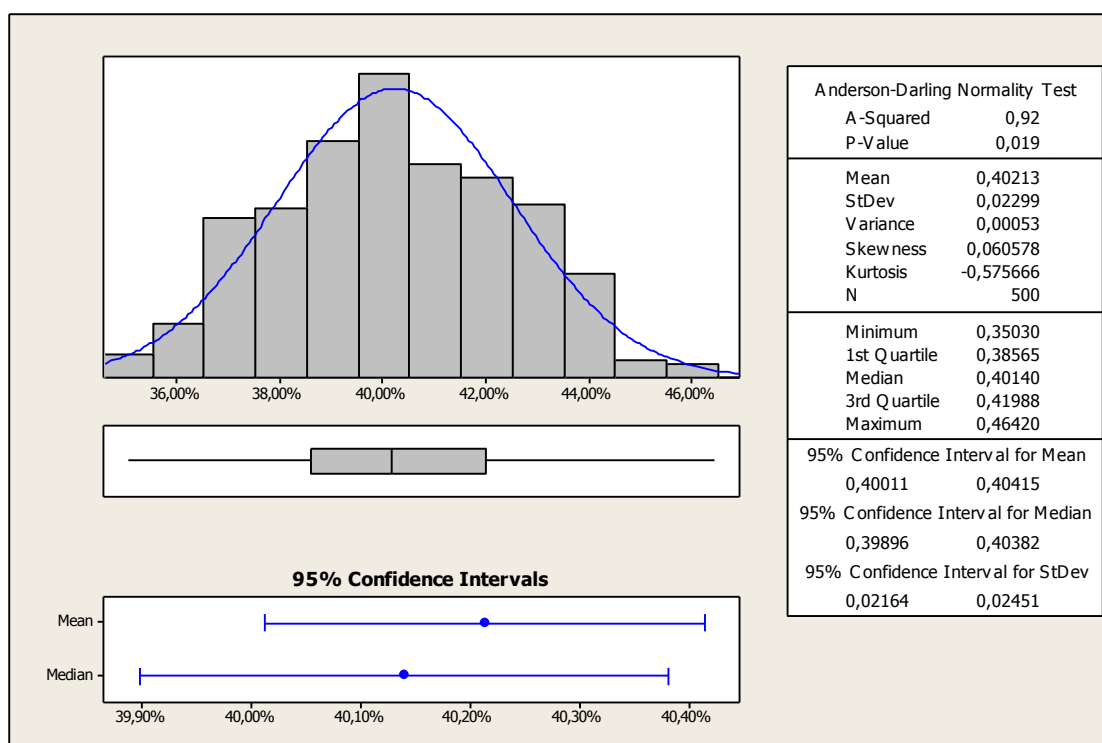
Η επίτευξη του στόχου δεν είναι εξασφαλισμένη άρα σε μια δεύτερη προσπάθεια διαμόρφωσης ενός σχεδίου δράσης, πρέπει να θεωρηθούν υψηλότερες τιμές για την εγκατεστημένη ισχύ των ΑΠΕ. Από τους Πίνακες 8.33 και 8.34, παρατηρείται πως η τεχνολογία για την οποία υπάρχει το περιθώριο αυτό είναι η αιολική ενέργεια.



Εικόνα Π.3.4. Διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.5. Διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (Σενάριο 2)

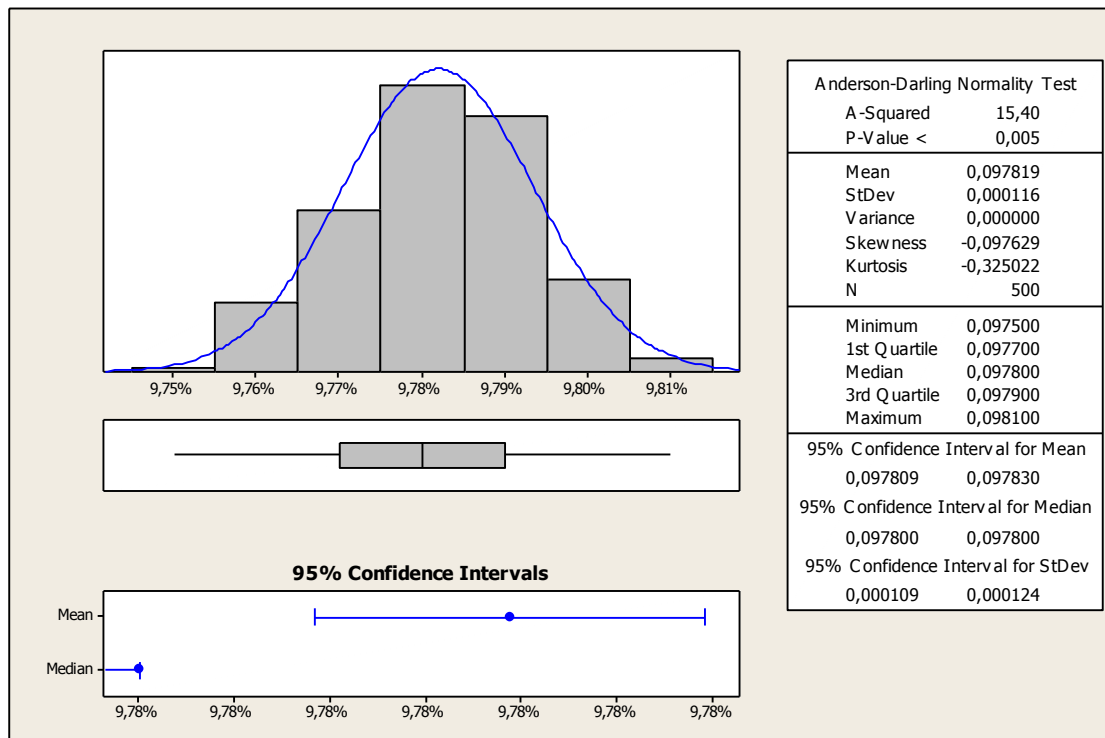


Εικόνα Π.3.6. Διείσδυση ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (Σενάριο 3)

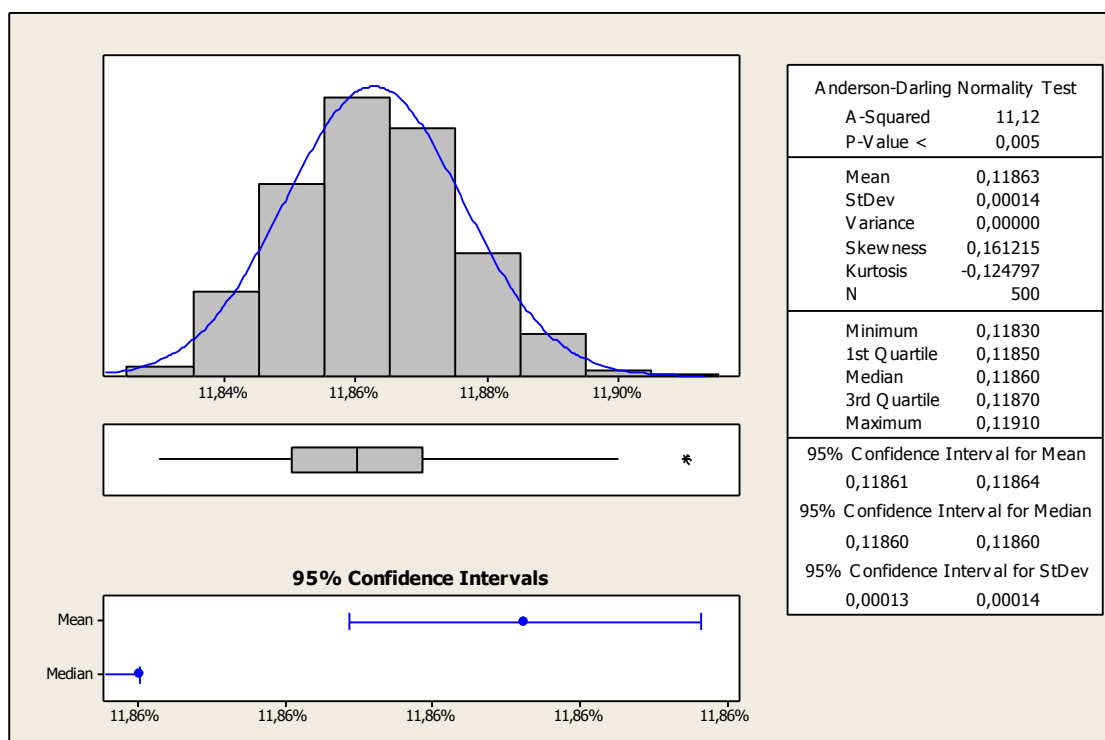
### Π.3.1.3. Διείσδυση ΑΠΕ στην Τομέα των Μεταφορών

Η διείσδυση των ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών είναι ο στόχος με τη μικρότερη διακύμανση και το μικρότερο εύρος για τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης της μέσης τιμής. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχουν υποτεθεί σταθερές τιμές για την εξέλιξη της ζήτησης των βιοκαυσίμων, όπως αυτές προκύπτουν κατά τη διαμόρφωση των τριών σεναρίων. Επίσης, εξετάζονται μόνο τρία μέτρα τα οποία δεν εισάγουν σημαντική αβεβαιότητα στην εξέλιξη των μεγεθών.

Ως εκ τούτου, τα συμπεράσματα που προκύπτουν ως προς την πιθανότητα επίτευξης των στόχων περιορίζονται στον αν παρατηρείται η όχι διείσδυση των ΑΠΕ σε ποσοστό μεγαλύτερο του 10%. Στο Σενάριο 1 προκύπτει διείσδυση ίση με  $9.78\% \pm 0.01\%$  ενώ για τα Σενάρια 2 και 3 οι αντίστοιχες τιμές είναι  $11.86\% \pm 0.01\%$  και  $12.06\% \pm 0.01\%$ .

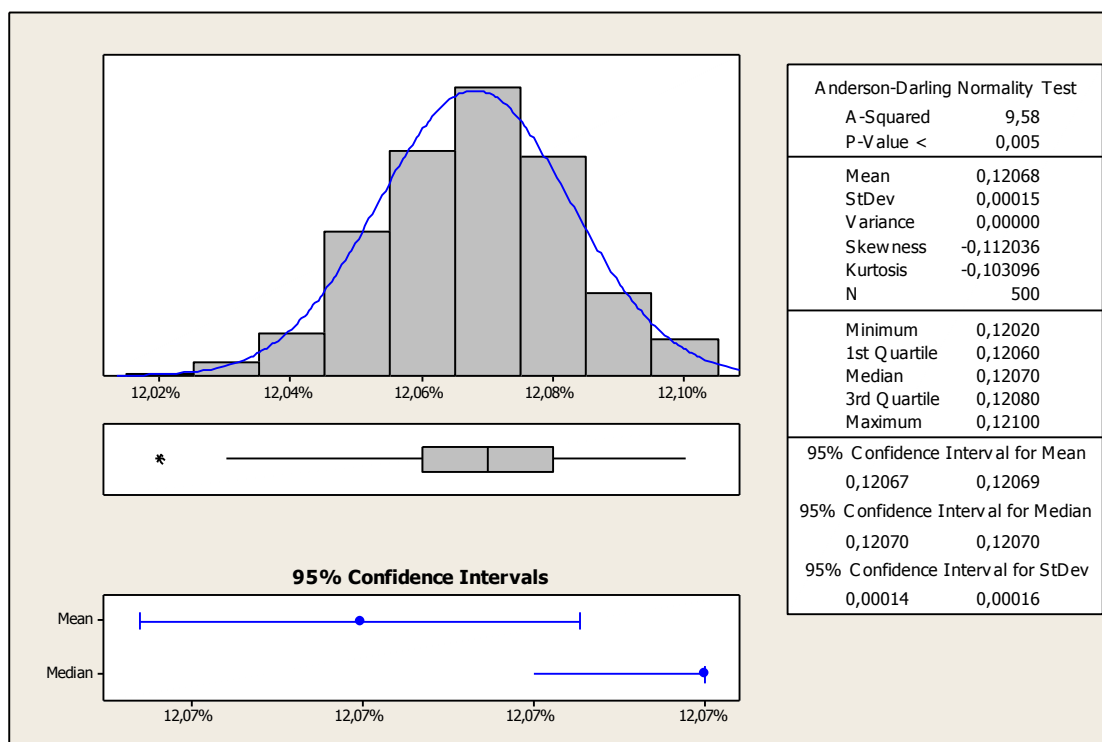


Εικόνα Π.3.7. Διείσδυση ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.8. Διείσδυση ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών (Σενάριο 2)





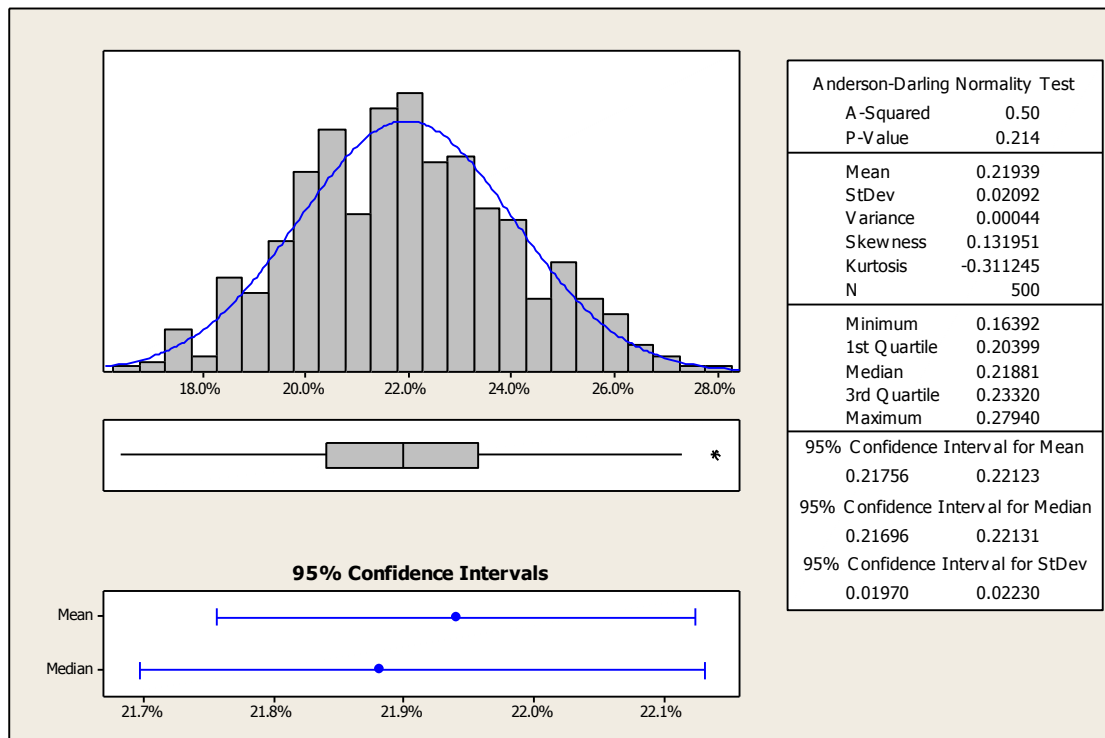
Εικόνα Π.3.9. Διείσδυση ΑΠΕ στον τομέα των μεταφορών (Σενάριο 3)

