



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΙΤΛΟΣ

**ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ: Εισαγωγή Κατανεμημένης Παραγωγής
και Εξοικονόμησης Ενέργειας**

Μυρσίνη Σάλτα
Γεωλόγος MSc.

Επιβλέπων καθηγητής
Δίας Χαραλαμπόπουλος

Μυτιλήνη, Δεκέμβριος 2010

Η παρούσα διατριβή αποτελεί τον τρίτο άξονα του ερευνητικού προγράμματος «ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΜΙΚΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ, ΧΩΡΙΚΗ, ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ»

Το παραπάνω ερευνητικό πρόγραμμα, εκπονήθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού Προγράμματος Ενίσχυσης Ερευνητικού Δυναμικού, ΠΕΝΕΔ 2003 και συγχρηματοδοτήθηκε κατά 80% από την Ευρωπαϊκή Ένωση – Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και κατά 20% από την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας (ΓΓΕΤ) – Υπουργείο Ανάπτυξης.

Γ' ΚΟΙΝΟΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ



Περίληψη

Στην παρούσα διατριβή, αναπτύσσεται ένα Δυναμικό Μοντέλο Αναλυτικής Αποδόμησης για την παρακολούθηση και ερμηνεία της μεταβολής ενεργειακών δεικτών λόγω της εισροής καινοτόμων τεχνολογιών στην τελική ενεργειακή χρήση και στην προμήθεια ενέργειας στη βιομηχανία. Το Μοντέλο βασίζεται σε δύο (2) άξονες. Ο πρώτος άξονας αφορά στην ανάπτυξη ενός «από τη βάση προς την κορυφή» μεθοδολογικού πλαισίου, Σύνθεσης και Αναλυτικής Αποδόμησης Ενεργειακών Δεικτών. Με τη χρήση της μεθόδου του *«λόγου της πραγματικής Ειδικής Ενεργειακής Κατανάλωσης προς την Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση αναφοράς»* συνθέτεται ο δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης». Επιπρόσθετα με τη χρήση της μεθόδου του *«Λογαριθμικού Μέσου του Δείκτη Divisia»* αναλύεται η διαμόρφωση της βιομηχανικής ενεργειακής χρήσης. Ο δεύτερος άξονας αφορά στην ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας λόγω της διείσδυσης της Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας στη βιομηχανία. Αναπτύσσονται οι δείκτες «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» και «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω διείσδυσης της συμπαγωγής σ' ένα βιομηχανικό υπο-τομέα σύμφωνα με τα σενάρια *«Αντιστοίχισης Ηλεκτρισμού»* και *«Αντιστοίχισης Θερμότητας»*. Οι παραπάνω δείκτες αναλύονται πλήρως και αναδεικνύονται οι παράμετροι που υπόκεινται των μεταβολών τους. Το Μοντέλο εφαρμόζεται σε επιλεγμένους βιομηχανικούς υπο-τομείς στην Ελλάδα. Η εφαρμογή του πρώτου άξονα πραγματοποιείται για την χρονική περίοδο 1985-2002 στους υπο-τομείς τροφίμων, ποτών & καπνού, σιδήρου & χάλυβα, μη σιδηρούχων μετάλλων, μη μεταλλικών ορυκτών και χαρτοποιίας. Ο δεύτερος άξονας εφαρμόζεται για την χρονική περίοδο 1990-2007 στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτών & καπνού. Από τη εφαρμογή του Μοντέλου προέκυψε ότι ο ευρύτερος τομέας της «βαρειάς» βιομηχανίας στην Ελλάδα προσαρμόζεται στις τεχνολογικές εξελίξεις που αφορούν στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των τελικών ενεργειακών χρήσεων. Αντίθετα, η αντίστοιχη απόδοση των υποτομέων της «ελαφριάς» βιομηχανίας έχει επιδεινωθεί. Η ενεργειακή χρήση στους εξεταζόμενους υπο-τομείς διαμορφώνεται από τις μεταβολές της παραγωγικότητας και της απόδοσης των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών. Αναφορικά με την προμήθεια ενέργειας, η εξοικονομούμενη πρωτογενής ενέργεια λόγω συμπαγωγής, εξαρτάται από τις θερμοδυναμικές αποδόσεις των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών, τη σχέση του λόγου «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» των τεχνολογιών συμπαγωγής με τον λόγο «καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλι-

σκόμενη θερμότητα» του εκάστοτε υπο-τομέα, και του τρόπου διάθεσης της πλεονάζουσας ενέργειας από συμπαραγωγή. Επιπρόσθετα, η χρήση διαφορετικών τεχνολογιών, εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης της πλεονάζουσας ενέργειας, η ισχύουσα νομοθεσία και ο μέσος ρυθμός μεταβολής των ενεργειακών αναγκών ενός βιομηχανικού υπο-τομέα μπορούν να ενσωματωθούν στο Μοντέλο, καθιστώντας το ένα ολοκληρωμένο και χρηστικό εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού.

Abstract

A Dynamic Decomposition Analysis Model is developed for monitoring energy indicators changes due to integration of innovative technologies both at the demand and the supply side of the industrial sector. The Model is based on two (2) axes. According to the first axis, a ‘bottom–up’ methodological framework was developed and applied for the period 1985-2002, to selected industrial sub-sectors in Greece namely, food, beverages & tobacco, iron & steel, non ferrous metals, non metallic minerals and paper. Disaggregate physical data were aggregated according to their *Specific Energy Consumption* values and ‘Physical Energy Efficiency’ indicators were estimated. The *Logarithmic Mean Divisia Index* method was also used and the effects of the production, structure and energy efficiency to changes in sub-sectoral industrial energy use were further assessed. It was found that significant efficiency improvements refer to “heavy” industry; “light” industry needs further attention by energy policy to modernize its production plants and improve its efficiency. Sub-sectoral energy use is mainly driven by production output and energy efficiency changes. With reference to the second axis, a methodology for the estimation of the primary energy savings of an industrial (sub)-sector due to Combined Heat and Power (CHP) was developed. A ‘Primary Energy Savings’ indicator within a (sub)-sector and a ‘Total Primary Energy Savings’ indicator were developed which are related with the actual energy use of a (sub)-sector and the way of disposal of the excess CHP energy produced. The methodology was applied in the food, beverages & tobacco sub-sector in Greece according to the ‘power-match’ and the ‘thermal-match’ CHP sizing scenarios; the developed indicators were estimated and fully explained. It was found that the ‘Primary Energy Savings’ indicator of a sub-sector is determined by the efficiencies of the relevant technologies, and the interrelation of the ‘power to heat’ ratio of the CHP technology used and the ‘power-to-heat’ ratio of the sub-sector examined; the ‘Total Primary Energy Savings’ indicator is determined by the efficiencies of the relevant technologies

and the percentage of the CHP energy exported from the sub-sector. Additionally, alternative CHP technologies, ways of disposal of excess CHP energy, legislation restrictions and the average rate of energy consumption change of a sub-sector, can be easily incorporated to the model and it can be utilized for optimum CHP planning.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ,
τον καθηγητή μου κ. Δία Χαραλαμπίδου και το Δρ.
κ. Ηρακλή Πολατίδη για την επίβλεψή τους και την υ-
ποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της
διατριβής.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	17
2.1. Ενεργειακοί δείκτες. Μεθοδολογικές προσεγγίσεις για το σχηματισμό και την ερμηνεία ενεργειακών δεικτών.....	17
2.1.1. Βιομηχανική ενεργειακή χρήση και απόδοση.....	21
2.1.2. Μεθοδολογίες Σύνθεσης Δεικτών.....	25
2.1.3. Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών.....	29
2.1.4. Τάση της ενεργειακής απόδοσης και χρήσης στη βιομηχανία σε διεθνές επίπεδο και στη Ελλάδα.....	36
2.2. Κατανεμημένη Παραγωγή.....	39
2.2.1. Διείσδυση της Κατανεμημένης Παραγωγής στο ενεργειακό σύστημα.....	40
2.2.1.1. Οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Κατανεμημένης Παραγωγής....	43
2.2.1.2. Ρυθμιστικό πλαίσιο σχετικά με την διείσδυση της ΚΠ. Τρέχουσες εξελίξεις και μελλοντικές προοπτικές.....	44
2.2.2. Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και θερμότητας.....	46
2.2.2.1. Η διείσδυση της Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας στο ενεργειακό σύστημα.....	48
2.2.2.2. Ερευνητικό πεδίο για την Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας.....	50
2.3. Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα.....	56
2.3.1. Ενεργειακή κατανάλωση και παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς στην Ελλάδα.....	59
2.3.1.1. Ελληνικός βιομηχανικός τομέας. Οικονομικές απολαβές, ενεργειακή κατανάλωση και ΣΗΘ.....	67
2.3.2. Πλαίσιο και στόχοι ενεργειακής πολιτικής.....	74
2.4. Συμπεράσματα.....	75
3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	78
3.1. Εισαγωγή.....	78
3.2. Ανάπτυξη του πρώτου Άξονα του Μοντέλου: Σύνθεση του Δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης και Αναλυτική Αποδόμηση του Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης.....	79
3.2.1. Περιγραφή μεθοδολογίας.....	82
3.3. Ανάπτυξη του δεύτερου Άξονα του Μοντέλου: Σύνθεση Δεικτών Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας λόγω ΣΗΘ.....	86
3.3.1. Περιγραφή μεθοδολογίας.....	89
4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	94
4.1. Εισαγωγή.....	94
4.1.1. Εφαρμογή του πρώτου Άξονα του Μοντέλου: Περιγραφή των υπο-τομέων εφαρμογής και ανάλυση των δεδομένων.....	96
4.1.2. Εφαρμογή δεύτερου Άξονα του Μοντέλου: Περιγραφή υπο-τομέα εφαρμογής, ανάλυση δεδομένων, ανάπτυξη σεναρίων και παραδοχές.....	108
5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	118
5.1. Εισαγωγή.....	118
5.2. Σύνθεση του Δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης και Αναλυτική Αποδόμηση του Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης: Αποτελέσματα.....	118
5.2.1. Παρουσίαση και ανάλυση της μεταβολής του Δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης στους βιομηχανικούς υπο-τομείς της εφαρμογής.....	120
5.2.1.1. Τρόφιμα, ποτά & καπνός.....	121

5.2.1.2. Σίδηρος & χάλυβας	123
5.2.1.3. Μη σιδηρούχα μέταλλα	125
5.2.1.4. Μη μεταλλικά ορυκτά	127
5.2.1.5. Χαρτοποιία	129
5.2.2. Παρουσίαση και ανάλυση της μεταβολής του Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης στους βιομηχανικούς υπο-τομείς εφαρμογής	132
5.2.2.1. Σίδηρος & χάλυβας	134
5.2.2.2. Μη σιδηρούχα μέταλλα	135
5.2.2.3. Μη μεταλλικά ορυκτά	135
5.2.2.4. Χαρτοποιία	135
5.2.3. Ανάλυση Ευαισθησίας	136
5.2.4. Σύγκριση των δεικτών Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης και Ενεργειακής Έντασης	138
5.2.5. Καταλληλότητα εφαρμογής του Μοντέλου για την παρακολούθηση της μεταβολής Ενεργειακών Δεικτών	140
5.2.6. Ζητήματα ενεργειακής πολιτικής	144
5.3. Σύνθεση Δεικτών Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας λόγω ΣΗΘ: Αποτελέσματα	146
5.3.1. Παρουσίαση και ανάλυση της μεταβολής του Δείκτη «Πρωτογενούς Εξοικονόμησης Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτών & καπνού	147
5.3.2. Παρουσίαση και ανάλυση του Δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ	153
5.3.3. Ανάλυση Ευαισθησίας	155
5.3.4. Καταλληλότητα εφαρμογής του Μοντέλου στη βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού της βιομηχανίας με ΣΗΘ	160
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	167
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	173
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	184
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	185
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ	188
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙV	193

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1 Η πυραμίδα των ενεργειακών δεικτών κατά Shipper L., et al., 1997	19
Σχήμα 2.2 Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα	58
Σχήμα 3.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο Σύνθεσης και Αναλυτικής Αποδόμησης Ενεργειακών Δεικτών.	81
Σχήμα 3.2 Όρια του μεθοδολογικού πλαισίου και ενεργειακές εισροές.	88

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1 Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών / συστημάτων ΣΗΘ [EUDOCOGEN project, 2001]	47
Πίνακας 2.2 Βιομηχανικοί υπο-τομείς και διεθνής κωδικός κάθε υπο-τομέα (Isic Rev. 3)	67
Πίνακας 2.3 Εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ στον Ελληνικό βιομηχανικό τομέα: παραγωγή ηλεκτρισμού από ΣΗΘ για το 1991 [Haralambopoulos D., 1993, Theofylaktos Ch., 2007]	71

Πίνακας 4.1 Δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή και οι αντίστοιχες πηγές τους	99
Πίνακας 4.2 Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης για τους εξεταζόμενους υπο-τομείς στο έτος αναφοράς 1990.....	101
Πίνακας 4.3 Δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης, λόγος καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα και μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ηλεκτρισμού και θερμότητας για τον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού	111
Πίνακας 4.4 Αποδόσεις και συντελεστές μετατροπής «αναφοράς». Δεδομένα & εκτιμήσεις	117
Πίνακας 5.1 Ποσοστό Κάλυψης πραγματικής Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας για το 1990 και το 1995.....	137
Πίνακας 5.2 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για την περίοδο 1985-2002, στα έτη «αναφοράς» 1990 και 1995.....	137
Πίνακας 5.3 Συνολική μεταβολή της Ενεργειακής Απόδοσης από το 1985 έως το 2002, εκτιμώμενες από την μέθοδο Σύνθεσης Δεικτών και την LMDI.	142
Πίνακας 5.4 Ετήσιες μεταβολές της Ενεργειακής Απόδοσης (%) από το 1985 έως το 2002 για την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων εκτιμώμενες από την μέθοδο Σύνθεσης Δεικτών και την LMDI.	143
Πίνακας 5.5 Μεταβολή του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού και οι αντίστοιχες μεταβολές των παραμέτρων που υπόκεινται αυτού 1991 έως το 2007.	151
Πίνακας 5.6 Μεταβολή του δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω διείσδυσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού και οι αντίστοιχες μεταβολές των παραμέτρων που υπόκεινται αυτού από το 1991 έως το 2007.....	155
Πίνακας 5.7 Δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, υπό σταθερό συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρισμό.....	156
Πίνακας 5.8 Μεταβολή του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας», όταν δεν εισάγεται ούτε παράγεται επιπλέον ενέργεια (R ή $R' = 0$) από το 1991 έως το 2007.....	158
Πίνακας 5.9 Δείκτες «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, και «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» από το 2007 έως το 2031.	165
Πίνακας 5.10 Δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού από το 2007 έως το 2031.....	165

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 2.1 Ενεργειακή κατανάλωση των τομέων κατανάλωσης του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος.	60
Διάγραμμα 2.2 Ποσοστό συμμετοχής του κάθε καταναλωτικού τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση για το 1980.....	60
Διάγραμμα 2.3 Ποσοστό συμμετοχής του κάθε καταναλωτικού τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση για το 1990.....	61
Διάγραμμα 2.4 Ποσοστό συμμετοχής του κάθε καταναλωτικού τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση για το 2007.....	61