### Π.3.1.4. Μείωση Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου

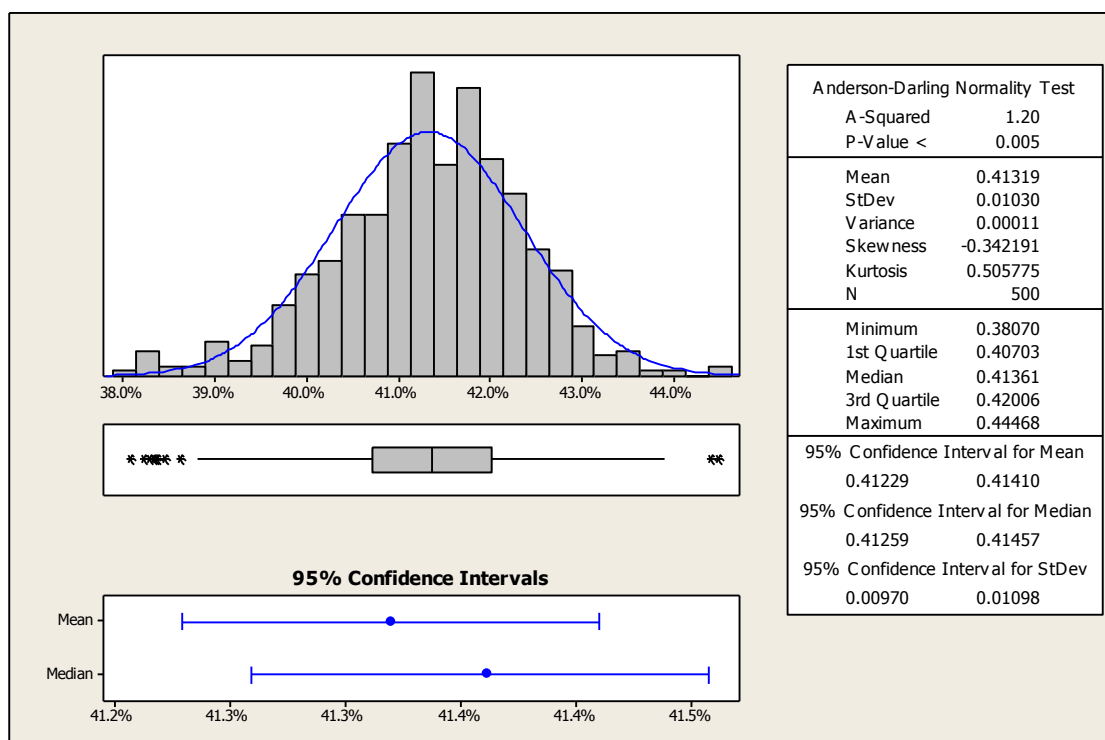
Η μείωση των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ μετά την εφαρμογή του προτεινόμενου σχεδίου δράσης επιτυγχάνεται και στα τρία σενάρια. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο άλλωστε αφού και μόνο με τις προγραμματισμένες δράσεις, η επίτευξη του στόχου ήταν σχεδόν σίγουρη.

Αναλυτικότερα, και συγκριτικά με την κατάσταση πριν την εφαρμογή των μέτρων η μείωση των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ από 3.7%, 16.4% και 15.3% για τα Σενάρια 1, 2 και 3, ανέρχεται πλέον στο  $21.9\% \pm 2.1\%$ ,  $41.3\% \pm 1.0\%$  και  $41.6\% \pm 1.8\%$  αντίστοιχα. Η πιθανότητα επίτευξης του στόχου στα τρία σενάρια είναι 100%.

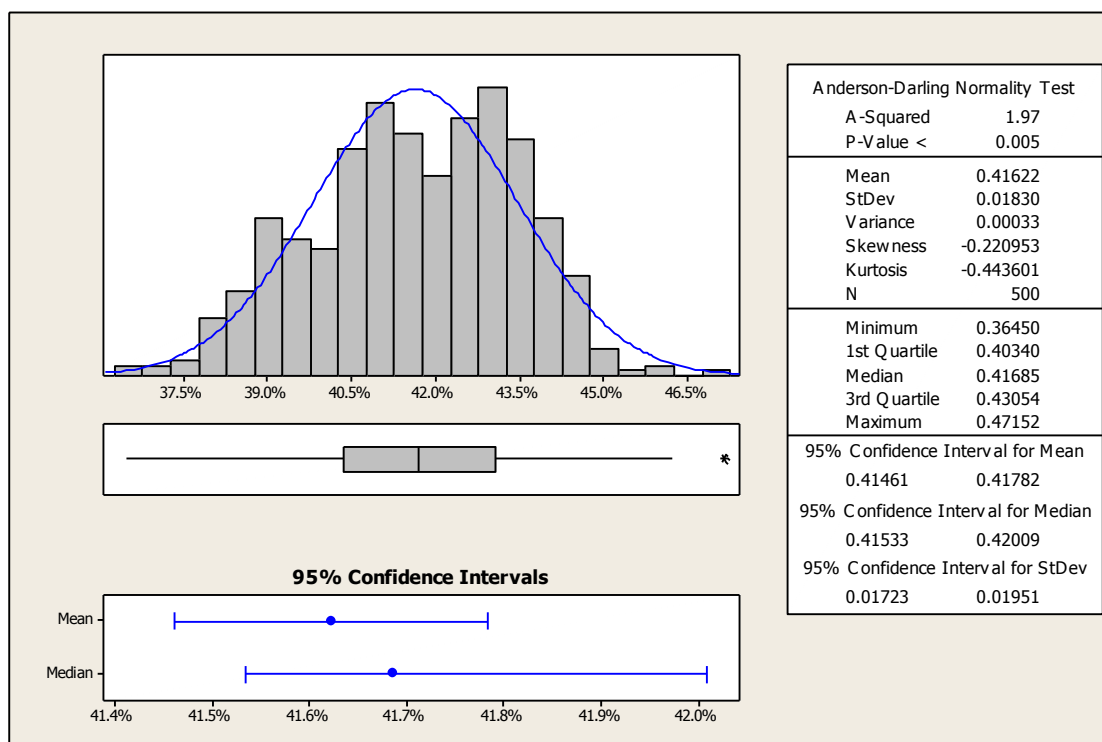
Εξετάζοντας, ξεχωριστά την επίτευξη των επιμέρους στόχων στους τομείς που εντάσσονται και που δεν εντάσσονται στο σύστημα εμπορίας εκπομπών ρύπων παρατηρείται ότι η πιθανότητα μείωσης στην πρώτη κατηγορία είναι 100% και στα τρία σενάρια. Αντίθετα, η μείωση στους τομείς εκτός ΣΕΔΕ έχει πιθανότητα επίτευξης 81.2%, 82.6% και 99.4% για τα Σενάρια 1, 2 και 3, αντίστοιχα.



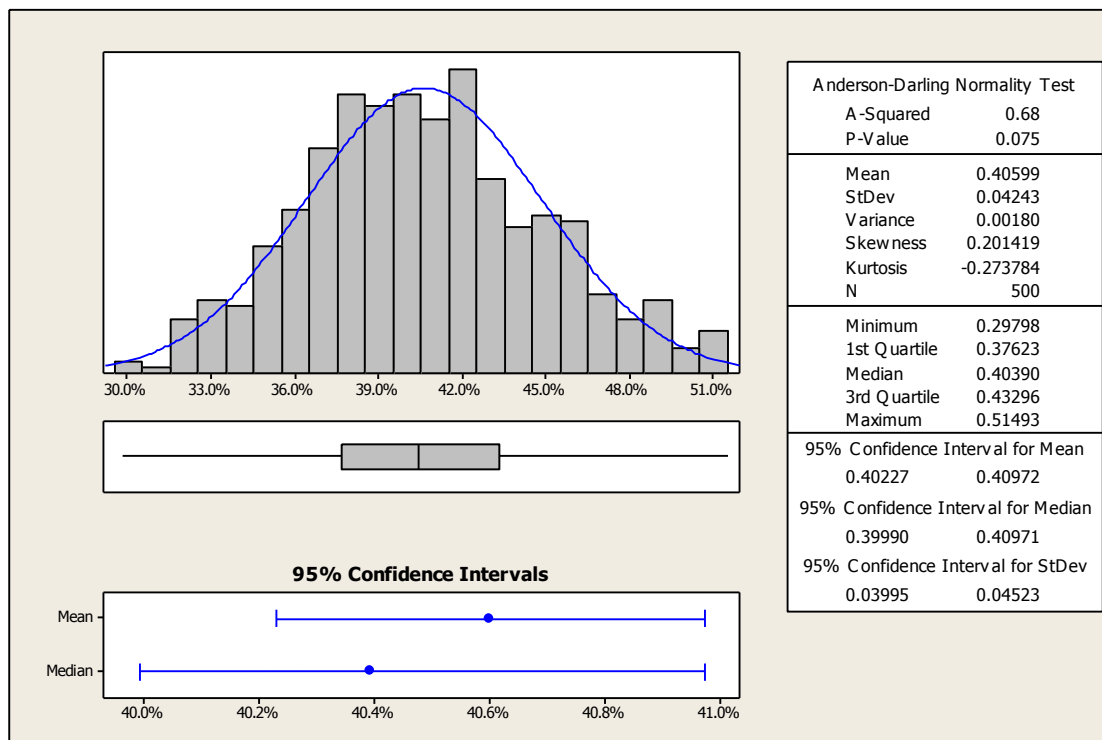
Εικόνα Π.3.10. Μείωση συνολικών εκπομπών ΑΤΘ (Σενάριο 1)



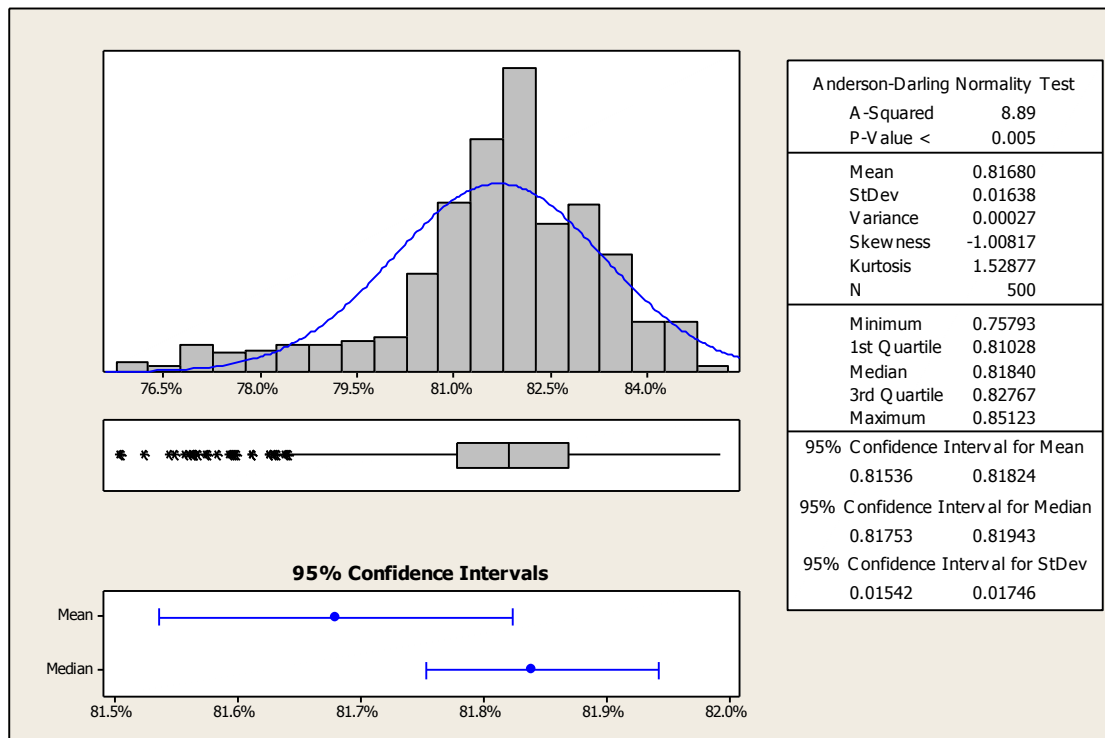
Εικόνα Π.3.11. Μείωση συνολικών εκπομπών ΑΤΘ (Σενάριο 2)



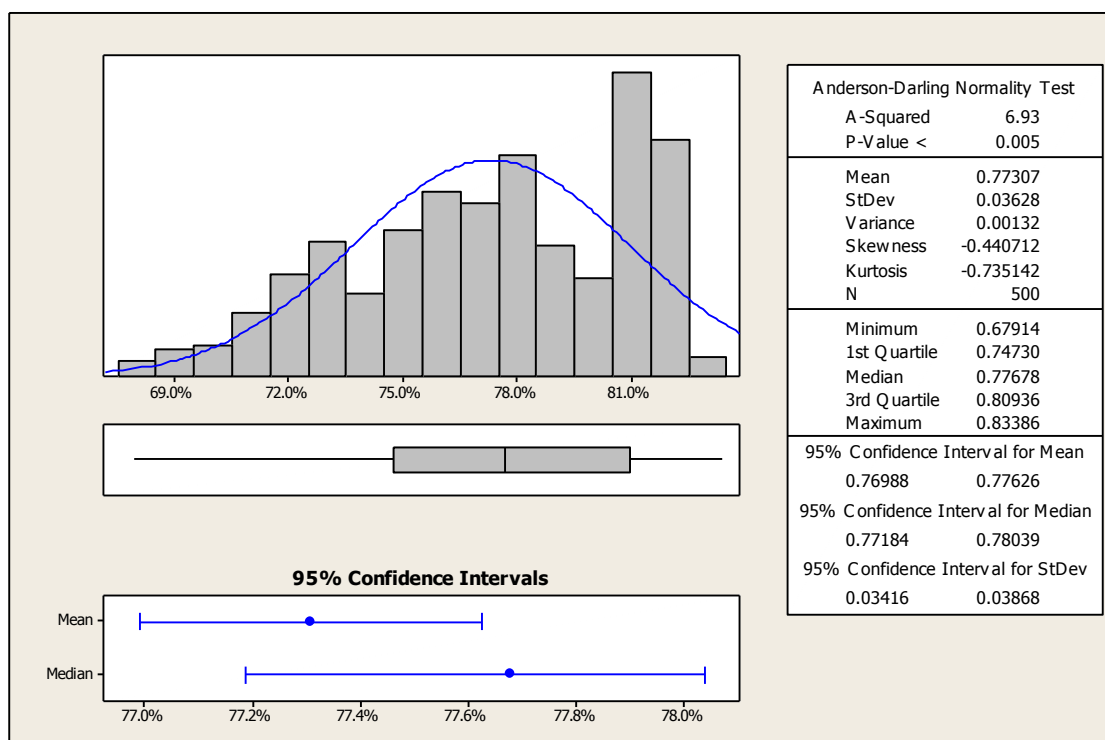
Εικόνα Π.3.12. Μείωση συνολικών εκπομπών ΑΤΘ (Σενάριο 3)

Μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> για τους τομείς που εντάσσονται στο ΣΕΔΕ

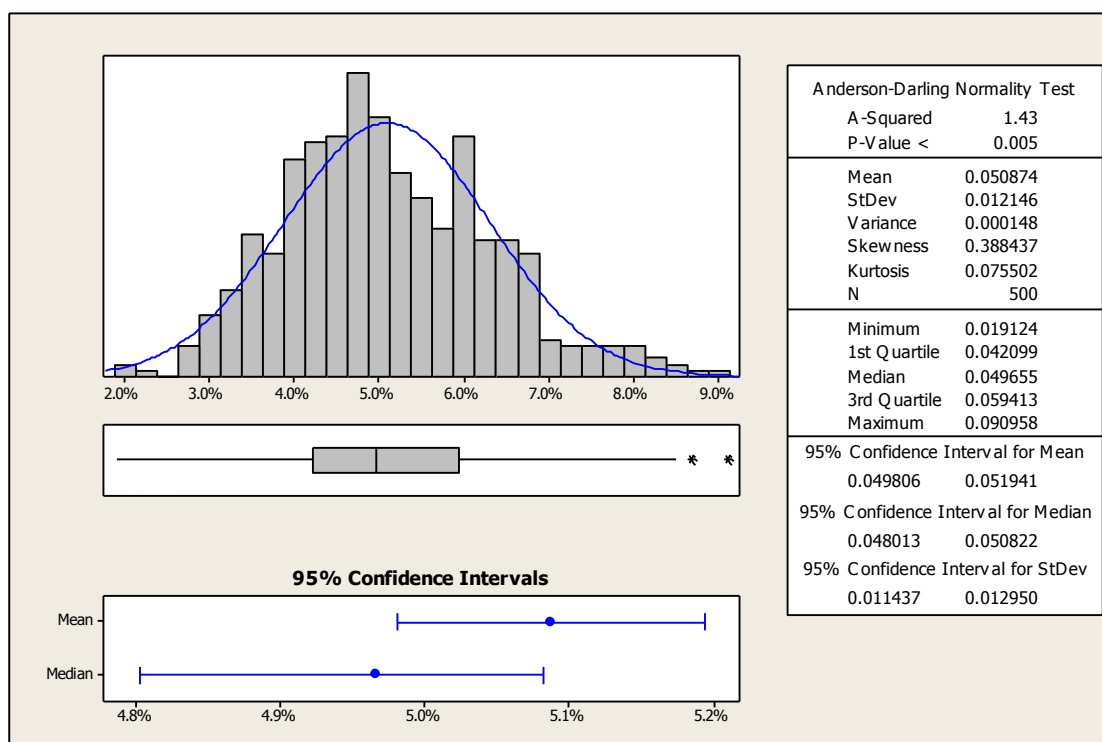
Εικόνα Π.3.13. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εντός ΣΕΔΕ (Σενάριο 1)



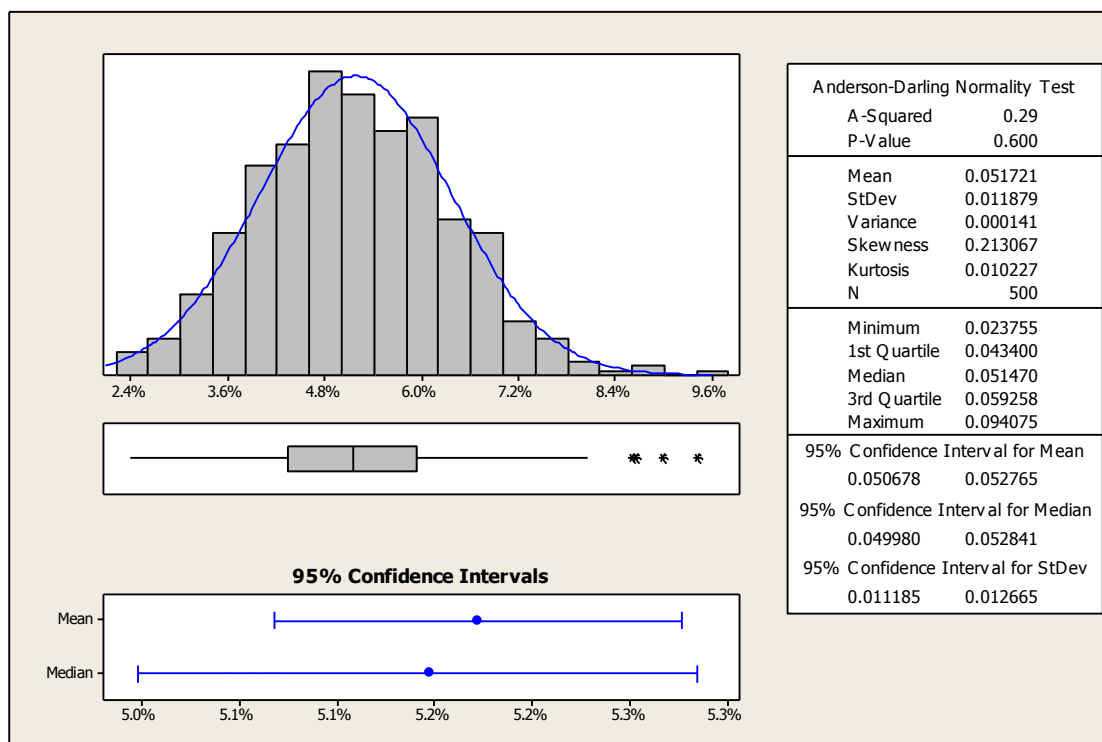
Εικόνα Π.3.14. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εντός ΣΕΔΕ (Σενάριο 2)



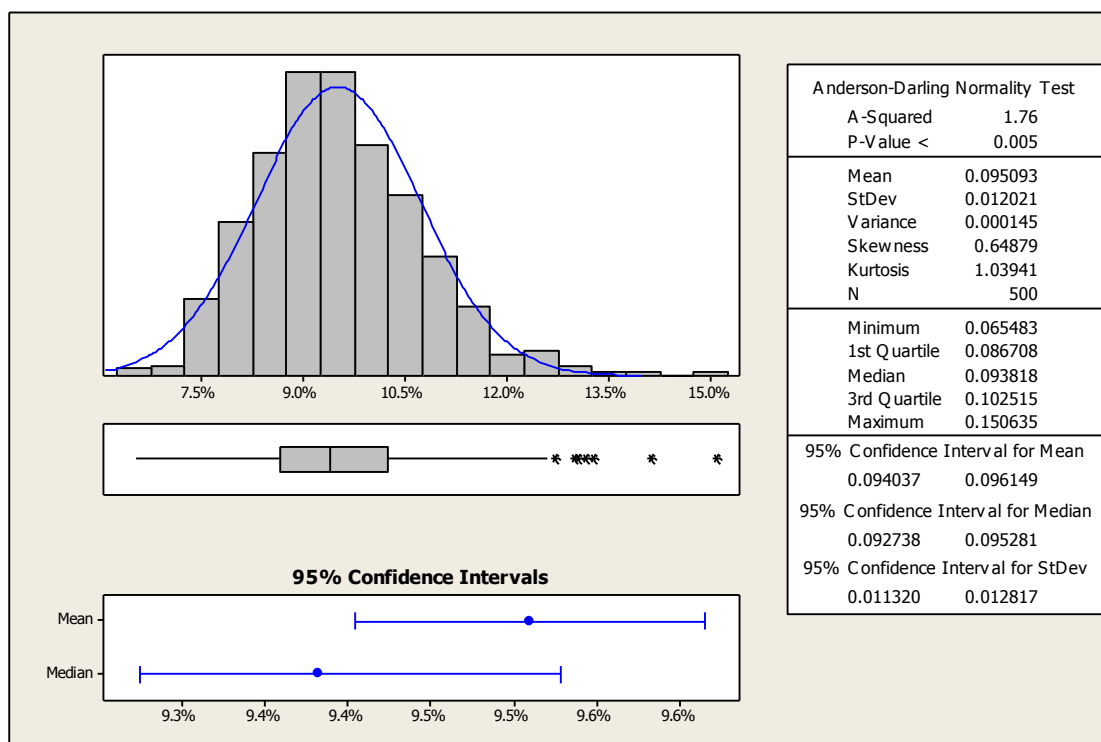
Εικόνα Π.3.15. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εντός ΣΕΔΕ (Σενάριο 3)

Μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub> για τους τομείς που δεν εντάσσονται στο ΣΕΔΕ

Εικόνα Π.3.16. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εκτός ΣΕΔΕ (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.17. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εκτός ΣΕΔΕ (Σενάριο 2)



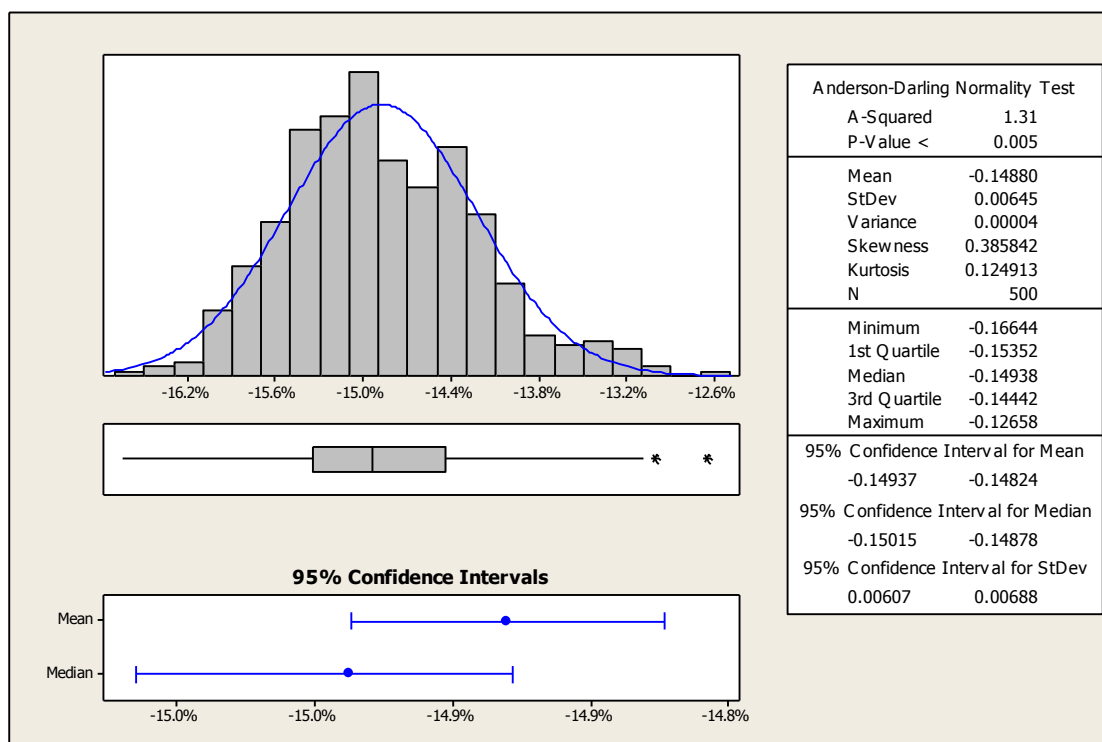
Εικόνα Π.3.18. Μείωση εκπομπών ΑΤΘ για τους τομείς εκτός ΣΕΛΕ (Σενάριο 3)

### Π.3.1.5. Εξοικονόμηση κατανάλωσης τελικής ενέργειας

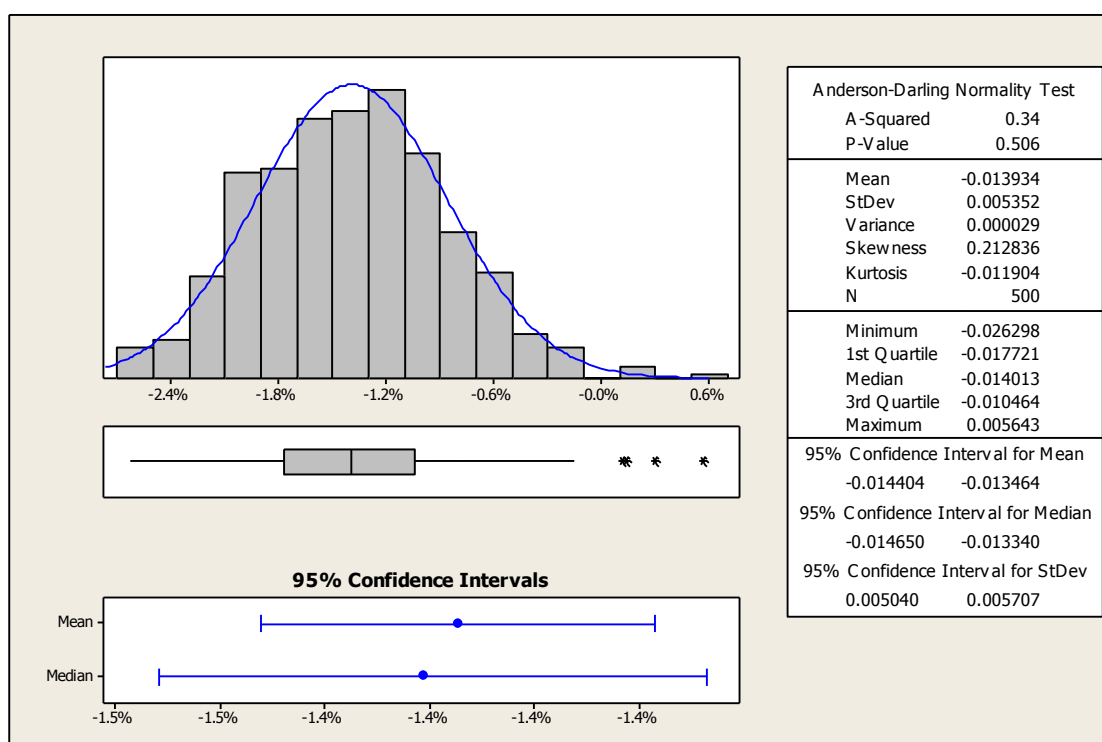
Η μείωση στην κατανάλωση της τελικής ενέργειας αποδεικνύεται ο πιο δύσκολος προς επίτευξη στόχος καθώς σε κανένα από τα τρία σενάρια δεν επιτυγχάνεται. Το ποσοστό βελτιώνεται από -16.2%, -7.8% και -8.9% για τα Σενάρια 1, 2 και 3, σε  $-14.8\% \pm 0.6\%$ ,  $-1.4\% \pm 0.5\%$  και  $0.9\% \pm 0.5\%$ . Παρόλα αυτά, η πιθανότητα επίτευξης του είναι μηδενική και για τα τρία σενάρια.

Είναι προφανές ότι απαιτούνται περισσότερα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας ή εφαρμογή των επιλεγμένων δράσεων σε μεγαλύτερο βαθμό. Με δεδομένο πως ο τομέας με την υψηλότερη κατανάλωση είναι οι μεταφορές και εξετάστηκαν δράσεις που στόχευαν στη μείωση της κατανάλωσης στις ιδιωτικές οδικές μεταφορές, προκύπτει πως υπάρχει ένα σημαντικό δυναμικό εξοικονόμησης. Ένα αναθεωρημένο σχέδιο δράσης θα πρέπει να περιλαμβάνει σίγουρα επεμβάσεις στα Μέσα Μαζικής Μεταφοράς αλλά και σε άλλους κλάδους πλην των οδικών μεταφορών.

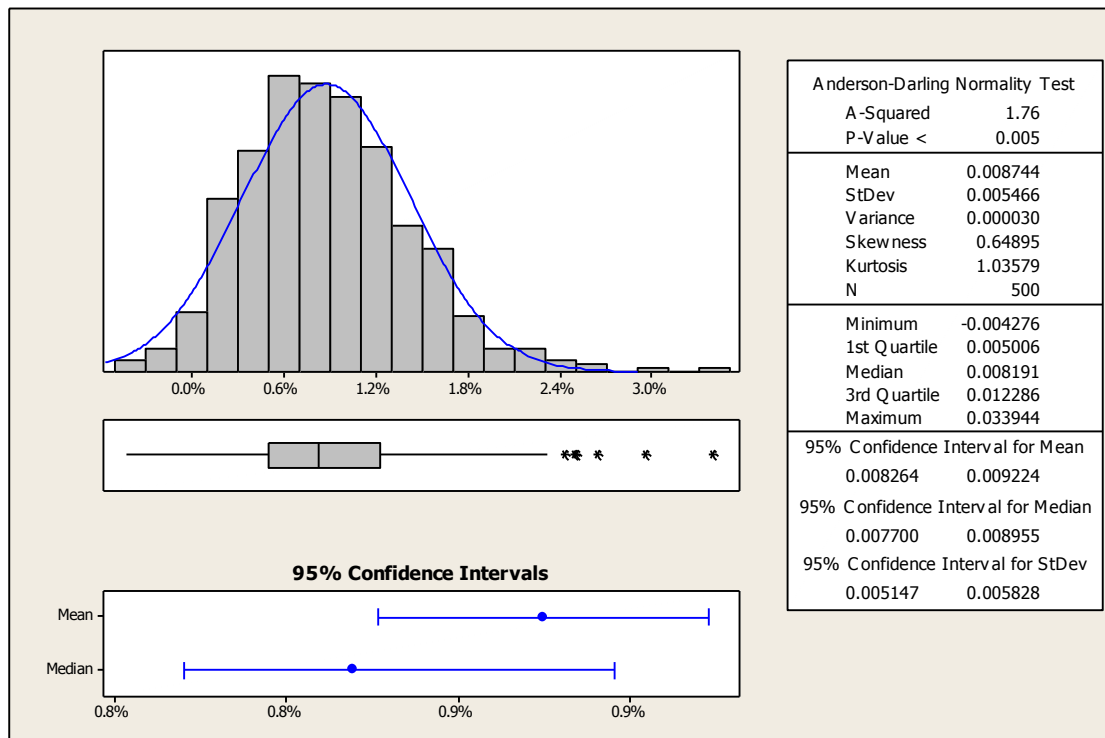
Επίσης, επιπλέον επεμβάσεις μπορούν να εξεταστούν και στον τομέα της βιομηχανίας. Βέβαια, λόγω της ποικιλομορφίας των διεργασιών πρέπει να μελετηθούν σε επίπεδο βιομηχανικού κλάδου και να γίνει μια πιο λεπτομερής μοντελοποίηση αλλά και συλλογή δεδομένων.