Διάγραμμα 2.5 Συνεισφορά του παραγόμενου ηλεκτρισμού από τη ΔΕΗ και τους αυτο-παραγωγούς στη συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς το 1974.....	64
Διάγραμμα 2.6 Συνεισφορά του παραγόμενου ηλεκτρισμού από τη ΔΕΗ και τους αυτο-παραγωγούς στη συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς το 1990.....	64
Διάγραμμα 2.7 Συνεισφορά του παραγόμενου ηλεκτρισμού από τη ΔΕΗ και τους αυτο-παραγωγούς στη συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς το 2007.....	65
Διάγραμμα 2.8 Μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου στους θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ για την χρονική περίοδο 1960 – 2007.	65
Διάγραμμα 2.9 Μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου στους σταθμούς ΣΗΘ αυτό-παραγωγών, από το 1974 έως το 2005.....	66
Διάγραμμα 2.10 Συνεισφορά του κάθε υπο-τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση της βιομηχανίας από το 1971 έως 2007.	68
Διάγραμμα 2.11 Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο για το σύνολο του βιομηχανικού τομέα από το 1971 έως το 2007.....	69
Διάγραμμα 2.12 Συνεισφορά της προστιθέμενης αξίας του κάθε υπο-τομέα στη συνολική προστιθέμενη αξία του βιομηχανικού τομέα από το 1985 έως το 2003.....	70
Διάγραμμα 2.13 Συνεισφορά του ηλεκτρισμού παραγόμενου από ΣΗΘ στην συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού για κάθε αναφερόμενο βιομηχανικό υπο-τομέα για το 1991.....	72
Διάγραμμα 2.14 Ποσοστιαία συμμετοχή της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ του κάθε υπο-τομέα στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ της βιομηχανίας για το 1991.	73
Διάγραμμα 2.15 Υφιστάμενη ποσοστιαία συμμετοχή της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ του κάθε υπο-τομέα στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ της βιομηχανίας.....	73
Διάγραμμα 4.1 Προστιθέμενη αξία των εξεταζόμενων υπο-τομέων σε σταθερές τιμές (Ευρώ 1995).....	97
Διάγραμμα 4.2 Συνεισφορά του κάθε υπο-τομέα στο σύνολο της προστιθέμενης αξίας των εξεταζόμενων υπο-τομέων το 1990.	98
Διάγραμμα 4.3 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού.	103
Διάγραμμα 4.4 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού.	103
Διάγραμμα 4.5 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα του σιδήρου & χάλυβα.....	104
Διάγραμμα 4.6 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα του σιδήρου & χάλυβα.....	104
Διάγραμμα 4.7 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των μη σιδηρούχων μετάλλων.....	105
Διάγραμμα 4.8 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών.	106
Διάγραμμα 4.9 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών.	106
Διάγραμμα 4.10 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα της χαρτοποιίας.....	107
Διάγραμμα 4.11 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα της χαρτοποιίας.....	107

Διάγραμμα 4.12 Λόγος καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού για την χρονική περίοδο 1991-2007.	112
Διάγραμμα 5.1 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, για την περίοδο 1985-2002.	121
Διάγραμμα 5.2 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας με τις μεταβολές των δεικτών φυσικής παραγωγής και οικονομικών απολαβών του υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού για την περίοδο 1985-2002.	122
Διάγραμμα 5.3 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας στον υπο-τομέα σιδήρου & χάλυβα, για την περίοδο 1985-2002.	124
Διάγραμμα 5.4 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας με τη μεταβολή του δείκτη φυσικής παραγωγής του υπο-τομέα σιδήρου & χάλυβα, για την περίοδο 1985-2002.	125
Διάγραμμα 5.5 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, στον υπο-τομέα μη σιδηρούχων μετάλλων, για την περίοδο 1990-2002.	126
Διάγραμμα 5.6 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού με τις μεταβολές του δείκτη φυσικής παραγωγής του υπο-τομέα μη σιδηρούχων μετάλλων, για την περίοδο 1990-2002.	127
Διάγραμμα 5.7 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας στον υπο-τομέα μη μεταλλικών ορυκτών, για την περίοδο 1985-2002.	128
Διάγραμμα 5.8 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας με τις μεταβολές των δεικτών φυσικής παραγωγής και οικονομικών απολαβών του υπο-τομέα μη μεταλλικών ορυκτών, για την περίοδο 1985-2002.	129
Διάγραμμα 5.9 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας στον υπο-τομέα χαρτοποιίας, για την περίοδο 1985-2002.	130
Διάγραμμα 5.10 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας με τις μεταβολές των δεικτών φυσικής παραγωγής και οικονομικών απολαβών του υπο-τομέα χαρτοποιίας, για την περίοδο 1985-2002.	131
Διάγραμμα 5.11 Μεταβολή της ενεργειακή κατανάλωσης, ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα, από το 1985 έως το 2002.	132
Διάγραμμα 5.12 Συνεισφορά του αποτελέσματος της μεταβολής της παραγωγικότητας στη μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας, ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα, από το 1985 έως το 2002.	133
Διάγραμμα 5.13 Συνεισφορά του αποτελέσματος των δομικών μεταβολών στη μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας, ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα, από το 1985 έως το 2002.	133
Διάγραμμα 5.14 Συνεισφορά του αποτελέσματος της μεταβολής της ενεργειακής απόδοσης στη μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας, ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα, από το 1985 έως το 2002.	134
Διάγραμμα 5.15 Σύγκριση της «Ενεργειακής Έντασης» και της «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού, από το 1985 έως το 2002.	139

Διάγραμμα 5.16 Σύγκριση της «Ενεργειακής Έντασης» και της «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών, από το 1985 έως το 2002.	139
Διάγραμμα 5.17 Σύγκριση της «Ενεργειακής Έντασης» και της «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στον υπο-τομέα της χαρτοποιίας, από το 1985 έως το 2002.	140
Διάγραμμα 5.18 Δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, από το 1991 έως το 2007, για τα σενάρια « <i>power match</i> » και « <i>thermal match</i> ».	150
Διάγραμμα 5.19 Δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» και βέλτιστη τιμή του δείκτη, λόγω διείσδυσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού σύμφωνα με το « <i>power match</i> » σενάριο.	159
Διάγραμμα 5.20 Δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» και βέλτιστη τιμή του δείκτη, λόγω διείσδυσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού σύμφωνα με το « <i>thermal match</i> » σενάριο.	159

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα έρευνα εντάσσεται στο ευρύτερο πλαίσιο της Ενεργειακής Οικονομίας και μάλιστα στον τομέα ανάλυσης των ενεργειακών και οικονομικών στοιχείων. Στην Ενεργειακή Οικονομία, ερευνώνται οι επιπτώσεις των σχετικών με την ενεργειακή χρήση δομικών αλλαγών, όπως για παράδειγμα η εισροή καινοτόμων τεχνολογιών στην ηλεκτροπαραγωγή, σε (υπο)-τομείς ενός κοινωνικο-οικονομικού συστήματος ή/και στο σύνολο αυτού. Οι παραπάνω δομικές αλλαγές, επιβάλλονται μέσω της ενεργειακής πολιτικής, με στόχο την διασφάλιση της βιωσιμότητας του ενεργειακού αλλά και του ευρύτερου κοινωνικο-οικονομικού συστήματος. Με την αποτίμηση και την παρακολούθηση του περιβαλλοντικού, κοινωνικού και οικονομικού αποτελέσματος των δομικών αλλαγών του ενεργειακού τομέα αξιολογείται η αποτελεσματικότητα των πολιτικών του παρελθόντος και βελτιώνονται οι μελλοντικές δράσεις.

Ανάμεσα στα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιεί η Ενεργειακή Οικονομία στην παραπάνω διαδικασία (αλλά και ευρύτερα οι κοινωνικές επιστήμες), είναι οι μέθοδοι της Αναλυτικής Αποδόμησης (Decomposition Analysis). Οι βασικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις της Αναλυτικής Αποδόμησης είναι δύο: α) η Δομική Αναλυτική Αποδόμηση (Structural Decomposition Analysis) και β) η Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών (Index Decomposition Analysis).

Η Δομική Αναλυτική Αποδόμηση, διερευνά τις επιπτώσεις της μεταβολής των εισροών-εκροών ανάμεσα στους τομείς της οικονομίας στο συνολικό της αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα ποσοτικοποιεί το αποτέλεσμα της μεταβολής της δραστηριότητας (εκροές) ενός τομέα ως αποτέλεσμα της μεταβολής της ζήτησης (εισροές) κάποιου άλλου τομέα, στη συνολική δραστηριότητα του κοινωνικο-οικονομικού συστήματος [Alcantara V., Duarte R., 2004].

Η Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών, μελετά τη μεταβολή των εξελίξεων σύνθετων δεικτών, ενδεικτικών της πορείας ενός τομέα ή/και του συνόλου της οικονομίας, όπως εκφράζεται στις ενδο-τομεακές (intra-sectoral) ή δια-τομεακές (inter-sectoral) μεταβολές επιμέρους δεικτών, και ποσοτικοποιεί τη συνεισφορά αυτών των μεταβολών στη μεταβολή του σύνθετου δείκτη [Hoekstra R., Van der Berg J., 2003].

Οι δύο παραπάνω μεθοδολογικές προσεγγίσεις αναπτύχθηκαν ξεχωριστά και εφαρμόζονται με συγκεκριμένες μαθηματικές τεχνικές ανάλογα με το σκοπό της ανάλυσης και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Και οι δύο προσεγγίσεις όμως, προϋποθέτουν την χρήση κατάλληλα ιεραρχημένων δεικτών [Albrecht J., et al., 2002]. Επι-

πρόσθετα, οι χρησιμοποιούμενοι δείκτες θα πρέπει να εκφράζουν με ακρίβεια τις διαστάσεις της βιωσιμότητας και να είναι εμφανής η αλληλεξάρτηση και η σημασία τους σε θέματα πολιτικής [Valentine A, Spangenberg H.J., 2000].

Οι δείκτες είναι τα εργαλεία με τα οποία οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών ενός συστήματος (δηλ. τα δεδομένα), μετατρέπονται σε παραμέτρους οι οποίες αποδίδουν ποσοτικά τις συστημικές λειτουργίες. Με την παρακολούθηση και την αποτίμηση των μεταβολών των δεικτών, επιτυγχάνεται τελικά η κατανόηση του συστήματος. Η χρήση των δεικτών πρωτοεμφανίστηκε τη δεκαετία του '30 στο πεδίο των οικονομικών επιστημών (π.χ. δείκτες για την ανάπτυξη, την απασχόληση, τον πληθωρισμό κτλ.), αλλά η ουσιαστική χρήση του όρου έχει ξεκινήσει από τη δεκαετία του '60 [Godin B., 2002]. Η βιωσιμότητα, που ορίζεται «ως η δυνατότητα ικανοποίησης των αναγκών του παρόντος, δίχως να υπονομεύεται η δυνατότητα των επερχόμενων γενεών να ικανοποιήσουν τις μελλοντικές τους ανάγκες», και αποσκοπεί στην οικονομική ανάπτυξη, και στην προστασία του περιβάλλοντος, στη διατήρηση των πόρων και στη διασφάλιση της κοινωνικής ισότητας, μπορεί να εκφραστεί με τη χρήση δεικτών [Brundtland Report, 1987]. Με αυτούς επιχειρείται η αποτίμηση των τριών διαστάσεων της βιωσιμότητας, δηλαδή περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική.

Για τον καθορισμό αυτών των δεικτών, πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν τα ακόλουθα [Geiz D., et al., 1998]:

- Τα υπάρχοντα δεδομένα, ποσοτικά ή ποιοτικά και η αξιοπιστία τους
- Οι διαστάσεις της βιωσιμότητας.
- Η ορθή αποτύπωση του συστήματος και η αξιολόγηση των τάσεων.
- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του συστήματος. Αυτός περιλαμβάνει για παράδειγμα την ελαχιστοποίηση του κόστους και της χρήσης των πόρων, κατάλληλες κυβερνητικές ρυθμίσεις για την εξασφάλιση των οικονομικών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος, την ασφάλεια κ.ά.
- Η χρήση της σύγχρονης γνώσης (state of the art) ώστε να κατοχυρώνεται η επιβίωση του συστήματος.
- Η συνολική στρατηγική, δηλ. το πλαίσιο δράσεων για την σταδιακή επίλυση των προβλημάτων και ελαχιστοποίηση των μελλοντικών επιπτώσεων.

Αναφορικά με τον ενεργειακό σχεδιασμό, και εν όψει των σημερινών περιβαλλοντικών ζητημάτων, της διαρκούς αύξησης των ενεργειακών αναγκών και της σταδιακής απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τρέχον πλέον ζήτημα αποτελεί ο σχεδιασμός ενός νέου ενεργειακού συστήματος που θα βασίζεται στην Καταμεμη-

μένη Παραγωγή¹ (Distributed Generation) [Pepermans et al., 2005]. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σήμερα, οι μονάδες Κατανεμημένης Παραγωγής κατέχουν μικρό μόνο ποσοστό της αγοράς ηλεκτρισμού.

Στην παρούσα διατριβή, στόχος είναι η ανάπτυξη ενός **Δυναμικού Μοντέλου Αναλυτικής Αποδόμησης** που θα αποτιμά το αποτέλεσμα των δομικών αλλαγών του ενεργειακού συστήματος, και μάλιστα αυτών που σχετίζονται με την ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση ενέργειας, στην εξέλιξη σύνθετων ενεργειακών δεικτών της Ελληνικής βιομηχανίας. Το Μοντέλο αξιολογεί το αποτέλεσμα της εισροής καινοτόμων τεχνολογιών στην τελική ενεργειακή χρήση και στην προμήθεια ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα.

Δευτερεύοντες στόχοι της διατριβής αποτελούν:

- Ο σχηματισμός κατάλληλων δεικτών για την ακριβέστερη αποτίμηση της ορθολογικής χρήσης και της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας στην βιομηχανία.
- Η αξιολόγηση των σχετικών με την χρήση και προμήθεια ενέργειας ρυθμίσεων ενεργειακής πολιτικής.
- Η βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού που θα έχει ως βασική συνιστώσα την Κατανεμημένη Παραγωγή ενέργειας.

Το Μοντέλο βασίζεται σε δύο (2) άξονες:

Ο πρώτος άξονας αφορά στην ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου, για τον σχηματισμό ενός σύνθετου δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης», με τον οποίο αποτιμάται η εξέλιξη της αποδοτικότητας των τελικών ενεργειακών χρήσεων στην βιομηχανία. Επιπρόσθετα, ποσοτικοποιείται η συνεισφορά της μεταβολής του δείκτη στην διαμόρφωση της ενεργειακής χρήσης στην Ελληνική βιομηχανία, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της παραγωγικής δραστηριότητας και της όλης δομής του τομέα.

Ο δεύτερος άξονας αφορά στην ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας λόγω της διείσδυσης της Κατανεμημένης Παραγωγής και συγκεκριμένα της Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας στη βιομηχανία. Αναπτύσσονται δύο σύνθετοι δείκτες, με τους οποίους αποτιμάται η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας στο βιομηχανικού τομέα και στο σύνολο των τομέων της οικονομίας. Επιπρόσθετα εξετάζεται το ενδεχόμενο της χρη-

¹ Κατανεμημένη Παραγωγή είναι η μικρής κλίμακας, αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρισμού. Συμπεριλαμβάνει πλήθος τεχνολογιών, με χαρακτηριστικά διαφορετικής λειτουργίας όπως εμβολοφόροι κινητήρες ντήζελ ή αερίου, κυψέλες καυσίμων, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπααραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας [Dondi et a., 2002].

σιμοποίησης, του εν λόγω πλαισίου στη βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού με Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας.

Η διάρθρωση των κεφαλαίων της διατριβής έχει ως ακολούθως:

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που αφορά:

- Στις μεθοδολογικές προσεγγίσεις για τον σχηματισμό και την ερμηνεία των ενεργειακών δεικτών.
- Στην ανάλυση της ενεργειακής χρήσης και απόδοσης στη βιομηχανία και την παρουσίαση των συγκεκριμένων μεθόδων με τις οποίες αυτή πραγματοποιείται (Συνάθροιση Δεικτών και Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών).
- Στην Κατανεμημένη Παραγωγή και στα βασικά ζητήματα που προωθούν ή αναστέλλουν την προοπτική της διεύθυνσής της στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα, υπό το πρίσμα της σύγχρονης ενεργειακής πολιτικής και της απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού.
- Στη Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, την έως τώρα ενσωμάτωση της στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα, και τα βασικά ερευνητικά πεδία αναφορικά μ' αυτήν.
- Στην παρουσίαση του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος, και την εξέλιξη των ενεργειακών μεγεθών τόσο στο σύνολό του όσο και στον βιομηχανικό τομέα. Επιπρόσθετα παρουσιάζεται το πλαίσιο και οι στόχοι της εθνικής ενεργειακής πολιτικής.

Στο Κεφάλαιο 3, αναπτύσσεται το Δυναμικό Μοντέλο Αναλυτικής Αποδόμησης σύνθετων ενεργειακών δεικτών και παρουσιάζονται αναλυτικά τα επιμέρους στοιχεία και οι αλληλεπιδράσεις τους.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η εφαρμογή του Μοντέλου σε συγκεκριμένους υπο-τομείς της Ελληνικής βιομηχανίας για τους δύο προαναφερθέντες άξονες ανάλυσης:

Α). Ο δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» και η συνεισφορά του στη διαμόρφωση της ενεργειακής κατανάλωσης εκτιμώνται για την χρονική περίοδο 1985-2002, στους υπο-τομείς:

- Τροφίμων, ποτών & καπνού
- Σιδήρου & χάλυβα
- Μη σιδηρούχων μετάλλων

- Μη μεταλλικών ορυκτών
- Χαρτοποιίας

B). Οι δείκτες «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στο επίπεδο της βιομηχανίας και στο σύνολο των τομέων της οικονομίας λόγω διεύθυνσης της Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, εκτιμώνται για την χρονική περίοδο 1991-2007 στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτών & καπνού.

Ακολουθεί στο Κεφάλαιο 5 η παρουσίαση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων, με τις αντίστοιχες αναλύσεις ευαισθησίας, την συγκριτική αξιολόγηση των χρησιμοποιούμενων μεθόδων, την αξιολόγηση της χρηστικότητας και λειτουργικότητας του Μοντέλου και την ανάδειξη των ζητημάτων ενεργειακής πολιτικής.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την θεωρητική διερεύνηση και πρακτική εφαρμογή του Μοντέλου.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

2.1. Ενεργειακοί δείκτες, Μεθοδολογικές προσεγγίσεις για το σχηματισμό και την ερμηνεία ενεργειακών δεικτών

Η εκτίμηση της βιωσιμότητας του ενεργειακού συστήματος, αποτελεί ένα ερευνητικό πεδίο που εντάσσεται στην ευρύτερη περιοχή της Ενεργειακής Οικονομίας. Η ερευνητική προσπάθεια των τελευταίων ετών, επιχειρεί τον καθορισμό ενεργειακών δεικτών για την αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης και την παρακολούθηση των εξελίξεων στο ενεργειακό σύστημα. Στους δείκτες, πρέπει να αποτιμάται και το αποτύπωμα της διαχείρισης της ενέργειας στους διαθέσιμους πόρους, στο περιβάλλον, στην κοινωνία και στην οικονομία [Afgan H.N., et al., 2000]. Οι χρησιμοποιούμενοι δείκτες θα πρέπει να είναι περιεκτικοί, σχετικοί με τα τρέχοντα ενεργειακά / περιβαλλοντικά θέματα και ευαίσθητοι στις κατά καιρούς αλλαγές, προκειμένου να αποτελέσουν ένα χρηστικό εργαλείο για την θέσπιση ενεργειακής πολιτικής και να συνεισφέρουν στον ενεργειακό σχεδιασμό εντός του πλαισίου της βιώσιμης ανάπτυξης [Walz R., 2000]. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να αντικατοπτρίζουν τη δομή και το επίπεδο της εθνικής οικονομίας, να περιγράφουν διεξοδικά την ενεργειακή χρήση ανά τομέα κατανάλωσης ενέργειας και να βασίζονται σε έγκυρα και συνεπή στατιστικά δεδομένα [Schipper L., et al., 2000].

Οι δείκτες χωρίζονται σε ειδικούς και γενικούς δείκτες [Longerman S., Ruitenbeek J., et al., 1996].

- Ειδικοί δείκτες (Specific Indicators) ή απλά δείκτες είναι αυτοί οι οποίοι μπορούν να μετρηθούν απευθείας, όπως για παράδειγμα οι συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα, ο πληθυσμός, η ειδική ενεργειακή κατανάλωση για την παραγωγή αγαθών και υπηρεσιών.
- Γενικοί ή σύνθετοι δείκτες (General/Aggregate Indicators) είναι αυτοί που εξάγονται από την σύνθεση ειδικών δεικτών που αφορούν σε επιμέρους τομείς ή κλάδους και αντανακλούν την τρέχουσα δραστηριότητα. Για παράδειγμα ο δείκτης ενεργειακής απόδοσης ενός βιομηχανικού υπο-τομέα προκύπτει από τον δείκτη Ειδικής Ενεργειακής Κατανάλωσης για την παραγωγή της μονάδας του κάθε βιομηχανικού προϊόντος και τον δείκτη παραγωγής του κάθε προϊόντος. Με αυτή τη διαδικασία επιτυγχάνεται η μετάβαση από ένα χαμηλότερο σε ένα υψηλότερο επίπεδο ανάλυσης και διαφαίνεται η επίδραση των ειδικών δεικτών στους γενικούς.

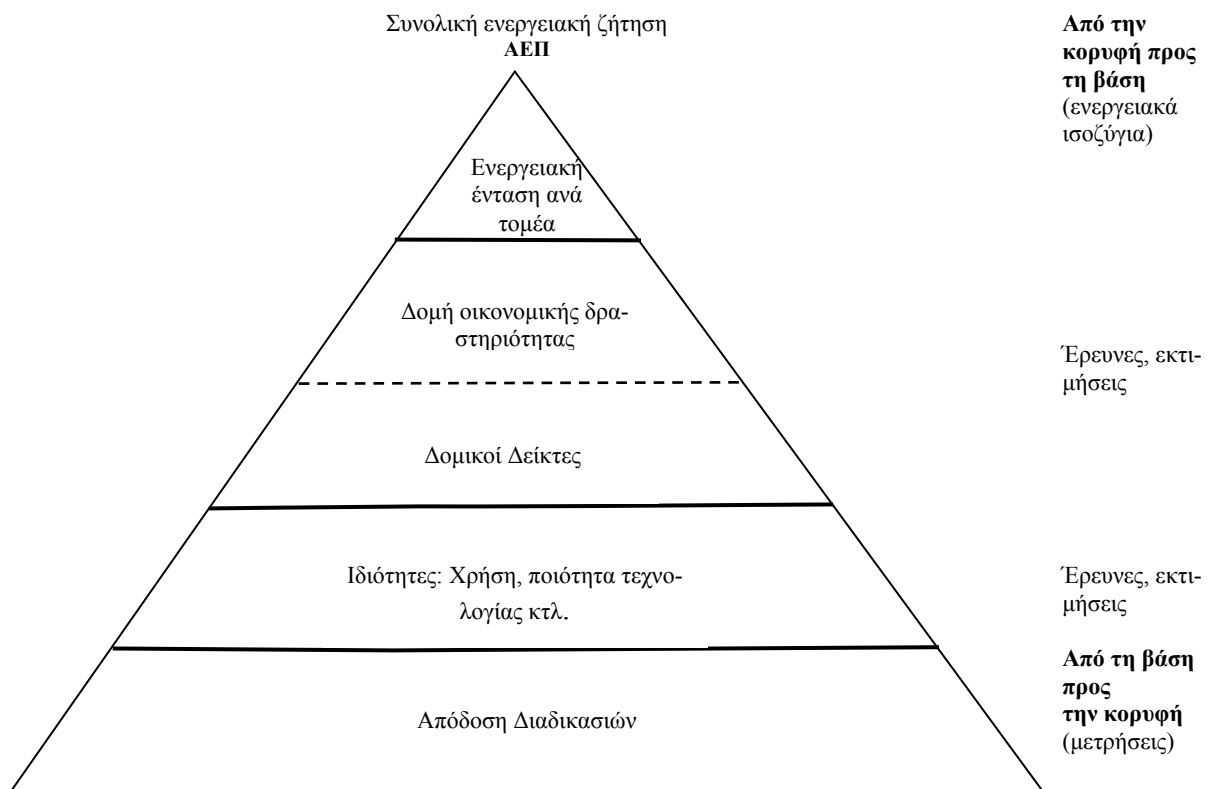
Στην ενεργειακή ανάλυση, οι δείκτες περιγράφουν λεπτομερώς τη σχέση της χρήσης ενέργειας με την ανθρώπινη δραστηριότητα. Αυτοί, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε [Shipper L., Haas R., 1997]:

- Δείκτες που περιγράφουν την ενεργειακή ζήτηση συνδέοντας την ενεργειακή χρήση με τη συνολική παραγωγή αλλά και τις επιμέρους παραγωγικές δραστηριότητες. Έτσι προκύπτουν δομικοί δείκτες και δείκτες ενεργειακής έντασης· η ενεργειακή ένταση εκφράζει την ενεργειακή χρήση ανά μονάδα παραγωγής ή δραστηριότητας.
- Δείκτες που περιγράφουν την εξέλιξη της ενεργειακής ζήτησης με το χρόνο.
- Ειδικούς και σύνθετους (ή γενικούς) ενεργειακούς δείκτες για την πραγματοποίηση διακρατικών συγκρίσεων.
- Αιτιολογικούς δείκτες για την περαιτέρω ανάλυση των παραμέτρων που καθορίζουν την ενεργειακή ζήτηση.
- Περιβαλλοντικούς δείκτες που αποσκοπούν στην ποσοτικοποίηση της σχέσης ενεργειακής χρήσης και σχετικών εκπομπών.

Κατά το σχηματισμό των ενεργειακών δεικτών επιχειρείται η σύνδεση της ενεργειακής χρήσης με ευρύτερες έννοιες όπως, ευημερία, ανάπτυξη, δημογραφία, μεταφορές και αστικοποίηση [ΙΑΕΑ, 2005]. Αυτές εκφράζονται ποσοτικά με δείκτες όπως για παράδειγμα:

- Πληθυσμός
- Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (ΑΕΠ)
- Συνεισφορά του κάθε τομέα οικονομικής δραστηριότητας στο ΑΕΠ
- Κατά άτομο διανυόμενη απόσταση
- Επίπεδο μεταφορικής δραστηριότητας
- Έκταση/επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε κάτοικο
- Οικονομικές απολαβές (π.χ. προστιθέμενη αξία) ενός καταναλωτικού τομέα
- Κατανομή εισοδήματος

Ο σχηματισμός και η παρακολούθηση των σύνθετων (γενικών) ενεργειακών δεικτών, είναι μία «από τη βάση προς την κορυφή» (Bottom-up) μεθοδολογική προσέγγιση. Πληθώρα συγκεκριμένων αναλυτικών δεδομένων από το χαμηλότερο επίπεδο ανάλυσης (π.χ. το επίπεδο των διεργασιών για την παραγωγή αγαθών ή υπηρεσιών), συνθέτονται σε έναν γενικό δείκτη, στο συνολικό επίπεδο ενός συστήματος π.χ. ενός τομέα κατανάλωσης ενέργειας. Η ιεράρχηση των ενεργειακών δεικτών, από δείκτες στο χαμηλότερο επίπεδο ανάλυσης έως τους σύνθετους στο υψηλότερο επίπεδο, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.1 [Shipper L., et al., 1997, 2000].



Σχήμα 2.1 Η πυραμίδα των ενεργειακών δεικτών κατά Shipper L., et al., 1997

Η «από τη βάση προς την κορυφή» προσέγγιση, συνδέει τις επιμέρους ενεργειακές χρήσεις σε έναν τομέα κατανάλωσης ενέργειας με τις αντίστοιχες δραστηριότητες του τομέα. Αυτές εξαρτώνται από την τεχνολογία, τις θερμοδυναμικές διαδικασίες, την παραγωγικότητα και την δομή του τομέα. Όλες οι παραπάνω παράμετροι, διαμορφώνουν τελικά την συνολική ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται στον τομέα. Όσο χαμηλότερο είναι το επίπεδο ανάλυσης τόσο πληρέστερη είναι η ερμηνεία της συμπεριφοράς του σύνθετου δείκτη. Τον βασικό ρόλο στη σύνδεση των επιπέδων, κατέχει η δομή του εκάστοτε τομέα. Η σημασία της παραπάνω ιεράρχησης έγκειται στο ότι επιτρέπει την παρακολούθηση των αλλαγών των δεικτών της βάσης (ως αποτέλεσμα άσκησης πολιτικής, τεχνολογικής εξέλιξης, αλλαγές μοντέλου ζωής ή δομής της οικονομίας) και τις επιπτώσεις τους, στους σύνθετους δείκτες της κορυφής [Bosseboeauf D., Cecile R., et al., 1997]. Η δυσκολία έγκειται στη δυνατότητα της σύνθεσης (aggregation) των συχνά μη συγκρίσιμων δεικτών, και αποτελεί μείζον ζήτημα στην ε-

νεργειακή ανάλυση [Golove W.H., et al., 1997, Worrell E., et al., 1994, Phylipsen G.J.M., et al., 1998, Farla J.C.M., 2000].

Ωστόσο, σύμφωνα με την παραπάνω ιεράρχηση των ενεργειακών δεικτών, είναι επίσης δυνατή η παρακολούθηση και ερμηνεία της τάσεως ενός σύνθετου (γενικού) δείκτη και με την αντίστροφη διαδικασία, δηλ. την αποδόμηση (decomposition) του, σε επιμέρους δείκτες και την παρακολούθηση των μεταβολών τους. Πρόκειται για μία «από την κορυφή προς την βάση» (Top-down) μεθοδολογική προσέγγιση κατά την οποία επιτελείται η σταδιακή μετάβαση από ένα υψηλότερο σε ένα χαμηλότερο επίπεδο ανάλυσης, που επίσης αποδίδει με πληρότητα τις μεταβολές δεικτών της κορυφής ως αποτέλεσμα των μεταβολών δεικτών της βάσης. Η πληρέστερη αποδόμηση ενός σύνθετου δείκτη, στους δείκτες που υπόκεινται των μεταβολών του, είναι αντικείμενο της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών (Index Decomposition Analysis) [Ang B.W., 2006, Ang, B.W., 2004, Ang, B. W., et al., 2003, Ang, B.W., et al., 1998].