Εικόνα Π.3.19. Εξοικονόμηση κατανάλωσης τελικής ενέργειας (Σενάριο 1)

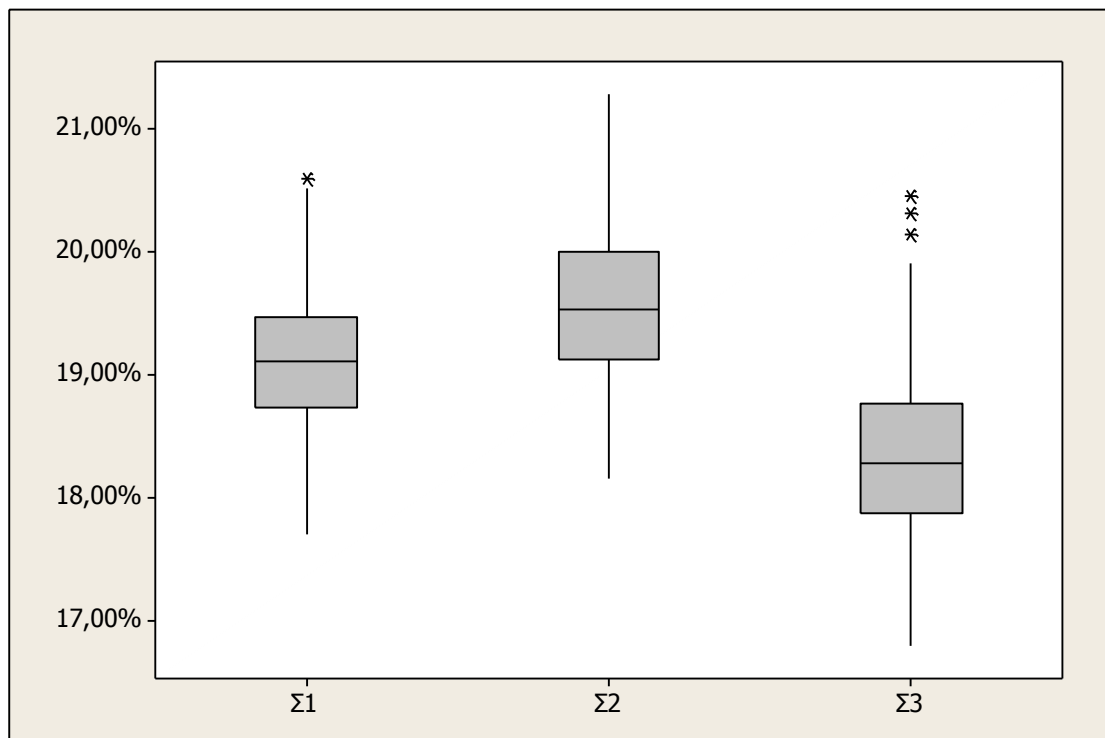


Εικόνα Π.3.20. Εξοικονόμηση κατανάλωσης τελικής ενέργειας (Σενάριο 2)



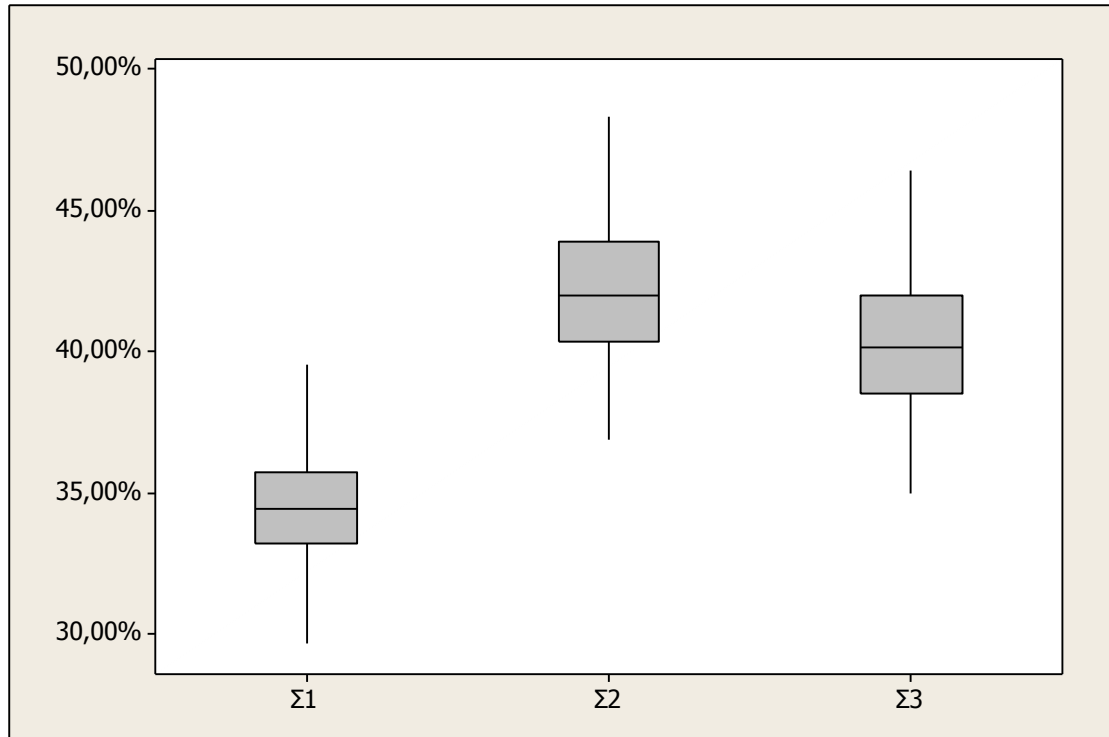
Εικόνα Π.3.21. Εξοικονόμηση κατανάλωσης τελικής ενέργειας (Σενάριο 3)

### Π.3.1.6. Θηκογράμματα για την επίτευξη των στόχων

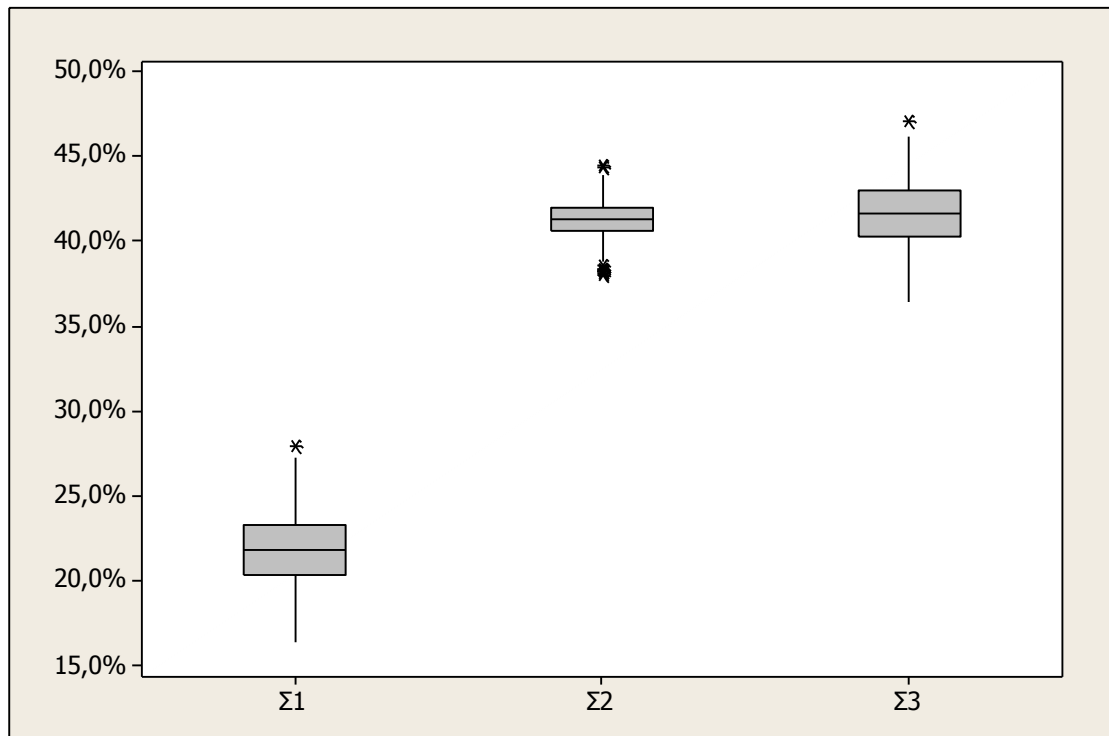


Εικόνα Π.3.22. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της διείσδυσης των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας

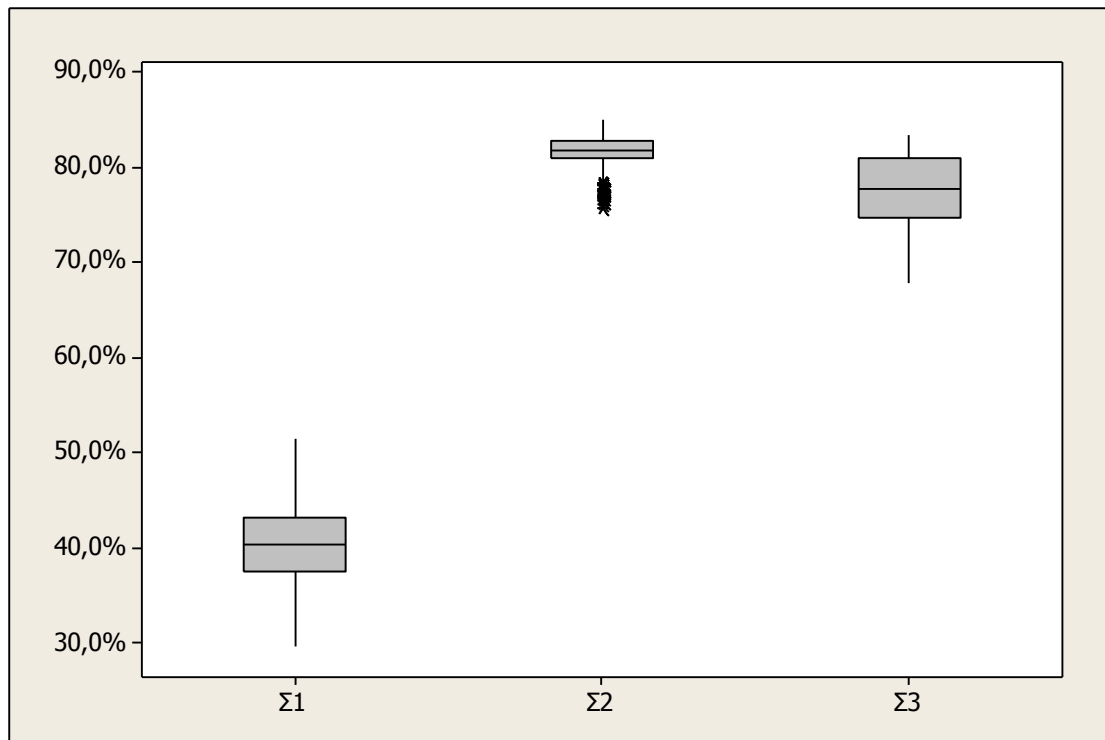




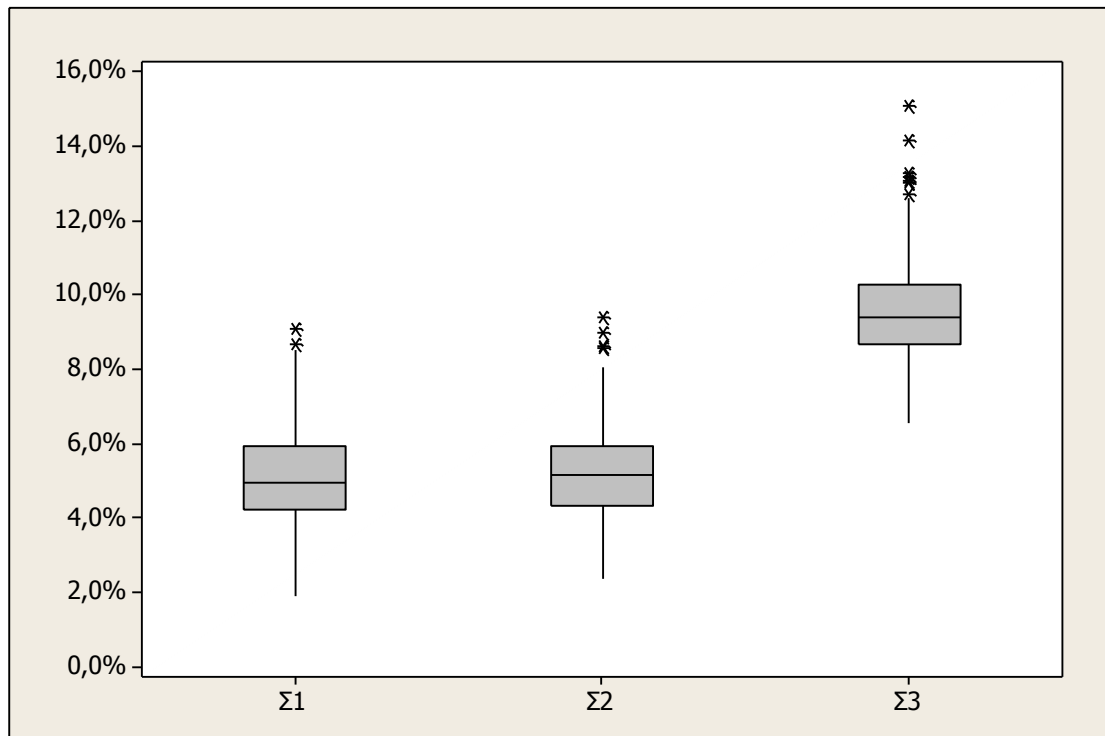
**Εικόνα Π.3.23.** Θηκογράμματα για τη σύγκριση της διείσδυσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή



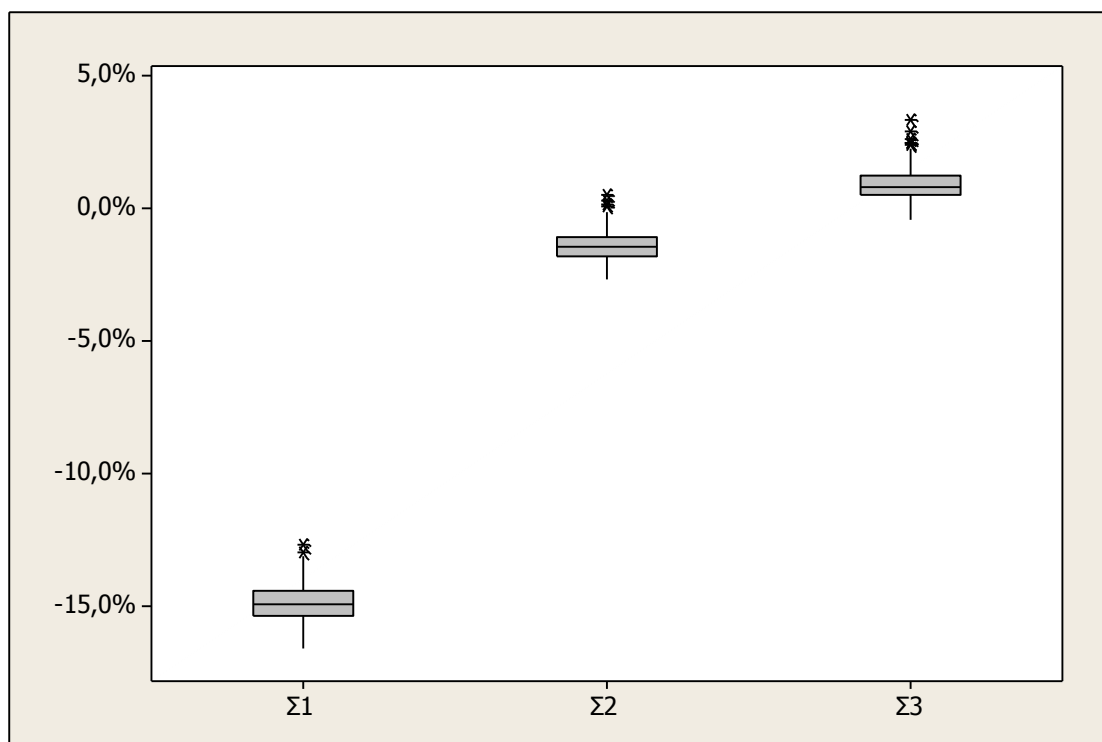
**Εικόνα Π.3.24.** Θηκογράμματα για τη σύγκριση της μείωσης των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ



**Εικόνα Π.3.25. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της μείωσης των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ για τους κλάδους εντός του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών**



**Εικόνα Π.3.26. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της μείωσης των συνολικών εκπομπών ΑΤΘ για τους κλάδους εκτός του συστήματος εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών**



Εικόνα Π.3.27. Θηκογράμματα για τη σύγκριση της εξοικονόμησης στην κατανάλωση τελικής ενέργειας

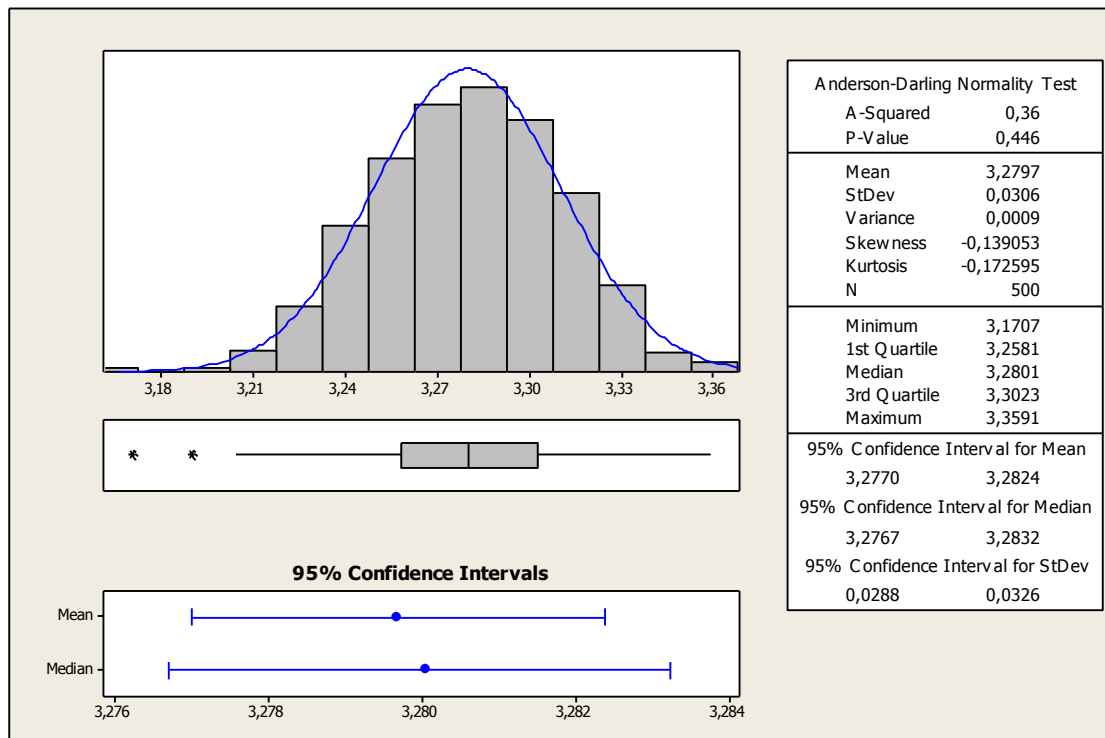
## Π.3.2. Δείκτες Βιωσιμότητας

### Π.3.3.1. Παροχή πρωτογενούς ενέργειας

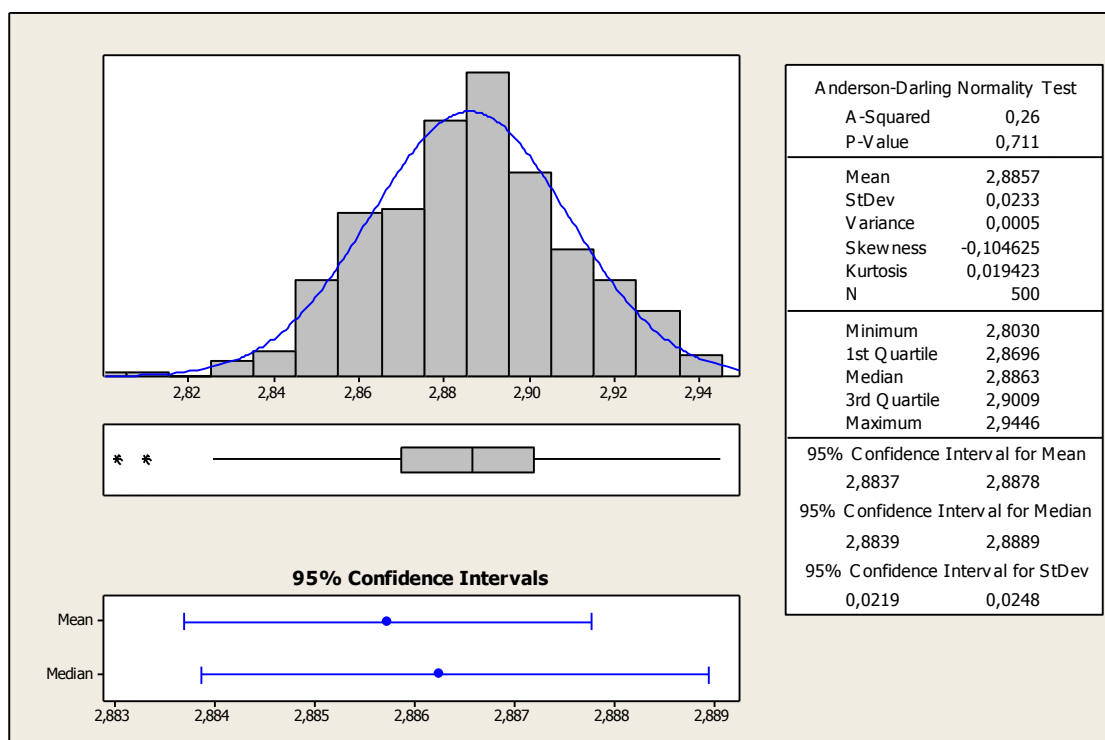
Όπως είναι αναμενόμενο, τα μέτρα εξοικονόμησης σε συνδυασμό με την αλλαγή του μίγματος της ηλεκτροπαραγωγής και την εισαγωγή νέων πιο αποδοτικών μονάδων μειώνουν σημαντικά την κατά κεφαλή παροχή πρωτογενούς ενέργειας.

Αναλυτικότερα, και συγκριτικά με την κατάσταση πριν την εφαρμογή των μέτρων, η παροχή πρωτογενούς ενέργειας μειώνεται από 3.59 TOE/κάτοικο, 3.26 TOE/κάτοικο και 3.14 TOE/κάτοικο για τα Σενάρια 1, 2 και 3, σε  $3.28\% \pm 0.03$  TOE/κάτοικο,  $2.88\% \pm 0.02$  TOE/κάτοικο και  $2.75\% \pm 0.03$  TOE/κάτοικο αντίστοιχα.

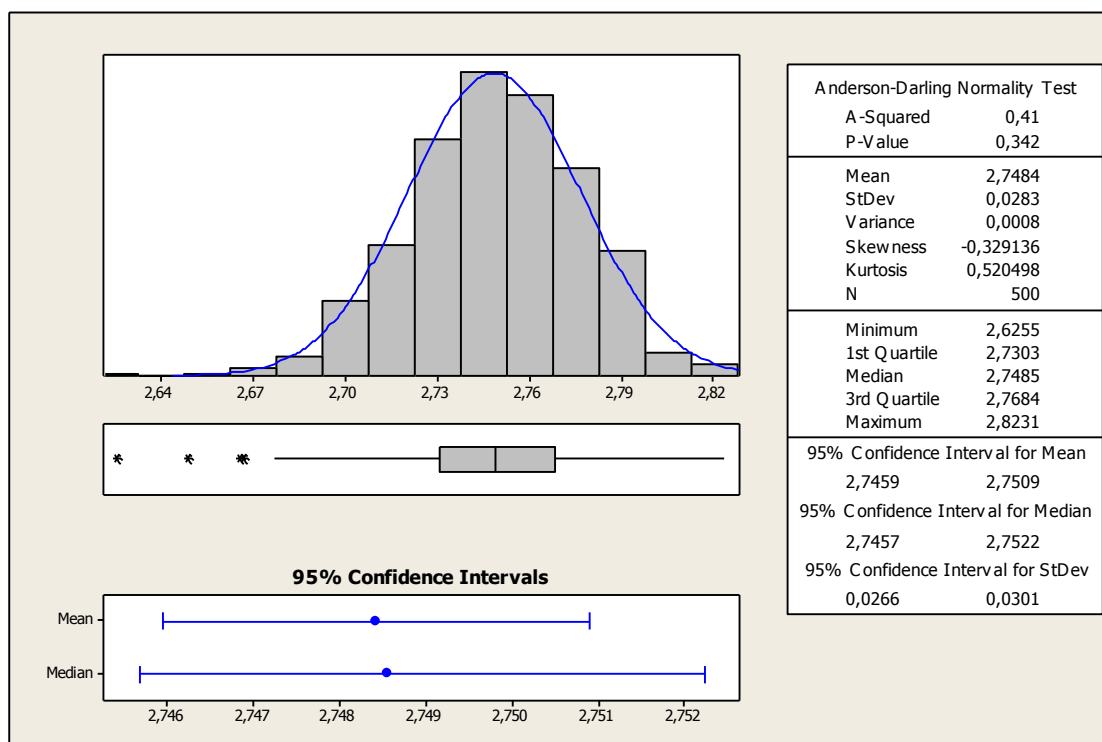
Στο Σενάριο 1 η παροχή πρωτογενούς ενέργειας στην ουσία παραμένει σταθερή στα επίπεδα του έτους βάσης της μελέτης, του 2007. Αντίθετα, στα Σενάρια 2 και 3 η μέγιστη τιμή είναι 2.94 TOE/κάτοικο που αντιστοιχεί στα επίπεδα παροχής ενέργειας ανά κάτοικο των αρχών της δεκαετίας του 1990.



Εικόνα Π.3.28. Παροχή πρωτογενούς ενέργειας κατά κεφαλή (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.29. Παροχή πρωτογενούς ενέργειας κατά κεφαλή (Σενάριο 2)



Εικόνα Π.3.30. Παροχή πρωτογενούς ενέργειας κατά κεφαλή (Σενάριο 3)

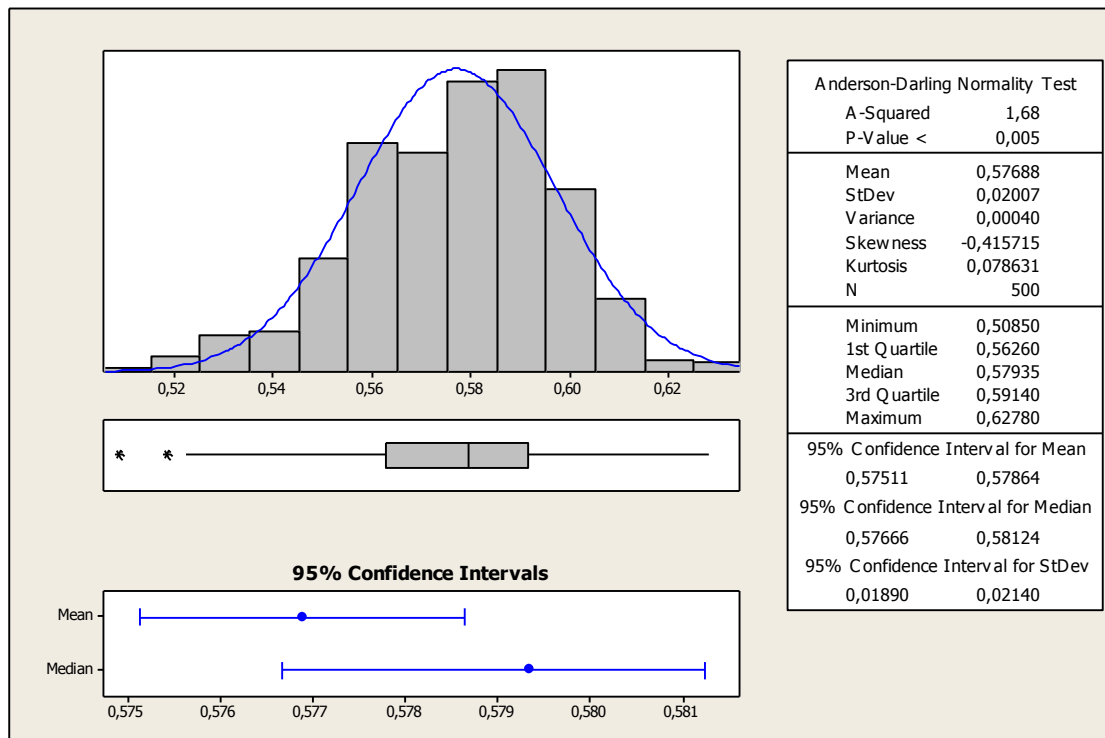
### Π.3.3.2. Χρήση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα

Η κατά κεφαλή κατανάλωση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα μειώνεται και αυτή χάρη στα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας, αλλά σε χαμηλότερο βαθμό από την κατά κεφαλή παροχή πρωτογενούς ενέργειας.