Τόσο, η «από τη βάση προς την κορυφή» όσο και η «από την κορυφή προς τη βάση» μεθοδολογική προσέγγιση, μπορεί να εφαρμοστεί για την ανάλυση ενεργειακών δεικτών σε οποιονδήποτε παραγωγικό ή καταναλωτικό (υπο)-τομέα της εθνικής οικονομίας. Επίσης, μπορούν να εφαρμοστούν και στο ανώτατο επίπεδο της εθνικής οικονομίας, δηλ. για την εκτίμηση και παρακολούθηση ενεργειακών δεικτών για το σύνολο των παραγωγικών και των καταναλωτικών (υπο)-τομέων. Οι παραγωγικοί (υπο)-τομείς είναι αυτοί οι οποίοι παράγουν αγαθά που μπορούν να αποτιμηθούν με οικονομικούς όρους (π.χ. ο βιομηχανικός τομέας ή βιομηχανικός υπο-τομέας σιδήρου & χάλυβα). Οι καταναλωτικοί τομείς είναι αυτοί οι οποίοι παράγουν υπηρεσίες που δεν μπορούν να αποτιμηθούν άμεσα σε οικονομικούς όρους (π.χ. ο οικιακός τομέας). Οι παραγωγικοί όσο και οι καταναλωτικοί (υπο)-τομείς της εθνικής οικονομίας, αποτελούν τους τομείς κατανάλωσης ενέργειας του ενεργειακού συστήματος.

Στην παρούσα διατριβή, εξετάζεται η εφαρμογή των παραπάνω προσεγγίσεων στον βιομηχανικό τομέα. Ακολουθεί η ανάλυση της βιομηχανικής ενεργειακής κατανάλωσης και απόδοσης όπως αυτή πραγματοποιείται στην τρέχουσα βιβλιογραφία με τη χρήση μεθόδων Σύνθεσης Δεικτών και με τη χρήση μεθόδων Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών.

2.1.1. Βιομηχανική ενεργειακή χρήση και απόδοση

Οι πετρελαϊκές κρίσεις του παρελθόντος με τα συνεπακόλουθα αποτελέσματά στην τιμή του πετρελαίου, οδήγησαν στην αναγνώριση της σημαντικότητας της ενεργειακής χρήσης και απόδοσης του βιομηχανικού τομέα, στην εθνική οικονομία. Την τρέχουσα περίοδο, οι μεταβολές των παραπάνω μεγεθών, θεωρούνται στρατηγικής σημασίας και για την εξέλιξη του επιπέδου των εκπομπών CO₂. Η ανάπτυξη ενός συστήματος ενεργειακών δεικτών στη βιομηχανία, για την παρακολούθηση των μεταβολών τους στα πλαίσια της εθνικής οικονομίας και την αξιολόγηση σχετικών πολιτικών ρυθμίσεων, είναι πλέον επιτακτική (Ang B.W., 2006; Farla J.C.M., et al., 2000).

Οι επερχόμενες αλλαγές του βιομηχανικού τομέα είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το επίπεδο ανάπτυξης και τις αντίστοιχες κοινωνικο-οικονομικές εξελίξεις της κάθε χώρας. Η κατανόηση της τάσης της ενεργειακής ζήτησης προϋποθέτει την ενδελεχή διερεύνηση των σχέσεων που διέπουν τη βιομηχανική ενεργειακή χρήση και παραγωγή, τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα και την ενεργειακή απόδοση [Dincer I., 1997]. Ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται η ενεργειακή χρήση σε σχέση με την οικονομική ανάπτυξη εξαρτάται από την χρονική περίοδο και επιπλέον από το επίπεδο βιομηχανοποίησης της κάθε χώρας [Worrell E., 2004]. Η ένταση της ενεργειακής χρήσης στη βιομηχανία, αντανακλά την ανταπόκριση του τομέα στις πιέσεις της αγοράς και στις ρυθμίσεις της ενεργειακής πολιτικής [Schipper L., Haas R., 1997]. Επιπρόσθετα, αυτή επηρεάζεται και από τα τρέχοντα περιβαλλοντικά ζητήματα, τα οποία και διαμορφώνουν τις τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις (π.χ. βελτίωση θερμοδυναμικής απόδοσης τεχνολογιών, απορρυπαντικές τεχνολογίες), τις μεταβολές των ενεργειακών τιμών και τέλος τις δομικές αλλαγές του βιομηχανικού τομέα (π.χ. μετάβαση σε λιγότερο ενεργοβόρους τομείς, μεταβολή των χρησιμοποιούμενων μορφών ενέργειας κτλ.) [Liaskas K., et al., 2000].

Ο αντίκτυπος των προαναφερθέντων παραμέτρων στη συνολική βιομηχανική ενεργειακή χρήση, μπορεί να καθοριστεί από τη συστηματική παρακολούθηση των μεταβολών των παρακάτω διακριτών παραμέτρων [Phylipsen G.J.M., et al., 1997]:

- Της παραγωγικότητας του βιομηχανικού τομέα· όσο αυξάνεται η παραγωγικότητα του τομέα, αυξάνεται και η ικανότητα του τομέα να χρησιμοποιήσει αποδοτικότερα τους εισρέοντες σε αυτόν οικονομικούς, ενεργειακούς και φυσικούς πόρους (capacity use).

- Της δομής του τομέα: οι δομικές αλλαγές αφορούν για παράδειγμα στις μεταβολές της επιμέρους συνεισφοράς του κάθε υπο-τομέα στη συνολική βιομηχανική παραγωγή, στη μεταβολή της αλυσίδας παραγωγής για τον κάθε υπο-τομέα, στις επενδύσεις του κάθε υπο-τομέα σε τεχνολογικό εξοπλισμό καθώς και στη μεταβολή των χρησιμοποιούμενων μορφών ενέργειας.
- Της ενεργειακής απόδοσης του τομέα δηλ. της ποσότητας ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή συγκεκριμένης ποσότητας προϊόντων [Patterson M., 1996]: η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης επιτυγχάνεται είτε με την μείωση της ενεργειακής χρήσης είτε με την αύξηση του ρυθμού παραγωγής ανά μονάδα καταναλισκόμενης ενέργειας [Onut S., et al., 2007]. Η ενεργειακή απόδοση του βιομηχανικού και κάθε τομέα κατανάλωσης ενέργειας, πέραν της απόδοσης των διεργασιών παραγωγής, εκφράζει περαιτέρω την δομή της οικονομίας, η οποία διαμορφώνεται από την οικονομική ανάπτυξη και το βιοτικό επίπεδο της κάθε χώρας. Πρόκειται για έναν σύνθετο δείκτη, στον οποίο αντικατοπτρίζεται η περιβαλλοντική (διαχείριση ενεργειακών πόρων και ποσότητα σχετικών εκπομπών), η οικονομική και η κοινωνική διάσταση της βιωσιμότητας.

Η παραγωγικότητα, η δομή και η ενεργειακή απόδοση στο σύνολο του βιομηχανικού τομέα αλλά και για κάθε επιμέρους υπο-τομέα της βιομηχανίας, αποτιμώνται με την επεξεργασία κατάλληλων επιμέρους δεικτών. Ο σχηματισμός των δεικτών βασίζεται στις εισροές και εκροές πόρων που αναφέρονται σε συγκεκριμένο επίπεδο ανάλυσης για παράδειγμα επίπεδο βιομηχανικού τομέα ή βιομηχανικού υπο-τομέα (π.χ. υπο-τομέας βασικών μετάλλων). Οι ενεργειακές εισροές αποτιμώνται είτε θερμοδυναμικά (π.χ. ποσότητα καταναλισκόμενης ενέργειας) είτε οικονομικά (π.χ. κόστος καταναλισκόμενης ενέργειας) [Patterson M., 1996]. Η βιομηχανική παραγωγή αποτιμάται συνήθως με τους ακόλουθους οικονομικούς δείκτες [Bernard T.J., et al., 2005]:

- Αξία της βιομηχανικής παραγωγής (Production value) σε τρέχουσες τιμές για συγκεκριμένο έτος (VP_t)
- Αξία των μεταφερόμενων (πωληθέντων) βιομηχανικών προϊόντων (Value of shipments) σε τρέχουσες τιμές για συγκεκριμένο έτος (VS_t): ισούται με την αξία της βιομηχανικής παραγωγής αφαιρούμενης της αξίας των προϊόντων που παραμένουν ως «στοκ» (Value of inventories, ΔINV_t), δηλ.

$$VS_t = VP_t - \Delta INV_t$$

- Προστιθέμενη αξία (Value added) σε τρέχουσες τιμές για συγκεκριμένο έτος (VA_t): είναι η αξία της βιομηχανικής παραγωγής, αφαιρούμενου του κόστους των εν-

διάμεσων εισροών για την παραγωγική διαδικασία π.χ. κόστος ενέργειας ή υλικών (CI_t), δηλ. $VA_t = VP_t - CI_t$.

Οι μεταβολές της αξίας παραγωγής (VP_t), της αξίας των καταγραφών (ΔINV_t) και του κόστους των ενδιάμεσων εισροών (CI_t) καθορίζονται από διαφορετικές παραμέτρους. Κατά συνέπεια, η αποτίμηση της βιομηχανικής δραστηριότητας με διαφορετικούς οικονομικούς δείκτες, παρουσιάζει αποκλίσεις στο χρόνο γιατί εξαρτάται από τις μεταβολές πρόσθετων παραμέτρων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που στον τομέα παραγωγής ηλεκτρονικού εξοπλισμού, η παραγωγή υλικού (hardware) αντικατασταθεί με την παραγωγή ημιαγωγών (chips), η αξία της παραγωγής του τομέα δεν θα μεταβληθεί. Η προστιθέμενη αξία του τομέα όμως θα αυξηθεί, λόγω του χαμηλότερου κόστους των ενδιάμεσων εισροών για την παραγωγή των ημιαγωγών.

Η βιομηχανική παραγωγή μπορεί ωστόσο να αποτιμηθεί και σε φυσικές μονάδες παραγωγής (όγκος παραγόμενων προϊόντων σε τόνους), οι μεταβολές των οποίων εκφράζουν την πραγματική μεταβολή της παραγωγικής δραστηριότητας.

Ο σχηματισμός σύνθετων δεικτών προϋποθέτει την επιλογή κατάλληλων δεικτών, προκειμένου οι μεταβολές τους στο υψηλότερο επίπεδο ανάλυσης να αποτιμώνται με ακρίβεια. Ειδικότερα, η έκφραση της ενεργειακής απόδοσης στη βιομηχανία είναι ένα πολύπλοκο μεθοδολογικό ζήτημα καθώς εξαρτάται από την ενεργειακή απόδοση επιμέρους βιομηχανικών διεργασιών παραγωγής που λαμβάνουν χώρα διαδοχικά ή/και ταυτόχρονα [Phylipsen G.J.M., et al., 1997]. Διαφορετικοί δείκτες για την αποτίμηση των ενεργειακών εισροών και εκροών στη βιομηχανία, έχουν ως αποτέλεσμα την έκφραση διαφορετικών δεικτών ενεργειακής απόδοσης [Paterson M., 1996]. Σε ένα ανώτατο ή ανώτερο επίπεδο ανάλυσης δηλ. σε επίπεδο τομέα ή υπο-τομέα, οι ενεργειακές εκροές, εκφραζόμενες ως βιομηχανική παραγωγή, αποτιμώνται συνήθως με οικονομικούς δείκτες. Σε αυτή την περίπτωση η συνολική ενεργειακή απόδοση εκφράζει την ένταση της χρήσης ενέργειας η οποία καθορίζεται από την τιμή του κάθε παραγόμενου προϊόντος και όχι από την ενέργεια που καταναλώνεται για την παραγωγή του. Πρόκειται για την οικονομική συνιστώσα της ενεργειακής απόδοσης και δεν εκφράζει το αποτέλεσμα της εισροής αποδοτικότερων (από θερμοδυναμική άποψη) τεχνολογιών στον τομέα ή υπο-τομέα αντίστοιχα δηλ. την τεχνική συνιστώσα της ενεργειακής απόδοσης [Bernard T.J., et al., 2005, Farla J.C.M., et al., 1998]. Από την άλλη, στο πρωταρχικό επίπεδο ανάλυσης π.χ. τη διεργασία παραγωγής συγκεκριμένου προϊόντος (end use level), η ενεργειακή απόδοση μπορεί άμεσα να αποτιμηθεί ως ο λόγος της καταναλισκόμενης ενέργειας προς την παραγωγή συγκεκριμένης ποσότη-

τας κάποιου προϊόντος δηλ. ως φυσικο-θερμодυναμικός (μεικτός) δείκτης [Ang B.W., 2006].

Η χρήση οικονομικών δεικτών ή δεικτών φυσικής δραστηριότητας, για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός (υπο)-τομέα, επηρεάζει την ανάλυση και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, αντίστοιχα. Όταν η ενεργειακή απόδοση αποτιμάται με την χρήση οικονομικών δεικτών, δεν αποτυπώνεται η εισροή αποδοτικότερων τεχνολογιών κατά την τελική ενεργειακή χρήση· κατά συνέπεια παρέχεται ελλιπή πληροφορία για τους ασκούντες πολιτική [Freeman S.L., et al., 1997, Worrell E., et al., 1997]· επιπρόσθετα, δεν αναπαρίστανται με ακρίβεια οι δομικές αλλαγές της οικονομίας μεταξύ των κρατών [Farla J.C.M., 2000]. Αντίστοιχα αποτελέσματα, συνηγορούν στο ότι η αποτιμώμενη με δείκτες φυσικής δραστηριότητας ενεργειακή απόδοση, είναι ένας ακριβής και αξιόπιστος δείκτης για την αξιολόγηση του αποτελέσματος των πολιτικών παρεμβάσεων στο εκάστοτε εθνικό οικονομικό και ενεργειακό σύστημα [Nanduri M., et al., 2002, Nyboer J., et al., 1996, Ross M., Hwang R., 1992, Williams R.H., et al., 1987]. Το βασικό μειονέκτημα στη χρήση αυτών των δεικτών φυσικής δραστηριότητας, έγκειται στην απαίτηση πληθώρας δεδομένων στο χαμηλότερο επίπεδο ανάλυσης. Τέτοιας φύσεως δεδομένα είναι περιορισμένης διαθεσιμότητας, συχνά και αξιοπιστίας, ειδικότερα σε μη βιομηχανικές κοινωνίες όπου τα εθνικά συστήματα καταγραφής είναι ακόμη ανώριμα [Golove W.H., et al., 1997, Nanduri M., et al., 2002, Sinton J.E., et al., 1994]. Για τον παραπάνω λόγο, δεν διαφαίνεται στην τρέχουσα βιβλιογραφία ξεκάθαρη τάση που να συνηγορεί υπέρ της αποκλειστικής χρήσης δεικτών φυσικής δραστηριότητας για την αποτίμηση της ενεργειακής απόδοσης. Ωστόσο, οι ενεργειακοί αναλυτές υποστηρίζουν, ότι τουλάχιστον όσο αφορά στη «βαρειά» βιομηχανία (heavy industry) δηλ. εκείνους τους βιομηχανικούς τομείς στους οποίους οι διεργασίες παραγωγής των προϊόντων είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρες, ενδείκνυται η χρήση δεικτών φυσικής δραστηριότητας. Αυτό οφείλεται στην ευκολότερη συγκέντρωση των δεδομένων, λόγω του μικρότερου αριθμού των βιομηχανικών μονάδων και των παραγόμενων προϊόντων, αλλά και της ανταγωνιστικότητας του τομέα η οποία επιβάλλει την ταυτόχρονη εισαγωγή των νέων τεχνολογιών, διαμορφώνοντας έτσι την ομοιόμορφη λειτουργία του τομέα σε διεθνές επίπεδο [Martin N., et al., 1994, Phylipsen G.J.M., et al., 1998, Farla J.C.M., et al., 1997].

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες με τις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανάλυση των μεταβολών της βιομηχανικής ενεργειακής απόδοσης και χρήσης, ανάλογα με τη φύση των χρησιμοποιούμενων δεδομένων.

2.1.2. Μεθοδολογίες Σύνθεσης Δεικτών

Η επεξεργασία φυσικο-θερμοδυναμικών δεικτών και δεικτών φυσικής δραστηριότητας στην ενεργειακή ανάλυση, είναι μεθοδολογικά μία «από τη βάση προς την κορυφή» προσέγγιση και πραγματοποιείται με τη χρήση μεθόδων Σύνθεσης Δεικτών. Αυτοί έχουν χρησιμοποιηθεί από το πρόγραμμα παρακολούθησης ενεργειακής απόδοσης ODYSSEE για την παρακολούθηση των μεταβολών της ενεργειακής απόδοσης του συνόλου του βιομηχανικού τομέα, αλλά και για τον οικιακό τομέα [Haas R., 1997] καθώς και αυτόν των μεταφορών [He K. et al., 2005]. Η χρήση των μεθόδων Σύνθεσης Δεικτών, επιδιώκεται για την ανάλυση των ενεργειακών χρήσεων στη βιομηχανία. Για παράδειγμα αυτές οι μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση των μεταβολών της ενεργειακής απόδοσης στους ενεργοβόρους υπο-τομείς της, όπως αυτοί του σιδήρου & χάλυβα [Ozawa L., et al., 2002], του χαρτοπολτού και χαρτοποιίας [Farla J.C.M., et al., 1997] και της χημικής βιομηχανίας (συγκεκριμένα για την παραγωγή αμμωνίας) [Rafiqul I., et al., 2005].

Η δυσκολία στη χρήση των μεθόδων Σύνθεσης, έγκειται στην άθροιση ανομοιογενών δεδομένων (π.χ. τόννους χάλυβα με λίτρα γάλατος). Το παραπάνω μεθοδολογικό ζήτημα επιλύεται με τη επιλογή κατάλληλου συντελεστή στάθμισης της σημαντικότητας του κάθε δείκτη στην τελική διαμόρφωση της ενεργειακής χρήσης ενός (υπο)-τομέα· με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ομογενοποίηση των δεδομένων [Worrell E., et al., 1994, Philipsen G.J.M., et al., 1998, Farla J.C.M., et al., 1997 και Farla J.C.M., 2000). Οι παραπάνω ερευνητές έχουν αναπτύξει μια μέθοδο Σύνθεσης για την εκτίμηση του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» ενός (υπο)-τομέα κατανάλωσης ενέργειας, που βασίζεται στη σύγκριση της Ειδικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (Specific Energy Consumption ή *SEC*) για την παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων ή υπηρεσιών για συγκεκριμένο έτος, με την Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση των ίδιων προϊόντων ή υπηρεσιών στο έτος «αναφοράς». Πρόκειται για τη μέθοδο του «λόγου της πραγματικής *EEK* προς την *EEK* αναφοράς» (*actual SEC to reference SEC ratio*). Η Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (*EEK*), είναι ένας φυσικο-θερμοδυναμικός (μεικτός) δείκτης ενεργειακής απόδοσης, ίσος με την ενέργεια που

καταναλώνεται στις επιμέρους διεργασίες για την παραγωγή μιας μονάδας ενός προϊόντος ή υπηρεσίας².

Με την ΕΕΚ, εκφράζεται για τη βιομηχανία η ένταση της βιομηχανικής διεργασίας (π.χ. ενεργοβόρα ή όχι), το τεχνολογικό επίπεδο του διαθέσιμου εξοπλισμού και ο εκσυγχρονισμός των βιομηχανικών μονάδων (χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες). Εάν είναι γνωστή η ετήσια παραγωγή όλων των προϊόντων του βιομηχανικού (υπο)-τομέα καθώς και η ΕΕΚ τους, τότε η άθροιση των γινόμενων της παραγωγής του κάθε προϊόντος με την αντίστοιχη ΕΕΚ του, για ένα συγκεκριμένο έτος, θα ήταν η κατανάλωση ενέργειας του συγκεκριμένου υπο-τομέα για το συγκεκριμένο έτος και ίση με αυτή που καταγράφεται στα εθνικά ενεργειακά ισοζύγια. Ωστόσο, η εκτίμηση και καταγραφή της ΕΕΚ κάθε προϊόντος και για κάθε χρόνο δεν είναι δυνατή. Γι' αυτό και χρησιμοποιείται η ΕΕΚ «αναφοράς», για κάθε προϊόν, η οποία παρατίθεται στη βιβλιογραφία. Η χρήση των τιμών «αναφοράς» έναντι των πραγματικών τιμών ΕΕΚς, δεν επηρεάζει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων [Farla J.C.M., et al., 1998]. Οι τιμές της ΕΕΚ «αναφοράς» αφορούν στη δομή και στο επίπεδο εκσυγχρονισμού κάθε βιομηχανικής μονάδας, στο έτος «αναφοράς».

Ο ορισμός γίνεται με βάση [Phylipsen G.J.M., et al., 1997]:

- Την Βέλτιστη Παρατηρούμενη Πρακτική (Best Practice Observed), που αφορά στη χαμηλότερη τιμή ΕΕΚ που έχει παρατηρηθεί σε βιομηχανική μονάδα η οποία λειτουργεί στη μέγιστη ένταση της.
- Τα Βέλτιστα Διαθέσιμα Μέσα (Best Practical Means), που αφορούν στη χαμηλότερη τιμή της ΕΕΚ που μπορεί να επιτευχθεί σε μια βιομηχανική μονάδα με τη χρήση της βέλτιστης διαθέσιμης τεχνολογίας εάν είναι οικονομικά εφικτό.
- Τις Βέλτιστες Διαθέσιμες Τεχνολογίες (Best Available Technologies), που αφορούν στη χαμηλότερη τιμή της ΕΕΚ που μπορεί να επιτευχθεί σε μια βιομηχανική μονάδα με τη χρήση της βέλτιστης διαθέσιμης τεχνολογίας, ανεξάρτητα του κόστους.

Η ΕΕΚ «αναφοράς» για το κάθε προϊόν ή υπηρεσία, είναι ο παράγοντας στάθμισης της σημαντικότητας, ως προς την ενεργειακή του κατανάλωση, σε σχέση με τα υπόλοιπα προϊόντα ή υπηρεσίες του αντίστοιχου τομέα. Επιπλέον, ομογενοποιεί τις διαφορετικές μονάδες αποτίμησης της παραγωγής των προϊόντων ή υπηρεσιών (π.χ. στη βιομηχανία η αναφορά γίνεται σε τόννους, λίτρα κοκ.), μετατρέποντας αυτές σε μο-

² Η ΕΕΚ για τις υπηρεσίες θέρμανσης στο σύνολο των m² όλων των κατοικιών στον οικιακό τομέα, είναι η ενέργεια (ορυκτά καύσιμα) που καταναλώνεται για την θέρμανση ενός m² για ένα χρόνο (GJ/m² y) [Farla J.C.M., Blok K., 2000]

νάδες ενέργειας, καθιστώντας τελικά τη σύνθεση μη συγκρίσιμων δεικτών μεθοδολογικά πραγματοποιήσιμη [Ramirez A., 2005].

Συγκεκριμένα για την βιομηχανία, ο δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» PEE , του βιομηχανικού (υπο)-τομέα s , που παράγει αριθμό προϊόντων $i=1..n$, το έτος k , αποδίδεται με την εξίσωση (2.1):

$$PEE_{k,s} = \frac{E_{k,s}}{\sum_i^n m_{i,k} \cdot SEC_{i,0}} = \frac{E_{k,s}}{\sum_i^n m_{i,k} \cdot \left(\frac{E_{i,0}}{m_{i,0}} \right)} \quad (2.1)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, E , είναι η ενεργειακή κατανάλωση του βιομηχανικού (υπο)-τομέα το έτος k , m είναι η ποσότητα παραγωγής του προϊόντος i , για το έτος k και για το έτος «αναφοράς» αντίστοιχα, και $SEC_{i,0}$, η Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση (EEK) του κάθε βιομηχανικού προϊόντος το έτος «αναφοράς». Ουσιαστικά, ο δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης», εκφράζει τις «παγιομένες εξελίξεις της ενεργειακής απόδοσης» (*the frozen energy efficiency development*) και αποδίδεται με το λόγο της πραγματικής ενεργειακής χρήσης $E_{k,s}$ (μέγεθος που δίνεται από τις στατιστικές καταγραφές) και της ενέργειας που θα είχε χρησιμοποιηθεί εάν η ενεργειακή απόδοση παρέμενε στα επίπεδα του έτους «αναφοράς». Αφού οι τιμές EEK «αναφοράς» ορίζονται βιβλιογραφικά, είναι δυνατή, με τη χρήση της παραπάνω μεθόδου, η παρακολούθηση των εξελίξεων της ενεργειακής απόδοσης στη βιομηχανία και τους υπόλοιπους τομείς της εθνικής οικονομίας, από τεχνικής ματιάς, χωρίς να είναι απαραίτητη η λεπτομερής έρευνα σε πολύ χαμηλό επίπεδο ανάλυσης [Farla J.C.M., et al., 1998, 2000].

Ο εκτιμώμενος δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τον βιομηχανικό (υπο)-τομέα είναι ένας σύνθετος δείκτης. Δεν εκτιμά αποκλειστικά την τεχνική συνιστώσα της ενεργειακής απόδοσης (*technical energy efficiency*) στο βιομηχανικό (υπο)-τομέα, που αναφέρεται στη βελτίωση της EEK για την παραγωγή των επιμέρους προϊόντων. Η επιδείνωση ή βελτίωση του δείκτη της «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης», επηρεάζεται και από την τάση για περαιτέρω βιομηχανοποίηση ή αντίθετα αποβιομηχανοποίηση και την συνεπαγόμενη αύξηση ή μείωση κατ' αντιστοιχία της ενεργειακής χρήσης [Patterson M., 1996]. Επιπρόσθετα, εμπεριέχονται σε αυτόν και οι δομικές μεταβολές του (υπο)-τομέα, καθώς είναι δυνατή η μεταβολή της αλυσίδας παραγωγής του (εισροή νέων προϊόντων ή διακοπή της παραγωγής υφιστάμενων προ-

ϊόντων). Ωστόσο, το αντίκτυπο των δομικών μεταβολών μπορεί να απομονωθεί, όταν χρησιμοποιούνται τα ίδια προϊόντα για όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο [Ramirez A., et al., 2006, Neelis M., et al., 2007].

Σε αντίστοιχη διαδικασία στάθμισης και ομογενοποίησης των μη συγκρίσιμων αναλυτικών δεικτών, βασίζεται και η μέθοδος Σύνθεσης που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε στα πλαίσια του προγράμματος παρακολούθησης ενεργειακής απόδοσης, Mure-ODYSEE [Aggregate energy efficiency indicators in ODYSEE for industry]. Η συγκεκριμένη μέθοδος, συγκρίνει απ' ευθείας την πραγματική EEK του κάθε προϊόντος ή υπηρεσίας για το κάθε έτος, με την αντίστοιχη EEK στο έτος «αναφοράς». Κατά συνέπεια, απαιτούνται ετήσιες μετρήσεις του δείκτη της EEK (δηλ. περισσότερα ετήσια δεδομένα), οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του παραπάνω προγράμματος στις χώρες και για τα έτη που εφαρμόστηκε. Ο δείκτης που εκτιμάται, ονομάζεται δείκτης «Μοναδιαίας Ενεργειακής Κατανάλωσης» (Unit Consumption Index). Με τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου, το αποτέλεσμα των δομικών αλλαγών του βιομηχανικού (υπο)-τομέα (quantity effect), απομονώνεται μεθοδολογικά εξ' αρχής και ερμηνεύεται ξεχωριστά. Ο εκτιμώμενος δείκτης «Μοναδιαίας Ενεργειακής Κατανάλωσης», εκφράζει με μεγαλύτερη ακρίβεια την τεχνική συνιστώσα της ενεργειακής απόδοσης (technical energy efficiency), που αφορά στη βελτίωση των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών. Ωστόσο, η εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου, απαιτεί συνεχώς την εξονυχιστική παρακολούθηση των βιομηχανικών και λοιπών διεργασιών και την ετήσια αναθεώρηση των τιμών της EEK για την παραγωγή του κάθε προϊόντος ή υπηρεσίας.

Από την εφαρμογή και των δύο μεθόδων στη βιομηχανία, οι δομικές αλλαγές του βιομηχανικού (υπο)-τομέα, είτε αυτές εκτιμώνται ξεχωριστά (μέθοδος Σύνθεσης του προγράμματος Mure-ODYSSE), είτε εμπεριέχονται στον εκτιμώμενο δείκτη (μέθοδος Σύνθεσης *actual SEC to reference SEC ratio*), μπορούν να αναδειχθούν με την περαιτέρω χρήση κατάλληλων επεξηγηματικών δεικτών [Lapillone B., et al, 2004, Bosseboeuf D., et al., 1997]. Για παράδειγμα ένας επεξηγηματικός δείκτης είναι το αποτέλεσμα της ανακύκλωσης (recycling effect), στη φυσική ενεργειακή απόδοση του βιομηχανικού (υπο)-τομέα. Αυτό είναι αρνητικό όταν η παραγωγή ενός προϊόντος από ανακυκλώσιμες πρώτες ύλες δεν αντικαθιστά την προϋπάρχουσα διεργασία για την παραγωγή του ίδιου προϊόντος· αντίθετα εισέρχεται στην αλυσίδα παραγωγής ως μια πρόσθετη βιομηχανική διεργασία. Αυξάνεται έτσι η κατανάλωση ενέργειας και επιδεινώνεται η φυσική ενεργειακή απόδοση της βιομηχανίας. Όταν η διεργασία παρα-

γωγής προϊόντων από ανακυκλώσιμες πρώτες ύλες αντικαθιστά την αντίστοιχη προϋπάρχουσα διεργασία για την παραγωγή του ίδιου προϊόντος, τότε το αποτέλεσμα της ανακύκλωσης στη φυσική ενεργειακή απόδοση είναι θετικό [Eichhammer W., et al., 1997]. Το αποτέλεσμα της ανακύκλωσης παρατηρείται συνήθως, όταν αντικαθίστανται πλήρως ή μερικώς οι παρακάτω βιομηχανικές διεργασίες:

- Η παραγωγή χημικού χαρτοπολτού από την παραγωγή χαρτοπολτού από ανακύκλωση χαρτιού.
- Η παραγωγή πρωτογενούς αλουμινίου (πρώτη χύτευση) από δευτερογενές αλουμίνιο (δεύτερη χύτευση).
- Η παραγωγή χάλυβα από την επεξεργασία του σιδήρου-σκραπ σε κλιβάνους οξυγόνου από την επεξεργασία του σκραπ σε ηλεκτρικούς φούρνους.