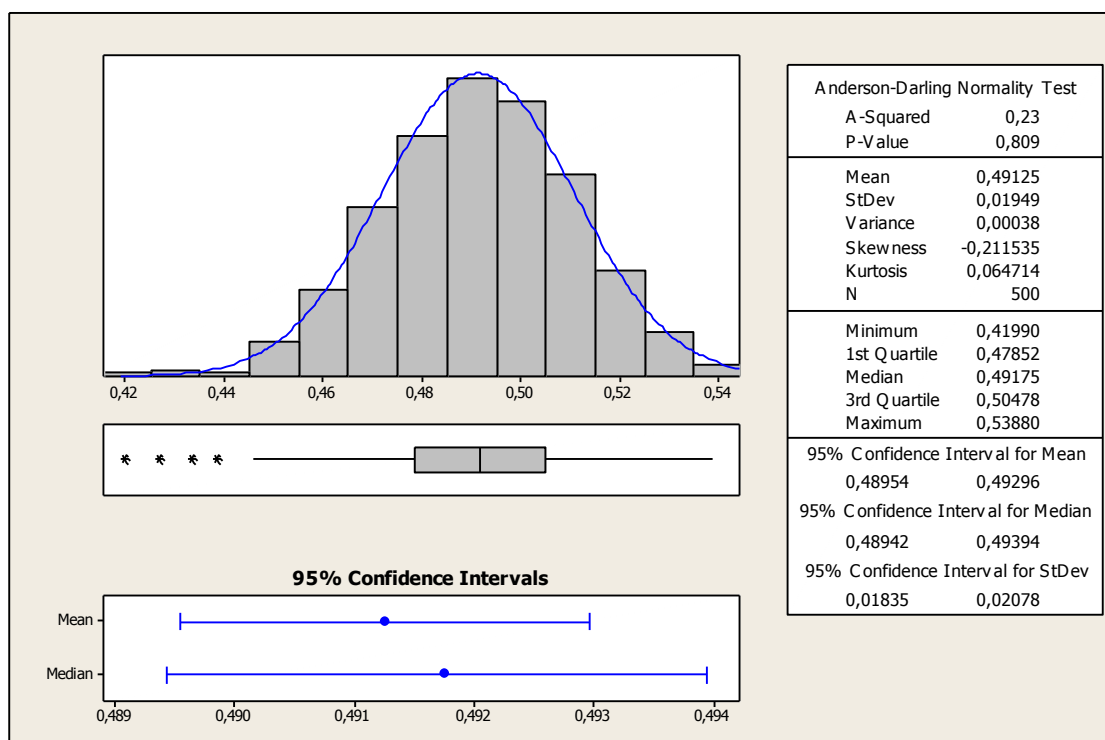
Αναλυτικότερα, και συγκριτικά με την κατάσταση πριν την εφαρμογή των μέτρων, η κατανάλωση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα μειώνεται από 0.68 TOE/κάτοικο, 0.65 TOE/κάτοικο και 0.62 TOE/κάτοικο για τα Σενάρια 1, 2 και 3, σε  $0.57 \pm 0.02$  TOE/κάτοικο,  $0.49 \pm 0.02$  TOE/κάτοικο και  $0.47 \pm 0.02$  TOE/κάτοικο αντίστοιχα.

Στο Σενάριο 1 η κατανάλωση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα παρουσιάζεται υψηλότερη από τα επίπεδα του έτους βάσης της μελέτης. Αντίθετα, στα Σενάρια 2 και 3, η μέγιστη τιμή του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης για τη μέση τιμή είναι 0.49 και 0.47 TOE/κάτοικο, τιμές παρόμοιες με αυτές του 2007.

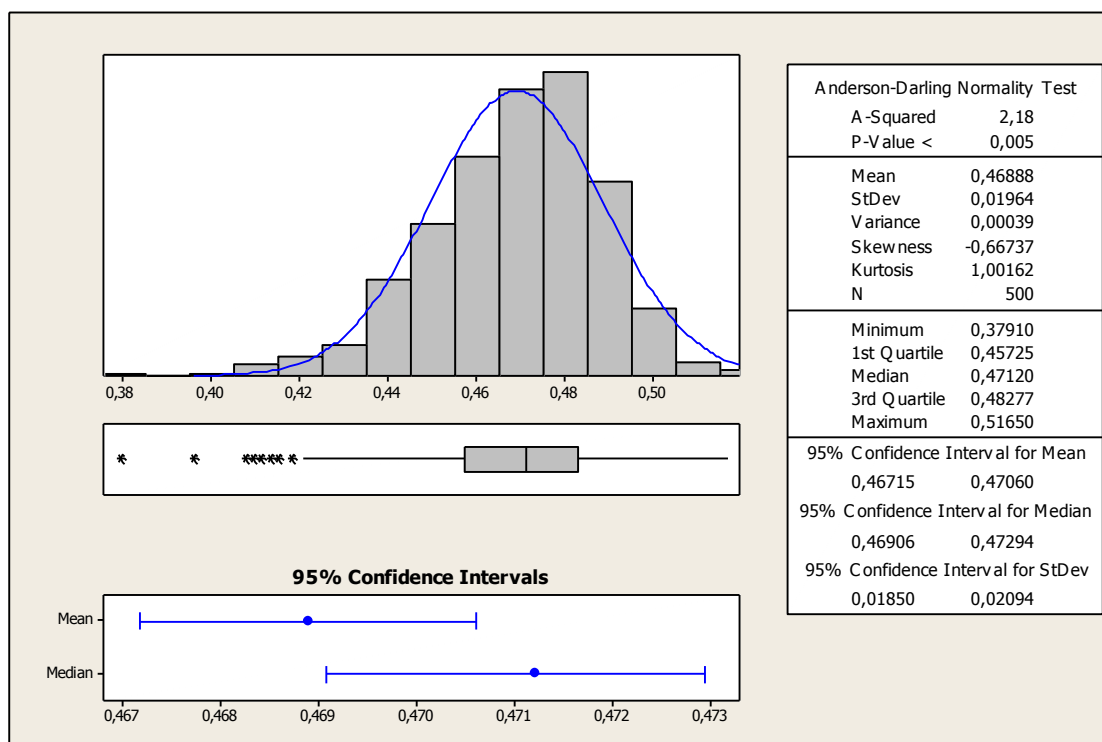
Είναι προφανές πως τα μέτρα εξοικονόμησης που επιλέχθηκαν για εφαρμογή στον οικιακό τομέα δεν αρκούν για τη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας, παρά μόνο για την σταθεροποίηση της. Απαιτείται, λοιπόν, λήψη περαιτέρω μέτρων ή αύξηση του εύρους εφαρμογής των προτεινόμενων για τη βελτίωση της συμπεριφοράς του συγκεκριμένου δείκτη.



Εικόνα Π.3.31. Χρήση τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα κατά κεφαλή (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.32. Χρήση κατά κεφαλή τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα (Σενάριο 2)



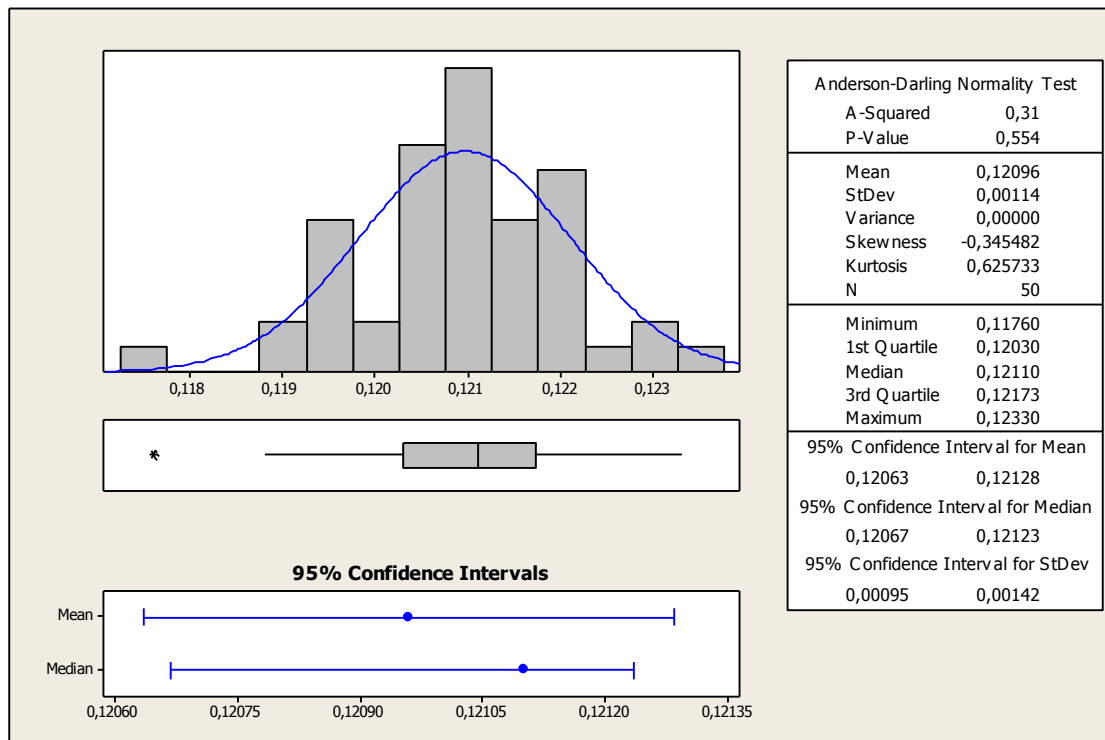
Εικόνα Π.3.33. Χρήση κατά κεφαλή τελικής ενέργειας στον οικιακό τομέα (Σενάριο 3)

### Π.3.3.3. Παραγωγικότητα του ενεργειακού συστήματος

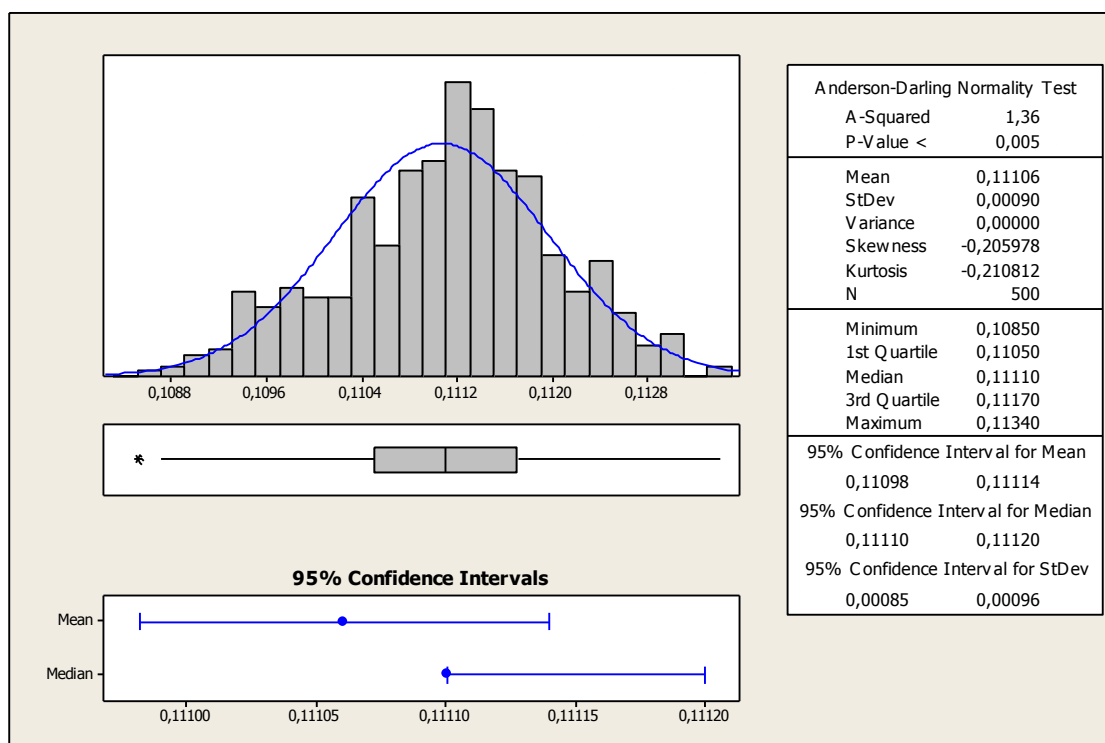
Η ενεργειακή ένταση του συστήματος μειώνεται με την εφαρμογή του σχεδίου δράσης και ως επακόλουθο αυξάνεται η ενεργειακή του απόδοση. Η μείωση αυτή οφείλεται κυρίως στα μέτρα εξοικονόμησης που λαμβάνονται και κατά δεύτερο λόγο στη μεταβολή του ρυθμού ανάπτυξης της χώρας.

Αναλυτικότερα, και συγκριτικά με την κατάσταση πριν την εφαρμογή των μέτρων, η ένταση πρωτογενούς ενέργειας μειώνεται από 0.132 kTOE/€, 0.125 kTOE/€ και 0.148 kTOE/€ για τα Σενάρια 1, 2 και 3, σε  $0.121 \pm 0.001$  kTOE/€,  $0.111 \pm 0.001$  kTOE/€ και  $0.130 \pm 0.001$  kTOE/€ αντίστοιχα.

Αξίζει να σημειωθεί πως είναι ο μόνος δείκτης για τον οποίο το Σενάριο 3 παρουσιάζει τη χειρότερη εξέλιξη. Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη, αν ληφθεί υπόψη και η χρονική στιγμή στην οποία διαμορφώθηκαν τα τρία σενάρια. Το Σενάριο 1, το οποίο δε λαμβάνει υπόψη του την οικονομική κρίση, προβλέπει διαρκή βελτίωση της απόδοσης και της παραγωγικότητας του συστήματος, το Σενάριο 2 ακολουθεί παρόμοια εξέλιξη με μια χρονική υστέρηση τεσσάρων ετών. Αντίθετα, στο Σενάριο 3 τόσο η παραγωγικότητα όσο και η απόδοση διατηρούνται σε σταθερά επίπεδα, παρόμοια με αυτά του έτους βάσης.