Επίσης, επεξηγηματικός δείκτης που αφορά στις δομικές αλλαγές της βιομηχανίας, είναι η διακοπή της παραγωγής ενεργοβόρων πρώτων υλών στη βιομηχανία και η εισαγωγή τους μερικώς ή εξ' ολοκλήρου από το εξωτερικό, (foreign trade of energy intensive products) όπως για παράδειγμα η εισαγωγή χημικού χαρτοπολτού στη βιομηχανία χαρτοποιίας [Eichhammer W., et al., 1997, Bosseboeuf et al., 1997].

2.1.3. Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών

Η επεξεργασία σύνθετων θερμοδυναμικών και οικονομικών δεικτών (π.χ. ενεργειακή κατανάλωση ή προστιθέμενη αξία) στην ενεργειακή ανάλυση, είναι μεθοδολογικά μια προσέγγιση «από την κορυφή προς τη βάση», καθώς αυτοί καταγράφονται στα ανώτερα και ανώτατα επίπεδα ανάλυσης (π.χ. επίπεδο βιομηχανικού υπο-τομέα ή τομέα αντίστοιχα) και είναι διαθέσιμοι από τις στατιστικές καταγραφές. Αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση μεθόδων Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών.

Στην Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών αρχικά προσδιορίζονται οι παράμετροι που καθοδηγούν τις εξελίξεις σύνθετων δεικτών (και ενεργειακών). Στη συνέχεια αυτοί οι παράμετροι εκφράζονται με δείκτες και ποσοτικοποιείται το αποτέλεσμα της μεταβολής τους στη μεταβολή του σύνθετου δείκτη [Albrecht J., et al., 2002]. Ο δείκτης προς αποδόμηση μπορεί να είναι είτε σε απόλυτη μορφή (π.χ κατανάλωση ενέργειας σε ένα τομέα), είτε να αποδίδεται με τη μορφή έντασης (ο λόγος της ενεργειακής κατανάλωσης προς μια οικονομική μεταβλητή) [Hoekstra R., et al., 2003].

Κατά την Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών, ο σύνθετος δείκτης αναλύεται αρχικά στους επιμέρους δείκτες, που υπόκεινται των μεταβολών του, ορίζεται δηλ. η «βασι-

κή εξίσωση της αποδόμησης». Για παράδειγμα, ο δείκτης ποσότητα των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, C_{tot} , που παράγονται από το σύνολο των δραστηριοτήτων της εθνικής οικονομίας, είναι συνάρτηση των παρακάτω δεικτών [Ekins P., 2004] :

- Της κατανάλωσης ενέργειας στο σύνολο της εθνικής οικονομία, ES .
- Της ενεργειακής απόδοσης των συσκευών που χρησιμοποιούνται για την παροχή υπηρεσιών ηλεκτρισμού (π.χ. κλιματιστικά), DE/ES . DE είναι η ποσότητα ηλεκτρισμού που παρέχεται προς τελική κατανάλωση, αφαιρούμενων των απωλειών του δικτύου στη διανομή.
- Των ενεργειακών απωλειών του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, UE/DE . UE είναι η ποσότητα ηλεκτρισμού που εισέρχεται στο δίκτυο διανομής, αφαιρούμενων των απωλειών κατά τα στάδια της μετατροπής των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό και μεταφοράς αυτού διαμέσου του δικτύου μεταφοράς.
- Της απόδοσης των διαδικασιών μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρισμό συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών απωλειών του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, PE/UE . PE είναι πρωτογενής ενέργεια, δηλ. το μείγμα καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Του συντελεστή εκπομπών κατά το στάδιο της μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρισμό, C/PE . εξαρτάται από το μείγμα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το συνολικό επίπεδο ανάλυσης είναι ο τομέας κατανάλωσης ενέργειας και τα επιμέρους επίπεδα είναι οι τομείς διανομής, μεταφοράς και παραγωγής ηλεκτρισμού. Η «βασική εξίσωση της αποδόμησης» είναι η (2.2).

$$C_{tot} = ES (DE/ES) (UE/DE) (PE/UE) (C/PE) \quad (2.2)$$

Σε αντίστοιχη ανάλυση, ο δείκτης της ποσότητας των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από το σύνολο των δραστηριοτήτων ενός κράτους, C_{tot} , αποδομείται με βάση την ταυτότητα Kaya (Kaya identity) η οποία περιγράφεται στην εξίσωση (2.3) [Wang C., et al., 2005].

$$I = P * A * T \quad (2.3)$$

Στην παραπάνω ταυτότητα, I , είναι το περιβαλλοντικό αποτέλεσμα, P , ο συνολικός πληθυσμός, A , η ευημερία (που εκφράζεται ως το κατά κεφαλήν ΑΕΠ) και T , το περιβαλλοντικό αποτέλεσμα ανά μονάδα ευημερίας. Ο παράγοντας T , εκφράζει τις τε-

χνολογικές εξελίξεις, τη δομή της οικονομίας και την ανθρώπινη συμπεριφορά³. Εν τέλει, ο δείκτης των συνολικών εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, C_{tot} , εκφράζεται ως συνάρτηση των παρακάτω δεικτών:

- Του συνολικού πληθυσμού, P .
- Της ευημερίας, Y/P . Y , είναι το ΑΕΠ.
- Της συνολική ενεργειακή ένταση, TE/Y . TE είναι η συνολική ενεργειακή κατανάλωση.
- Της συνεισφορά των ορυκτών καυσίμων στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, που εξαρτάται από τη συνεισφορά των ορυκτών καυσίμων στην ενεργειακή κατανάλωση για τον κάθε τομέα κατανάλωσης ενέργειας, FE/TE . FE , είναι η συνολική κατανάλωση ορυκτών καυσίμων.
- Του μέσου συντελεστή εκπομπών από τη χρήση ορυκτών καυσίμων, C/FE , που εξαρτάται από το μείγμα καυσίμου για τον κάθε τομέα κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων.

Η «βασική εξίσωση της αποδόμησης» είναι η (2.4):

$$C_{tot} = P * (Y/P) * (TE/Y) * (FE/TE) * (C/FE) \quad (2.4)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, οι τρεις τελευταίοι παράγοντες εκφράζουν τις τεχνολογικές εξελίξεις και τη δομή της οικονομίας (παράγοντας T).

Συγκεκριμένα για τη βιομηχανία, ο δείκτης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προέρχονται από την συνολική βιομηχανική δραστηριότητα, C_{tot} , αναλύεται στους παρακάτω δείκτες [Ang B.W., 1999]:

- Στη συνολική βιομηχανική παραγωγή, Y , (που αποτιμάται οικονομικά) (activity effect).
- Στη συνεισφορά του κάθε χρησιμοποιούμενου καυσίμου στη συνολική ενεργειακή χρήση, $\Sigma E_{i,j}/E_i$ (fuel effect)· για την εκτίμηση του συγκεκριμένου δείκτη, χρησιμοποιούνται δεδομένα από το υποδεέστερο επίπεδο ανάλυσης του βιομηχανικού υποτομέα. Οι υπο-δείκτες i, j , εκφράζουν τον υπο-τομέα και το καύσιμο αντίστοιχα.
- Στο μέσο συντελεστή εκπομπών της βιομηχανίας, $\Sigma C_{i,j}/E_{i,j}$ (emission coefficient effect)· και αυτή η εκτίμηση, ανάγεται στο επίπεδο του βιομηχανικού υπο-τομέα.

³ Η ταυτότητας Kaya είναι υπό αμφισβήτηση. Οι αμφιβολίες αφορούν την ορθότητα της απόδοσης του περιεκτικού παράγοντα T σε έναν απλουστευμένο δείκτη π.χ εκπομπές/ΑΕΠ [Roca J., 2002, Ang B.W., Choi Ki Choi, 2003, Ekins P., 2004]

- Στη δομή της βιομηχανίας δηλ. τη συνεισφορά του κάθε βιομηχανικού υπο-τομέα στις συνολικές οικονομικές απολαβές της βιομηχανίας, $\Sigma Y_i/Y$ (product mix effect) η οποία επίσης αφορά σε χαμηλότερο επίπεδο ανάλυσης βιομηχανικού υπο-τομέα.
- Στην ενεργειακή ένταση της βιομηχανίας ως αποτέλεσμα των μεταβολών των ενεργειακών εντάσεων του κάθε υπο-τομέα, $\Sigma E_i/Y_i$ (energy intensity effect).

Η «βασική εξίσωση της αποδόμησης» είναι η (2.5)

$$C_{tot} = Y \sum_{i,j} \left(\frac{E_{i,j}}{E_i} \cdot \frac{C_{i,j}}{E_{i,j}} \cdot \frac{Y_i}{Y} \cdot \frac{E_i}{Y_i} \right) \quad (2.5)$$

Περαιτέρω, η συνολική ενεργειακή ένταση (αποτιμώμενη ως μεικτός οικονομικο-θερμοδυναμικός δείκτης) της βιομηχανίας, I_{tot} , αποδίδεται ως συνάρτηση των παρακάτω δεικτών [Zhang F.Q., et al., 2001, Ramirez A., et al., 2005, Greening et al., 1997]:

- Της δομής, S_s ,
- και της ενεργειακής έντασης, I_s , του κάθε βιομηχανικού υπο-τομέα, s .

Η «βασική εξίσωση της αποδόμησης» είναι η (2.6):

$$\frac{E_{tot}}{Y_{tot}} = \sum_s \frac{Y_s}{Y_{tot}} \cdot \frac{E_s}{Y_s} \Rightarrow I_{tot} = \sum_s S_s \cdot I_s \quad (2.6)$$

Αντίστοιχα, η συνολική ενεργειακή χρήση του βιομηχανικού τομέα, E_{tot} , διαμορφώνεται από [IEA, 2004, '30 years of energy use in IEA countries]:

- Τη συνολική παραγωγικότητα του βιομηχανικού τομέα Y_{tot}
- Τις δομικές αλλαγές στη βιομηχανία που εκφράζονται με τη συνεισφορά της δραστηριότητας των βιομηχανικών υπο-τομέων στη συνολική βιομηχανική δραστηριότητα, S_s .
- Την ενεργειακή ένταση των επιμέρους βιομηχανικών υπο-τομέων I_s .

Η «βασική εξίσωση της αποδόμησης» είναι η (2.7).

$$E_{tot} = Y_{tot} \sum_s \frac{Y_s}{Y_{tot}} \cdot \frac{E_s}{Y_s} = Y_{tot} \sum_s S_s \cdot I_s \quad (2.7)$$

Αφού έχει οριστεί η «βασική εξίσωση της αποδόμησης», ακολουθεί η ποσοτικοποίηση του αποτελέσματος της μεταβολής των δεικτών στη συνολική μεταβολή του σύνθετου δείκτη. Αυτή, πραγματοποιείται είτε με την αθροιστική προσέγγιση είτε με την πολλαπλασιαστική προσέγγιση [Ang B.W., et al., 2004, Ang B.W., 2004]. Οι δύο προσεγγίσεις παρουσιάζονται παρακάτω για την περίπτωση της αποδόμησης της με-

ταβολής της συνολικής ενεργειακής χρήσης στη βιομηχανία στις μεταβολές της συνολικής βιομηχανικής παραγωγικότητας, της δομής και της ενεργειακής έντασης.

1η. Αθροιστική προσέγγιση: Σύμφωνα με την αθροιστική προσέγγιση, οι μεταβολές των εμπλεκόμενων δεικτών, ορίζονται ως η διαφορά των τιμών του κάθε δείκτη μεταξύ δύο ετών 0 (το έτος «αναφοράς») και t. Η μεταβολή της συνολικής ενεργειακής χρήσης στη βιομηχανία μεταξύ των ετών 0 και t, αποδίδεται ως άθροισμα των διαφορών των τιμών της παραγωγικότητας, της δομής και της ενεργειακής έντασης του τομέα, για τα ίδια έτη και περιγράφεται από την εξίσωση (2.8). Οι υπο-δείκτες, *enrg*, *prod*, *str* και *int*, εκφράζουν τη συνολική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης, και τις μεταβολές της παραγωγικότητας, της δομής και της ενεργειακής έντασης αντίστοιχα.

$$\Delta_{enrg} = E_t - E_0 = \Delta_{prod} + \Delta_{str} + \Delta_{int} + \Delta_{res} \quad (2.8)$$

Η Παράμετρος Δ_{res} , εκφράζει την ποσότητα της ενεργειακής κατανάλωσης της οποίας η μεταβολή παραμένει ανεξήγητη (υπόλοιπο αποδόμησης).

2η. Πολλαπλασιαστική προσέγγιση: Στην πολλαπλασιαστική προσέγγιση, οι μεταβολές των εμπλεκόμενων δεικτών, ορίζονται ως ο λόγος των τιμών του κάθε δείκτη μεταξύ των ετών 0 και t. Η μεταβολή της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης στη βιομηχανία μεταξύ των ετών 0 και t, αποδίδεται ως το γινόμενο των λόγων των τιμών της παραγωγικότητας, της δομής και της ενεργειακής έντασης του τομέα, για τα ίδια έτη και περιγράφεται από την εξίσωση (2.9).

$$D_{enrg} = \frac{E_t}{E_0} = D_{prod} \cdot D_{str} \cdot D_{int} \cdot D_{res} \quad (2.9)$$

Σε αντιστοιχία με την αθροιστική προσέγγιση, η παράμετρος D_{res} , είναι το υπόλοιπο της αποδόμησης και εκφράζει το ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης του οποίου η μεταβολή παραμένει ανεξήγητη.

Η Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών, χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των παρατηρούμενων μεταβολών της ενεργειακής χρήσης μεταξύ δύο χρονικών περιόδων. Σ' αυτήν την περίπτωση εφαρμόζεται ως περιοδική ανάλυση. Ωστόσο, μπορεί να εφαρμοστεί και ως ανάλυση χρονοσειρών κατά την οποία παρακολουθούνται οι μεταβολές των εμπλεκόμενων δεικτών μεταξύ δύο ετών και επιπλέον για μια σειρά ετών. Σ' αυτήν την περίπτωση, το έτος αναφοράς, σε σχέση με το οποίο παρατηρούνται οι μεταβολές των εξεταζόμενων δεικτών, είναι κυλιόμενο. Η ανάλυση χρονοσειρών, είναι περισσότερο ακριβής καθώς εξετάζει λεπτομερέστερα τις ετήσιες μεταβολές των

εμπλεκόμενων δεικτών και μπορούν περαιτέρω να αξιολογηθούν μία προς μία οι παρεμβάσεις / τα γεγονότα που οδήγησαν σε αυτές [Ang B.W., 1995].

Οι μέθοδοι της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών, δηλ. το σύνολο των μαθηματικών προσεγγίσεων με τις οποίες αποτιμάται το αποτελέσματα της μεταβολής των δεικτών στη συνολική μεταβολή του σύνθετου δείκτη, διαχωρίζονται ανάλογα με τον τρόπο στάθμισης της σημαντικότητας των επιμέρους δεικτών στις παρακάτω δύο ευρύτερες κατηγορίες [Ang B.W. et al., 1998]:

1η. Μέθοδοι της κατηγορίας Laspeyres.

2η. Μέθοδοι της κατηγορίας Divisia.

Για την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου Αναλυτικής Αποδόμησης πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν τα παρακάτω τέσσερα (4) βασικά κριτήρια (Ang B.W. 2004, 1998):

1. Η ύπαρξη θεωρητικού υποβάθρου. Οι υπολειμματικοί όροι θα πρέπει να είναι οι μικρότεροι δυνατοί. Στη βέλτιστη περίπτωση κατά την αθροιστική αποδόμηση πρέπει να ισχύει η συνθήκη $\Delta X_{res}=0$ και αντίστοιχα κατά την πολλαπλασιαστική αποδόμηση $D_{res}=1$. Επιπρόσθετα, στην εφαρμογή της μεθόδου για την αποδόμηση ενός αθροιστικού δείκτη μεταξύ των ετών 0 και t, και αντίθετως μεταξύ των ετών t και 0, τα αποτελέσματα στην αθροιστική αποδόμηση θα πρέπει να είναι οι αντίθετοι αριθμοί και στην πολλαπλασιαστική αποδόμηση να είναι οι αντίστροφοι. Τότε η μέθοδος είναι συμμετρική ως προς το χρόνο.

2. Προσαρμοστικότητα. Αναφέρεται στην ικανότητα των μεθόδων να επεξεργαστούν δεδομένα με μεγάλες αποκλίσεις (όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αναλύσεων που αφορούν διακρατικές συγκρίσεις) ή αρνητικές και μηδενικές τιμές (όπως συμβαίνει όταν εισάγεται ένα νέο καύσιμο στην ενεργειακή χρήση ή αντίστοιχα όταν σταματά η χρήση κάποιου καυσίμου).

3. Ευκολία χρήσης της μεθόδου.

4. Ευκολία στην κατανόηση και την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Αφορά την κατανόηση της λειτουργίας της μεθόδου και συνδέεται με την ύπαρξη θεωρητικού υποβάθρου (όσο μικρότερο υπόλοιπο υπάρχει τόσο πιο κατανοητά είναι τα αποτελέσματα). Ουσιαστικά η ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι η ίδια για όλες τις μεθόδους αλλάζει όμως το μέγεθος των εκτιμώμενων αποτελεσμάτων ανάλογα με τη μέθοδο.

Η μέθοδος Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών που θεωρείται περισσότερο εύχρηστη και αξιόπιστη είναι η μέθοδος του Λογαριθμικού Μέσου του Δείκτη Divisia

(Logarithmic Mean Divisia Index – LMDI) [Ang B.W., et al., 2003, Ang B. W., et al., 1998, Zhang F. Q., et al., 2001, Zhang F. Q., et al., 2000, Ang B.W., et al., 2004, Albrecht J., et al., 2002, Ang B. W., 2005, Ang B. W., Liu N., 2007]. Στη συγκεκριμένη μέθοδο η σημαντικότητα της μεταβολής των επιμέρους δεικτών στη μεταβολή του σύνθετου δείκτη, σταθμίζεται με μια λογαριθμική συνάρτηση των μεταβολών του σύνθετου δείκτη. Η μέθοδος αυτή δεν αφήνει υπόλοιπο αποδόμησης. Έτσι η παρατηρούμενη μεταβολή του δείκτη που εξετάζεται, εξηγείται με πληρότητα και τα αποτελέσματα είναι ευκολονόητα.

Με τη χρήση των μεθόδων Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών, η μεταβολή της ενεργειακής χρήσης στο σύνολο του βιομηχανικού τομέα⁴ ερμηνεύεται με βάση τις μεταβολές δεικτών στο επίπεδο του βιομηχανικού υπο-τομέα. Όσο χαμηλότερο είναι το επίπεδο ανάλυσης, τόσο πληρέστερη είναι η ερμηνεία της μεταβολής της ενεργειακής χρήσης. Κατ’ αντιστοιχία με τις «από την βάση προς τη κορυφή» προσεγγίσεις, από την παρατήρηση των μεταβολών των στοιχείων της βάσης αξιολογούνται οι πολιτικές του παρελθόντος και ανάλογα προσδιορίζονται οι μελλοντικές δράσεις, καθιστώντας έτσι τις μεθόδους Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών ένα αξιόπιστο εργαλείο ενεργειακής πολιτικής [Ang B.W., 1999].

Επιπρόσθετα, στις μεθόδους Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών, ενσωματώνονται φυσικο-θερμοδυναμικοί δείκτες και δείκτες φυσικής δραστηριότητας, οι οποίοι έχουν προηγουμένως συντεθεί σε δείκτες σε ανώτερα ή ανώτατα επίπεδα ανάλυσης με τη χρήση μιας μεθόδου Σύνθεσης, όπως για παράδειγμα η φυσική ενεργειακή του απόδοση του βιομηχανικού (υπο)-τομέα. Με την ενσωμάτωση δεικτών φυσικής δραστηριότητας στη μεθοδολογία της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών, ουσιαστικά προτείνεται μια νέα προσέγγιση ανάλυσης τόσο των παραγόντων που υπόκεινται της αλλαγής στη *ροή των υλικών* σε μια οικονομία [Cleveland C., Ruth M., 1998], όσο και στη δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης των πόρων [Reijnders L., 1998]. Με τον παραπάνω τρόπο έχουν ερμηνευθεί οι δομικές αλλαγές και η μεταβολή της ενεργειακής έντασης της συνολικής παραγωγικής δραστηριότητας στην Ολλανδία [Farla J.C.M., et al., 1998, 2000]. Με την ίδια μεθοδολογική προσέγγιση έχει αποδομηθεί η μεταβολή του δείκτη των εκπομπών CO₂ από το σύνολο της παραγωγικής δραστηριότητας στην Ελλάδα [Diakoulaki D., et al., 2006].

⁴ Αλλά και άλλων συνολικών μεγεθών τόσο για κάθε (υπο)-τομέα της εθνικής οικονομίας όσο και για το σύνολο της.

2.1.4. Τάση της ενεργειακής απόδοσης και χρήσης στη βιομηχανία σε διεθνές επίπεδο και στη Ελλάδα

Σε διεθνές επίπεδο, η ενεργειακή απόδοση και χρήση του βιομηχανικού τομέα, έχουν αναλυθεί, τόσο με τη χρήση των μεθόδων Σύνθεσης όσο και με τη χρήση της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών.

Συγκεκριμένα, στα πλαίσια του προγράμματος παρακολούθησης της ενεργειακής απόδοσης 15 χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης ODYSEE, εκτιμήθηκαν οι δείκτες «Ενεργειακής Έντασης» (Energy Intensity) και «Μοναδιαίας Ενεργειακής Κατανάλωσης» (Unit Consumption Index) [Energy efficiency trends in industry in the EU 15, 2004]. Η μείωση των παραπάνω δεικτών, είναι ενδεικτική της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης στο βιομηχανικό τομέα. Σύμφωνα με αυτήν την ανάλυση διαπιστώθηκε ότι:

- Σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, η ενεργειακή ένταση (οικονομική συνιστώσα της ενεργειακής απόδοσης) του βιομηχανικού τομέα μειώθηκε από το 1990 έως το 2002, έκτος από την περίπτωση της Ισπανίας και της Πορτογαλίας.
- Η τάση της ενεργειακής έντασης στους υπο-τομείς της «βαρειάς» βιομηχανίας, και συγκεκριμένα στη χημική βιομηχανία και στον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών, παρουσιάζει πτώση στους υπο-τομείς τροφίμων, χαρτοποιίας και κλωστοϋφαντουργίας, η τάση της ενεργειακής έντασης είναι αυξητική.
- Αναφορικά με τις παρατηρούμενες δομικές αλλαγές, στον τομέα της μεταποίησης⁵ στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την περίοδο 1993-2002, έχουν παρατηρηθεί μεταβάσεις προς λιγότερο ενεργοβόρους υπο-τομείς στη Σουηδία, την Ιρλανδία, τη Φιλανδία, τη Γαλλία, την Ισπανία και το Βέλγιο. Αντίθετα, μεταβάσεις σε περισσότερο ενεργοβόρους υπο-τομείς παρατηρήθηκαν στην Ελλάδα, την Αυστρία, και την Ολλανδία. Γενικότερα ο ρυθμός μείωσης της ενεργειακής έντασης του βιομηχανικού τομέα στην ΕΕ είναι οριακός κατά 0.1% το χρόνο.
- Ο δείκτης «Μοναδιαίας Ενεργειακής Κατανάλωσης», για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης την περίοδο 1990-2002 και για τους τομείς της χαρτοποιίας, χάλυβα και τσιμέντου δηλ. στους υπο-τομείς της «βαρειάς» βιομηχανίας βελτιώθηκε.

Επιπρόσθετα, η ανάλυση της ενεργειακής κατανάλωσης του μεταποιητικού τομέα με τη χρήση της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών, που πραγματοποιήθηκε για τις χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (Ο.Ο.Σ.Α) από το

⁵ Ο μεταποιητικός τομέας είναι υποδιαίρεση του βιομηχανικού τομέα. Συγκεκριμένα, δεν περιλαμβάνει τους υπο-τομείς της εξόρυξης και των κατασκευών.

1973 έως το 2000, και διεξήχθη από το Διεθνές Πρακτορείο Ενέργειας (International Energy Agency – IEA) [IEA / OECD, 2004], έδειξε ότι:

- Συνολικά, η ενεργειακή ένταση του τομέα της μεταποίησης για τις χώρες του Ο.Ο.Σ.Α έχει μειωθεί στο 50% σε σχέση με το 1973, ποσοστό που θεωρείται μικρό.
- Η συνεισφορά των ενεργοβόρων τομέων είναι πλέον μικρότερη στη συνολική παραγωγή της μεταποίησης. Ωστόσο, το μεγαλύτερο ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης οφείλεται σε αυτούς.
- Οι μεγάλες αποκλίσεις στην εξέλιξη της συνολικής ενεργειακής έντασης μεταξύ των κρατών, οφείλονται στις διαφορετικές αλλαγές της δομής του μεταποιητικού τομέα του κάθε κράτους.
- Η μείωση της συνολικής ενεργειακής έντασης, οφείλεται κυρίως στις δομικές αλλαγές των μεταποιητικών τομέων
- Η ενεργειακή ένταση, αφαιρούμενων των δομικών αλλαγών, μειώνεται με μικρότερο ρυθμό από το 1986 και μετά, σε όλους του τομείς της μεταποίησης, κυρίως λόγω της μείωσης των τιμών στα ορυκτά καύσιμα.
- Χωρίς την επίδραση των πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας και την στροφή της συνολικής οικονομίας σε λιγότερο ενεργοβόρους τομείς, η ενεργειακή χρήση το 1998, θα ήταν διπλάσια.

Στην Ελλάδα, αντίστοιχη έρευνα για την ενεργειακή απόδοση στη βιομηχανία, πραγματοποιήθηκε από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ – CRES), στα πλαίσια του προγράμματος παρακολούθησης της ενεργειακής απόδοσης, ODYSEE. Δύο δείκτες χρησιμοποιήθηκαν για την παρακολούθηση των εξελίξεων της ενεργειακής απόδοσης στην Ελλάδα [Iatridis M., Zoidis G., 2004, 2006, CRES]:

- Ο δείκτης πρωτογενούς «Ενεργειακής Έντασης» (βάση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας), στον οποίο απεικονίζεται επιπλέον και η αποδοτικότητα του τομέα μετατροπής και παραγωγής ηλεκτρισμού.
- Ο δείκτης τελικής «Ενεργειακής Έντασης» (με βάση την τελική κατανάλωση ενέργειας) στον οποίο απεικονίζεται η αποδοτικότητα του συνόλου των υπο-τομέων που απαρτίζουν τον τομέα κατανάλωσης ενέργειας.

Στο σύνολο όλων των παραγωγικών τομέων της χώρας, η ενεργειακή ένταση (πρωτογενής και τελική) αυξανόταν συνεχώς από 1990 έως το 1998. Πτωτική τάση παρουσιάστηκε από το 1998 και μετά. Το 2002, οι δύο δείκτες «Ενεργειακής Έντασης», μειώθηκαν κατά 0,23% και 0,15% αντίστοιχα, σε σχέση με το 1990 [Iatridis M., Zoidis G., 2004, CRES].

Επιπρόσθετα, εκτιμήθηκε και ο δείκτης «Μοναδιαίας Ενεργειακής Κατανάλωσης» (Unit Consumption Index). Αυτός, στο σύνολο του βιομηχανικού τομέα, βελτιώθηκε το 2002 κατά 15% σε σχέση με το 1990. Το ποσοστό αυτό υπερβαίνει τον Ευρωπαϊκό μέσο όρο, όπου αντίθετα ο αντίστοιχος δείκτης μειώθηκε κατά 10%. Η παρατηρούμενη βελτίωση, οφείλεται κυρίως στην βελτίωση της τεχνικής συνιστώσας της απόδοσης στη «βαρεία βιομηχανία»: συγκεκριμένα, αυτή βελτιώθηκε κατά 58% στη χημική βιομηχανία, κατά 50% στη παραγωγή χάλυβα και κατά 26% στην τσιμεντοβιομηχανία [Iatridis M., Zoidis G., 2006, CRES]. Ωστόσο, πέραν της παραγωγής τσιμέντου, η ενεργειακή απόδοση στον υπόλοιπο υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών, επιδεινώθηκε την περίοδο 1990-1998, σταθεροποιήθηκε στα επίπεδα του 1990 το 2000, και τελικά βελτιώθηκε κατά 2,6% το 2002 σε σχέση με το 1990 [Iatridis M., Zoidis G., 2004, CRES]. Στον υπο-τομέα τροφίμων η ενεργειακή απόδοση βελτιώθηκε κατά 2,8% την περίοδο 1990-2002. Αντίθετα, η ενεργειακή απόδοση στη βιομηχανία υφασμάτων, χαρτοποιίας και στο σύνολο των υπο-τομέων κατασκευής εξοπλισμού (π.χ. εξοπλισμός μεταφορών, ιατρικός εξοπλισμός κτλ.), επιδεινώθηκε.

Η συνεισφορά της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης (αποτιμώμενη οικονομικά με το δείκτη «Ενεργειακής Έντασης») της «βαρείας» βιομηχανίας, στην παρατηρούμενη βελτίωση της απόδοσης του συνόλου της μεταποίησης, παρατηρήθηκε και κατά την ανάλυση του αποτελέσματος της βιομηχανικής ανάπτυξης στη μεταβολή των εκπομπών CO₂, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για την χρονική περίοδο, 1990-2003 [Diakoulaki D., et al., 2007]. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, η συνολική ενεργειακή ένταση του μεταποιητικού τομέα, επιδρά θετικά στη μείωση της ποσότητας των εκπομπών CO₂ (λόγω της βελτίωσης της), από το 1997 και έπειτα. Αντίθετα, για την περίοδο, 1990-1997, το αποτέλεσμα της ενεργειακής έντασης στη μείωση των εκπομπών ήταν αρνητικό. Από την άλλη, για την περίοδο 1985-1995, έχει παρατηρηθεί μείωση της ενεργειακής έντασης στο σύνολο του μεταποιητικού τομέα, η οποία αποδίδεται κυρίως στην ύφεση της βιομηχανίας τη δεκαετία του '80. Παρά ταύτα, η περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής έντασης έως και το 1995, παρεμποδίζεται λόγω του μείγματος καυσίμου στην ηλεκτροπαραγωγή σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες δομικές αλλαγές του τομέα, που αφορούν κυρίως στη μετάβαση προς υπο-τομείς που καταναλώνουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια, και άνθρακα (π.χ. ο υπο-τομέας των τροφίμων και η τσιμεντοβιομηχανία) [Mavrotas G., et al., 2000].