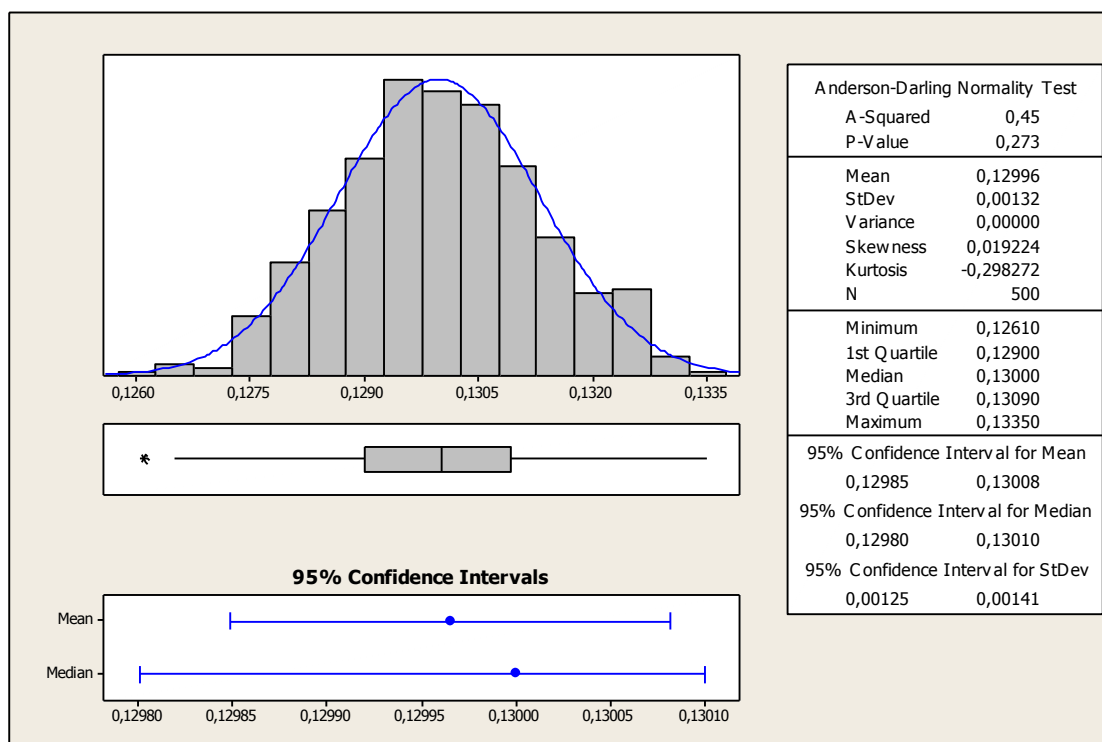


Εικόνα Π.3.34. Παραγωγικότητα ενεργειακού συστήματος (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.35. Παραγωγικότητα ενεργειακού συστήματος (Σενάριο 2)





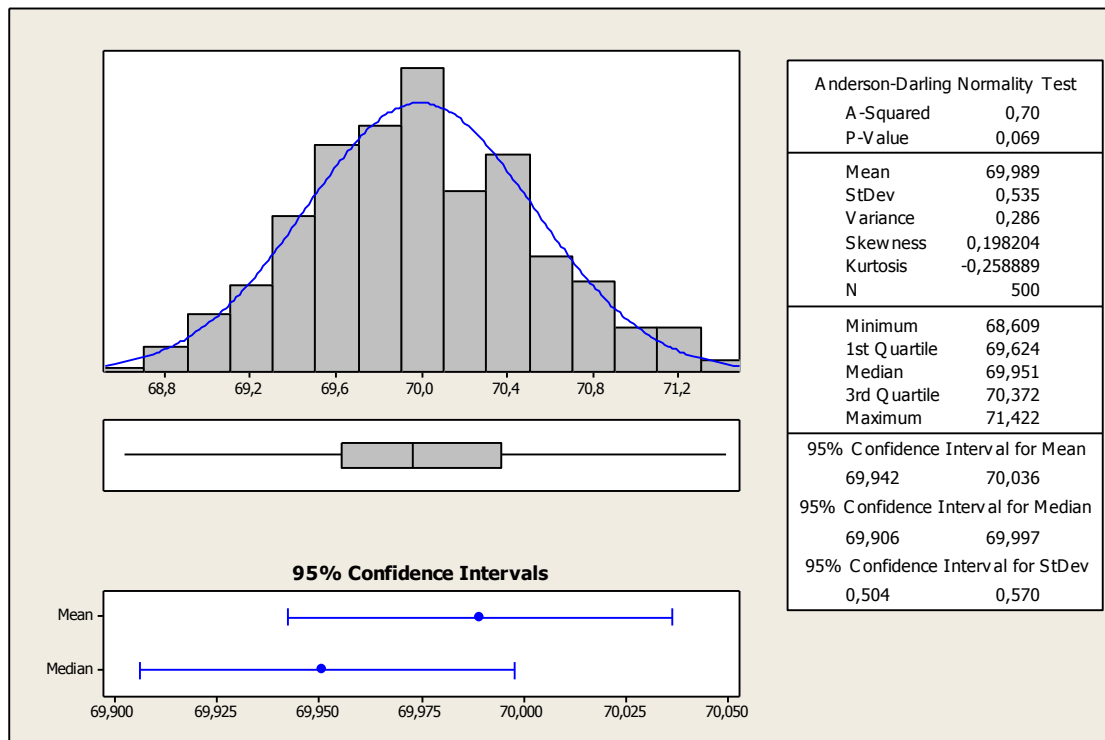
Εικόνα Π.3.36. Παραγωγικότητα ενεργειακού συστήματος (Σενάριο 3)

### Π.3.3.4. Ενεργειακή Εξάρτηση

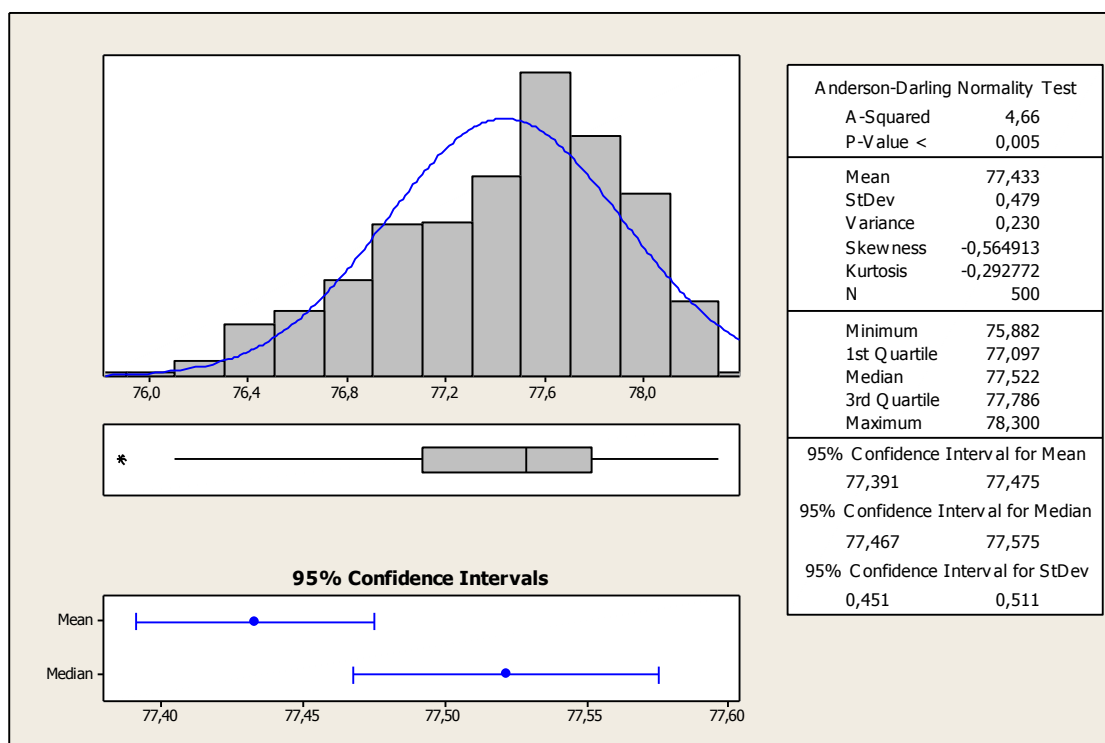
Η ενεργειακή ασφάλεια της χώρας χειροτερεύει εφαρμόζοντας το προτεινόμενο σχέδιο δράσης καθώς ο λόγος των καθαρών εισαγωγών προς τη συνολική παροχή πρωτογενούς ενέργειας αυξάνεται και στα τρία σενάρια. Η αύξηση αυτή είναι αμελητέα στην περίπτωση του Σεναρίου 1 και λίγο μεγαλύτερη στα άλλα δύο.

Αναλυτικότερα, και συγκριτικά με την κατάσταση πριν την εφαρμογή των μέτρων, η ενεργειακή εξάρτηση αυξάνεται από 69.4%, 75.5% και 73.4% για τα Σενάρια 1, 2 και 3, σε  $69.9\% \pm 0.5$ ,  $77.4\% \pm 0.5$  και  $77.2\% \pm 0.5$  αντίστοιχα. Στα Σενάρια 2 και 3 μάλιστα ξεπερνάει και την ιστορικά μέγιστη τιμή που ήταν της τάξης του 76.6%.

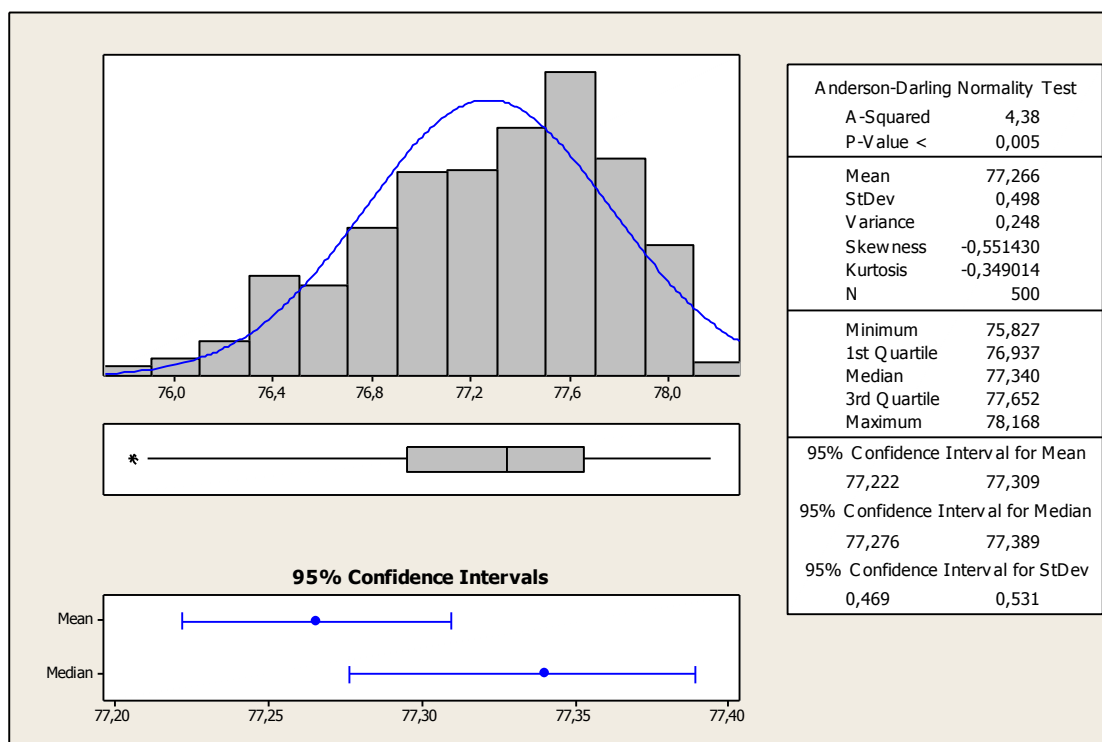
Είναι προφανές ότι η διείσδυση του εισαγόμενου φυσικού αερίου εις βάρος του εγχώριου λιγνίτη, ενώ έχει μια σειρά από πλεονεκτήματα, λειτουργεί αρνητικά ως προς την ενεργειακή ασφάλεια της χώρας. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να γίνει πιο ήπια διείσδυση του φυσικού αερίου στο ενεργειακό σύστημα, ή να αυξηθεί περαιτέρω το μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ηλεκτροπαραγωγή. Το δεύτερο είναι και η καλύτερη λύση καθώς ταυτόχρονα θα επιτευχθεί με μεγαλύτερη βεβαιότητα και ο αντίστοιχος στόχος διείσδυσης.



Εικόνα Π.3.37. Ενεργειακή Εξάρτηση (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.38. Ενεργειακή Εξάρτηση (Σενάριο 2)



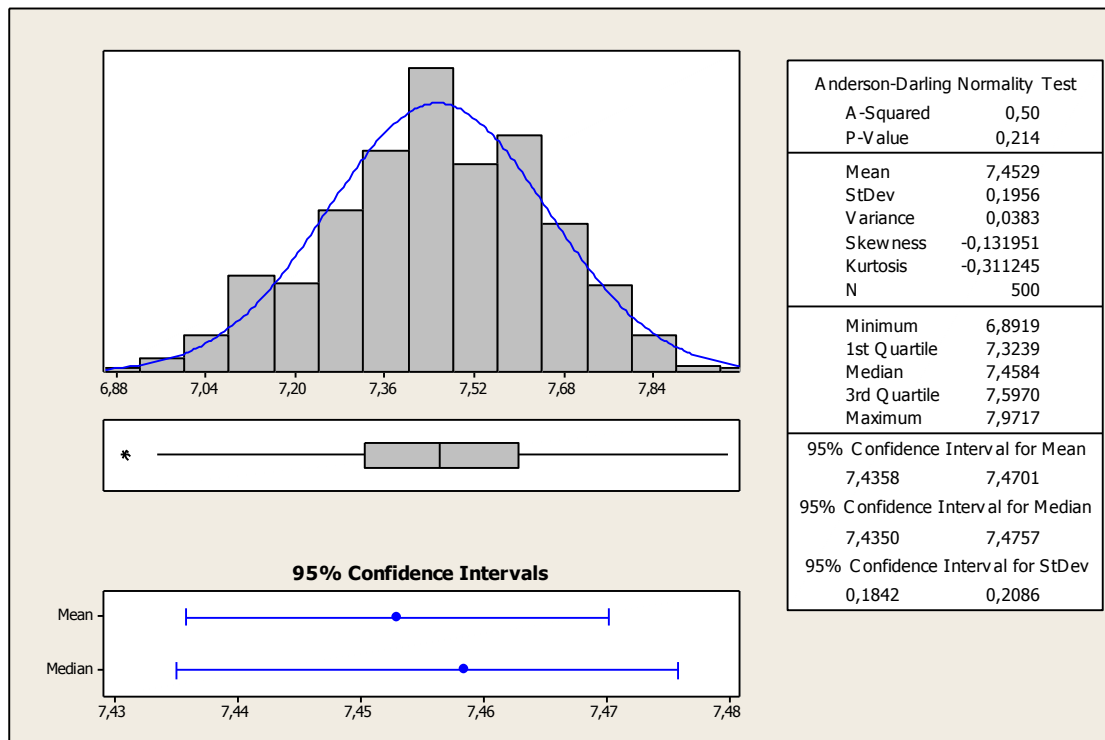
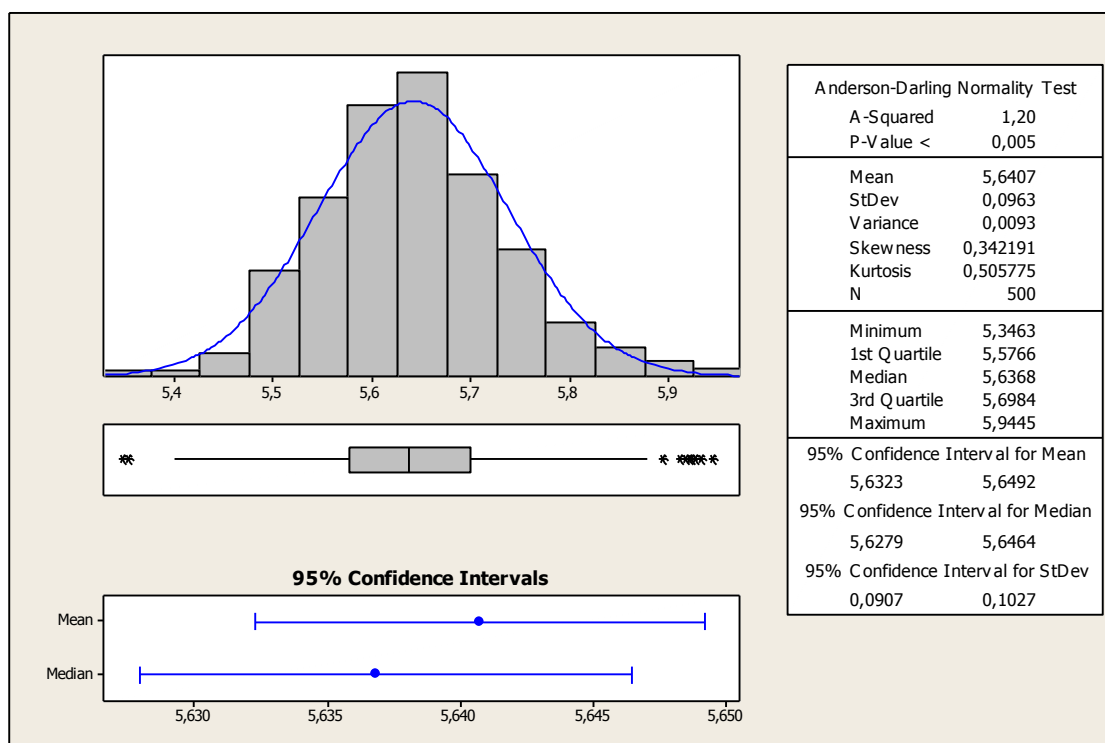
Εικόνα Π.3.39. Ενεργειακή Εξάρτηση (Σενάριο 3)

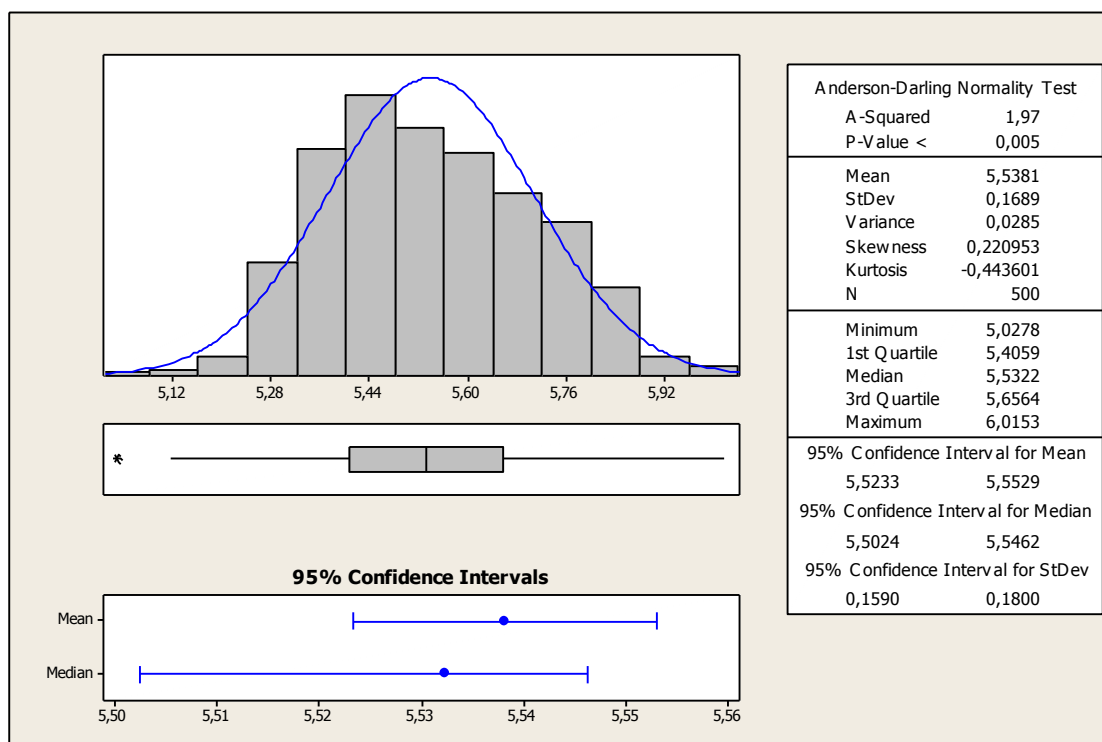
### Π.3.3.5. Εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά κεφαλή

Οι δύο δείκτες που περιγράφουν την περιβαλλοντική συνιστώσα και σχετίζονται με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (κατά κεφαλή εκπομπές, ένταση εκπομπών) παρουσιάζουν θετική συμπεριφορά. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο αν ληφθεί υπόψη η εξέλιξη του στόχου μείωσης των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub>, ο οποίος επιτυγχάνεται και στα τρία σενάρια.

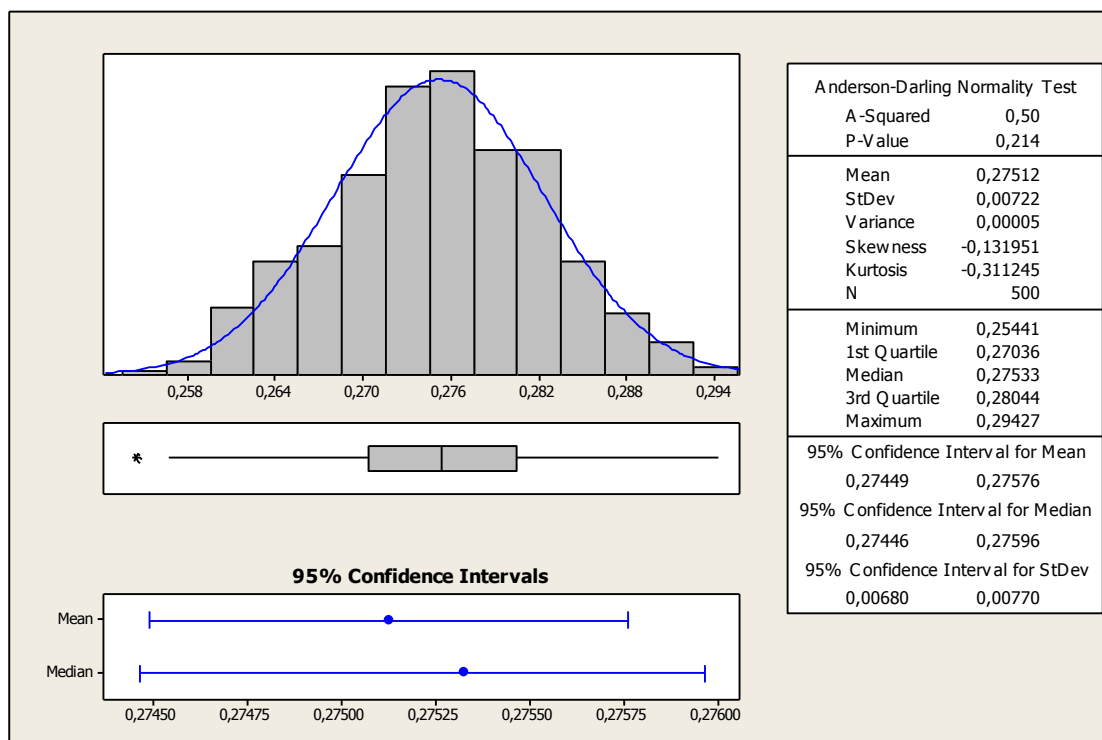
Αναλυτικότερα, και συγκριτικά με την κατάσταση πριν την εφαρμογή των μέτρων, οι κατά κεφαλή εκπομπές CO<sub>2</sub> μειώνονται από 9.44 kg/κάτοικο, 8.14 kg/κάτοικο και 8.12 kg/κάτοικο για τα Σενάρια 1, 2 και 3, σε  $7.45 \pm 0.19$  kg/κάτοικο,  $5.64 \pm 0.10$  kg/κάτοικο και  $5.54 \pm 0.17$  kg/κάτοικο αντίστοιχα. Η τιμή για το Σενάριο 1 είναι παρόμοια με τα επίπεδα των αρχών της δεκαετίας του 1990 ενώ αντίθετα, στα Σενάρια 2 και 3 η μέγιστη τιμή είναι 6.02 kg /κάτοικο που αντιστοιχεί στα επίπεδα των αρχών της δεκαετίας του 1980.

Ομοίως, η ένταση εκπομπών μειώνεται από 0.35 tCO<sub>2</sub>/€, 0.31 tCO<sub>2</sub>/€ και 0.38 tCO<sub>2</sub>/€ για τα Σενάρια 1, 2 και 3, σε  $0.28 \pm 0.01$  tCO<sub>2</sub>/€,  $0.21 \pm 0.03$  tCO<sub>2</sub>/€ και  $0.26 \pm 0.01$  tCO<sub>2</sub>/€ αντίστοιχα. Συνεχίζει, την πτωτική πορεία που έχει ξεκινήσει στις αρχές του 21ου αιώνα και θα φτάσει στην πιο χαμηλή τιμή της περιόδου μελέτης.

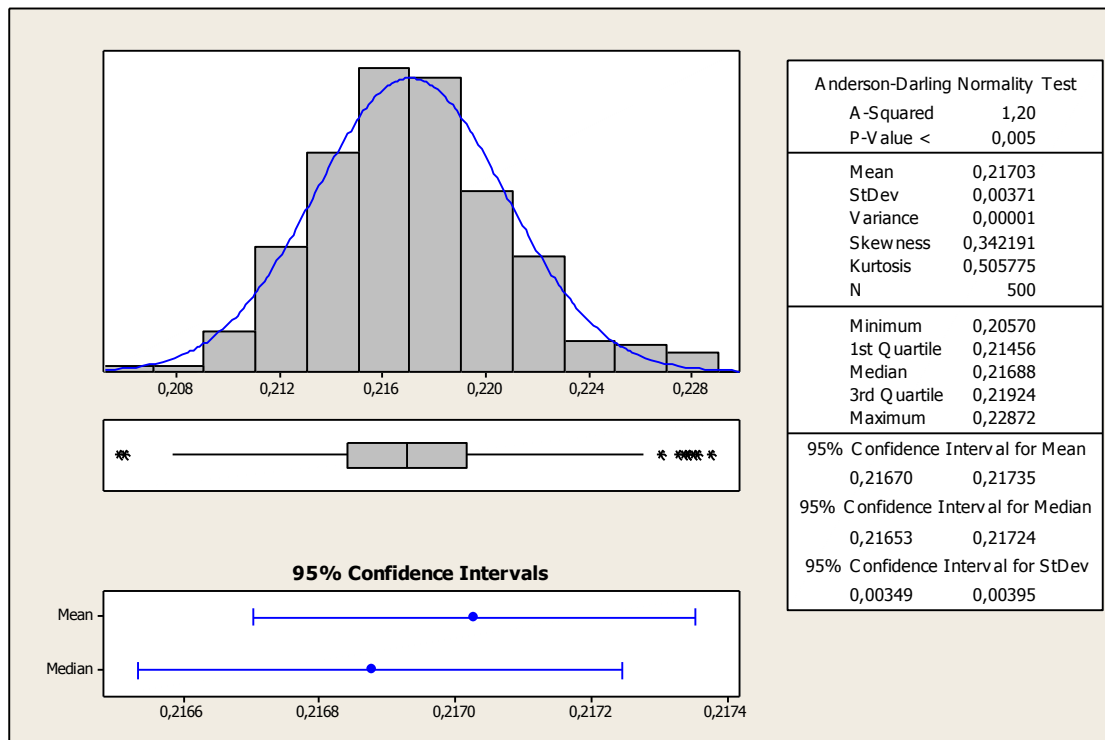
Εικόνα Π.3.40. Εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά κεφαλή (Σενάριο 1)Εικόνα Π.3.41. Εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά κεφαλή (Σενάριο 2)

Εικόνα Π.3.42. Εκπομπές CO<sub>2</sub> κατά κεφαλή (Σενάριο 3)

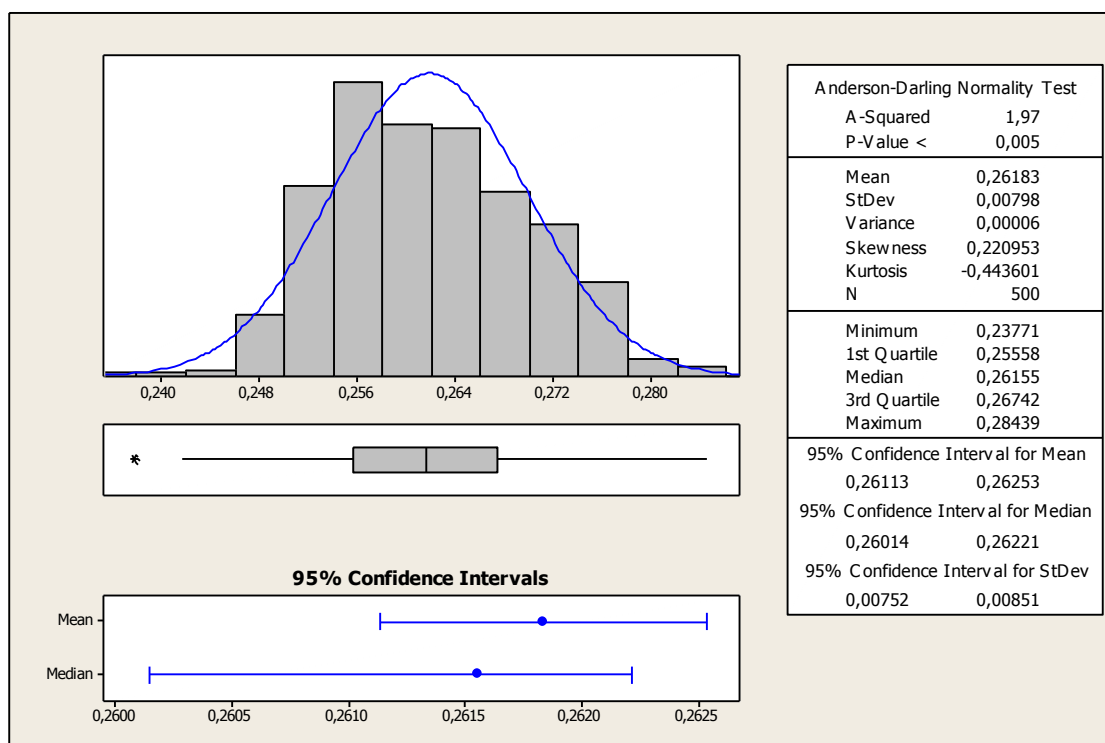
### Π.3.3.6. Ένταση Εκπομπών



Εικόνα Π.3.43. Ένταση Εκπομπών (Σενάριο 1)



Εικόνα Π.3.44. Ένταση Εκπομπών (Σενάριο 2)



Εικόνα Π.3.45. Ένταση Εκπομπών (Σενάριο 3)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4. ΓΛΩΣΣΑΡΙ ΟΡΩΝ

---

Στο τελευταίο παράρτημα συνοψίζονται οι ορισμοί των κυριότερων εννοιών που πραγματεύεται η παρούσα διατριβή.

**Αβεβαιότητα (Uncertainty):** Η έλλειψη βεβαιότητας, η περιορισμένη γνώση για τη μελλοντική εξέλιξη μιας κατάστασης με περισσότερες από μια πιθανές εκβάσεις.

**Βιώσιμη Ανάπτυξη (Sustainable Development):** Ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να συμβιβάζει τις δυνατότητες των μελλοντικών γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες

**Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές (Energy from Renewable Sources):** Περιλαμβάνει την ενέργεια από ανανεώσιμες μη ορυκτές πηγές (ήτοι αιολική, ηλιακή, αεροθερμική, γεωθερμική, υδροθερμική και ενέργεια των ωκεανών, υδροηλεκτρική), από βιομάζα, από τα εκλυόμενα στους χώρος υγειονομικής ταφής αέρια, από τα αέρια που παράγονται σε μονάδες επεξεργασίας λυμάτων και από τα βιοαέρια.

**Ενεργειακός Σχεδιασμός (Energy Planning):** Η διαδικασία διαμόρφωσης στρατηγικών για την ορθολογική και αειφόρο διαχείριση ενός ενεργειακού συστήματος, σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο

**Επικινδυνότητα (Risk):** Μια κατάσταση αβεβαιότητας, όπου κάποια από τα πιθανά αποτελέσματα είναι ανεπιθύμητα ή προκαλούν απώλεια.

**Συνολική Παροχή Πρωτογενούς Ενέργειας (Total Primary Energy Supply, TPES):** Το άθροισμα της παραγόμενης ποσότητας των πρωτογενών πηγών ενέργειας και των εισαγωγών αφαιρώντας τις εξαγωγές και τα αποθέματα των δεξαμενόπλοιων, διορθωμένη με βάση τις μεταβολές των ενεργειακών αποθεμάτων

**Τελική Κατανάλωση Ενέργειας (Total Final Energy Consumption, TFEC):** Το άθροισμα της καταναλισκόμενης ενέργειας από τους τελικούς χρήστες και δεν περιλαμβάνει την κατανάλωση ενέργειας στις διεργασίες μετατροπής ενέργειας ή τις απώλειες μεταφοράς και διανομής.