2.2. Κατανεμημένη Παραγωγή

Με τον όρο Κατανεμημένη Παραγωγή (ΚΠ) συνοπτικά εννοείται η μικρής κλίμακας παραγωγή ηλεκτρισμού. Ως προς τον ακριβή ορισμό της ΚΠ, φαίνεται να μην υπάρχει συναίνεση καθώς η έννοια εμπεριέχει πολλές διαφορετικές τεχνολογίες και εφαρμογές σε διαφορετικά ενεργειακά συστήματα. Το Διεθνές Συμβούλιο Μεγάλης Κλίμακας Ηλεκτρικών Συστημάτων (International Council on Large Electric Systems CIGRE), ορίζει ως ΚΠ την ηλεκτροπαραγωγή η οποία [CIRED, 1999, Dondi et al., 2002]:

- Είναι αποκεντρωμένη
- Η λειτουργία και η επέμβαση των μονάδων στο σύστημα δεν γίνεται από κεντρικούς σταθμούς
- Συνδέεται στο σύστημα διανομής
- Απαρτίζεται από μονάδες μικρότερες των 100 MW.

Ο περισσότερο δόκιμος έως τώρα αλλά και σχετικά ευρύς ορισμός θεωρεί ότι η ΚΠ πρόκειται για μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία μπορεί να συνδεθεί άμεσα με το σύστημα διανομής είτε απευθείας με τον καταναλωτή [Ackermann T., al., 2001, Pepermans et al., 2005, IEA, 2002]. Η νέα έννοια της ΚΠ συνοδεύεται από συμπληρωματικούς όρους όπως [Ackermann et al., 2001]:

- Κατανεμημένοι Πόροι (distributed resources), δηλ. οι εγκαταστάσεις της ΚΠ και οι αντίστοιχες βοηθητικές υπηρεσίες που σχετίζονται με τη σταθερή λειτουργία του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού.
- Κατανεμημένη Ισχύς (distributed power): ο όρος αναφέρεται στην απαραίτητη ισχύ για την λειτουργία των σταθμών ΚΠ, στην απαιτούμενη ισχύ πρόσθετων ενεργειακών αναγκών που θα διευθετηθούν με ΚΠ και τα απαραίτητα αποθέματα ισχύος για την εκκίνηση της λειτουργίας των σταθμών ΚΠ (π.χ. γεννήτριες εν αναμονή)⁶
- Κατανεμημένες Εταιρίες Παραγωγής Ηλεκτρισμού (distributed utilities) δηλ. οι φορείς που ασχολούνται με τον ενεργειακό σχεδιασμό και την ενσωμάτωση της ΚΠ.

Οι μονάδες ΚΠ χαρακτηρίζονται ως προς το μέγεθός τους ανάλογα με την δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Για παράδειγμα, μονάδες ισχύος έως και 5 kW, χαρακτηρίζονται ως μικρο-κλίμακας μονάδες (micro). Αντίστοιχα, μονάδες ισχύος από 50 έως και 300 MW, θεωρούνται μεγάλης κλίμακας (large) [Ackerman et al.,

⁶ Διαφορετικά η συγκεκριμένη ισχύς παρέχεται από το δίκτυο και επιβαρύνεται οικονομικά ο αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας.

2001]. Οι τεχνολογίες οι οποίες μπορούν να συμπεριληφθούν στην ΚΠ είναι θεωρητικά απεριόριστες. Μερικές από αυτές είναι [Pepermans et al., 2005, IEA, 2002]:

- Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (ΜΕΚ),
- αεριοστρόβιλοι και μικρο-στρόβιλοι,
- μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες,
- τεχνολογίες εκμετάλλευσης γεωθερμικής ενέργειας,
- τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως ηλιακά φωτοβολταϊκά συστήματα και ανεμογεννήτριες,
- τεχνολογίες επεξεργασίας βιομάζας,
- κυψέλες καυσίμων.

Ως προς τα βασικά τους χαρακτηριστικά, οι τεχνολογίες αυτές κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες [Ackerman et al., 2001]:

- Τεχνολογίες ΑΠΕ, π.χ. φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες.
- Μοναδιαίες (modular), δηλ. μοναδιαίες τεχνολογίες που απαρτίζονται από μικρές ανεξάρτητες υπό-μονάδες, π.χ. κυψέλες καυσίμων, μικρο-υδροηλεκτρικά, ανεμογεννήτριες κτλ.
- Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ), π.χ. αεριοστρόβιλοι.

2.2.1. Διείσδυση της Κατανεμημένης Παραγωγής στο ενεργειακό σύστημα

Ο τομέας του ηλεκτρισμού αποτελεί από τη φύση του μια εξαιρετικά δαπανηρή και εξαρτώμενη από την τεχνολογία επιχείρηση που υπόκειται σε ρυθμιστικούς περιορισμούς. Το πλαίσιο δράσης της ενεργειακής πολιτικής στις Η.Π.Α για την αναδιαμόρφωση και προσαρμογή του ηλεκτρικού τομέα στις απαιτήσεις του 21ου αιώνα βασίζεται στους πέντε παρακάτω βασικούς στόχους [EPRI, 2003]:

- Σταθεροποίηση της αγοράς ηλεκτρισμού.
- Παροχές για το δημόσιο συμφέρον.
- Προστασία του Περιβάλλοντος.
- Εκπαίδευση του καταναλωτή.
- Τεχνολογικές καινοτομίες.

Αντίστοιχα, η ενεργειακή πολιτική της Μ. Βρετανίας οριοθετείται στα πλαίσια των παρακάτω τεσσάρων βασικών αξόνων [Energy white paper, UK, 2003]:

- Μείωση εκπομπών CO₂. Προϋποθέτει την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας και τη διείσδυση ΑΠΕ.

- Αξιοπιστία ενεργειακής προμήθειας. Απαιτείται σωστή εσωτερική δομή και ρυθμιστικό σύστημα στην Ευρώπη. Επίσης, επιδίωξη διεθνών σχέσεων για την εδραίωση της σταθερότητας και της οικονομίας πετρελαιοπαραγωγών χωρών.
- Προώθηση ανταγωνιστικών ενεργειακών αγορών. Στόχος είναι η οικονομική ανάπτυξη και η επιχειρησιακή ανταγωνιστικότητα στην προμήθεια αξιόπιστης και οικονομικής ηλεκτρικής ενέργειας. Βασικός είναι ο ρόλος της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρισμού.
- Κοινωνικοί στόχοι. Αυτοί αφορούν στην εξασφάλιση επαρκούς και οικονομικής θέρμανσης για κάθε κατοικία.

Από τη διαμόρφωση του νέου ενεργειακού σκηνικού δεδομένων των τεχνολογικών εξελίξεων, των θεσμικών αλλαγών και των αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών, εξετάζεται το ενδεχόμενο της ενσωμάτωσης της ΚΠ στο υφιστάμενο σύστημα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού και η σταδιακή απεξάρτηση από τις μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις. [Pepermans et al., 2005]. Οι βασικοί παράγοντες που συνηγορούν υπέρ αυτής της εξέλιξης είναι [IEA, 2002, Dondi et al., 2002]:

- Η ανάγκη για ενσωμάτωση περισσότερο ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών και τεχνολογιών ΑΠΕ στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα.
- Οι τελευταίες εξελίξεις στις τεχνολογίες της ΚΠ.
- Οι περιορισμοί που αφορούν την κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρισμού.
- Η αυξανόμενη απαίτηση των καταναλωτών για οικονομικά αποδοτικότερη και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια.
- Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού.
- Οι σχετικές με την κλιματική αλλαγή περιβαλλοντικές ανησυχίες.

Προβλέπεται μέσα στην επόμενη εικοσαετία σημαντική εξάπλωση των εγκαταστάσεων ΚΠ, η οποία ενθαρρύνεται και από την τρέχουσα ευρωπαϊκή νομοθεσία. [EU Directive, 2001/77/EC]. Σε συγκεκριμένες περιοχές όπου δεν υφίσταται δίκτυο προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας η ΚΠ θα είναι η μοναδική πηγή ηλεκτρισμού. Αντίθετα, σε επαρκώς διασυνδεδεμένες περιοχές η ενσωμάτωση της ΚΠ στο υφιστάμενο δίκτυο και η σταδιακά πλήρης εξάρτηση από αυτή αντιμετωπίζεται με σκεπτικισμό. Η μελλοντική πρόκληση, τόσο από τεχνολογική όσο και από οικονομική σκοπιά είναι ο καθορισμός του βέλτιστου τρόπου διεύθυνσης αυτής.

Το ζήτημα του ακριβούς σημείου διασύνδεσης των μονάδων ΚΠ στο δίκτυο, δηλ. εάν αυτή θα συνδέεται στη μέση (μεταφορά) ή χαμηλή τάση (διανομή), είναι διαφο-

ρούμενο. Υποστηρίζεται ότι η ΚΠ μπορεί να καλύψει τη ζήτηση σε ενέργεια συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής και μόνο, χωρίς την ανάγκη γραμμών μεταφοράς [Milbotrow D., 1998]. Ωστόσο, ο παραπάνω ισχυρισμός δεν είναι επαρκώς τεκμηριωμένος και αποτελεί μείζον ζήτημα συζήτησης [Ackerman, et al., 2001].

Από πολλούς θεωρείται ότι η ΚΠ είναι πιθανή λύση για τις ανάγκες που προκύπτουν από την αυξανόμενη ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια και που συνήθως οδηγούν σε επέκταση του τοπικού δικτύου. Η ενσωμάτωση της ΚΠ στο ενεργειακό σύστημα με την αντίστοιχη αποφυγή της επέκτασης του δικτύου εικάζεται ότι μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των απωλειών του δικτύου έως και 6,8% [IEA, 2002] και μείωση του επενδυτικού κόστους έως και 10-15% [Dondi et al., 2002]. Ωστόσο, στην περίπτωση που η ΚΠ συνδέεται στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, καταλογίζεται και σε αυτή μέρος⁷ των προβλημάτων του δικτύου και των απωλειών. Ούτως η άλλως η εκτεταμένη ενσωμάτωση της ΚΠ θεωρείται προς το παρόν επίφοβη. Οι ανασταλτικοί παράγοντες αφορούν κυρίως σε θέματα πολιτικών ρυθμίσεων. Αυτοί είναι [Pepermans et al., 2005, Dondi et al., 2002]:

- Το κόστος της επένδυσης, λειτουργίας και συντήρησης της ΚΠ.
- Η οικονομική αποδοτικότητα της ΚΠ.
- Ο ρόλος της ΚΠ στην ενδυνάμωση της ενεργειακής ασφάλειας.
- Η διασύνδεση της ΚΠ στο δίκτυο.

Οι εγκαταστάσεις ΚΠ απαιτούν υψηλό κόστος επένδυσης και παράλληλα η διαφορά του κόστους μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών είναι σημαντική. Επιπλέον, δεδομένου ότι οι περισσότερες τεχνολογίες ΚΠ χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη φυσικό αέριο, η επιλογή του είδους πρωτογενούς ενέργειας περιορίζεται. Υπό αυτήν την έννοια η ενσωμάτωση της ΚΠ ενδέχεται να οδηγήσει σταδιακά σε εξάρτηση από αέριους υδρογονάνθρακες οι τιμή των οποίων θα είναι καθοριστικής σημασίας στο λειτουργικό κόστος των επενδύσεων.

Όσο αφορά στην οικονομική αποδοτικότητα δηλ. την αποφυγή κατασπατάλησης του ηλεκτρισμού (αλλά και των χρησιμοποιούμενων πόρων για την παραγωγή του), αυτή εξαρτάται από την αγορά ηλεκτρισμού και αφορά τόσο σε ζητήματα τιμολόγησης της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και σε ζητήματα διαχείρισης και συντήρησης του δικτύου διανομής ηλεκτρισμού [IEA, 2002].

⁷ Ωστόσο η χρήση του δικτύου από την ΚΠ είναι μικρότερης έκτασης και το μέρος αυτής στα προβλήματα του δικτύου και τις απώλειες είναι μικρότερο.

Σχετικά με την ενεργειακή ασφάλεια, αυτή ενισχύεται από την ενσωμάτωση της ΚΠ, όσο αφορά στην αξιόπιστη προμήθεια ενέργειας [IEA, 2002]. Στην περίπτωση όμως που η ενεργειακή ασφάλεια συνδέεται με τη διαφοροποίηση καυσίμου και την απεξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα, η ενσωμάτωση της ΚΠ δεν την διασφαλίζει, καθώς όπως έχει ήδη ειπωθεί, αναμένεται ότι θα οδηγήσει σε εξάρτηση από αέριους υδρογονάνθρακες.

Τέλος, το θέμα της διασύνδεσης της ΚΠ στο δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού, είναι σημαντικό καθώς αυτό δεν είναι σχεδιασμένο για την άμεση σύνδεση ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών σε αυτό [Ackermans et al., 2001]. Παράλληλα, ο σχεδιασμός, η υφιστάμενη κατάσταση των τοπικών δικτύων και το ανεπαρκές ρυθμιστικό πλαίσιο επιδρούν ανασταλτικά στην ενσωμάτωση της ΚΠ [Dondi et al., 2002].

2.2.1.1. Οι Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Κατανεμημένης Παραγωγής

Οι τεχνολογίες της ΚΠ, που ευνοούν την αποδοτικότερη παραγωγή ηλεκτρισμού και κατά συνέπεια μετριάζουν το περιβαλλοντικό αντίκτυπο των σχετιζόμενων εκπομπών, αφορούν κυρίως σε σταθμούς ΣΗΘ και ΑΠΕ. Ειδικά στους τομείς κατανάλωσης ενέργειας που οι ανάγκες για ατμό είναι αυξημένες, όπως για παράδειγμα στη βιομηχανία, η εγκατάσταση μονάδων ΣΗΘ ενδέχεται να οδηγήσει σε εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας από 10% έως 30%, και κατά συνέπεια σε ανάλογη μείωση των σχετικών εκπομπών [Pepermans, et al. 2005].

Συνολικά όμως, η χρήση των τεχνολογιών ΚΠ δεν αναμένεται να συνεισφέρει στη μετρίαση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Γενικότερα, στο σύνολο των τεχνολογιών, η ανάλυση του συνολικού περιβαλλοντικού αντίκτυπου είναι περίπλοκη διαδικασία [Voorspools R. K., et al., 2000]. Μια τέτοια ανάλυση (life cycle assessment) θα πρέπει να περιέχει τόσο τις άμεσα όσο και τις έμμεσα εκτιμώμενες τιμές των σχετικών εκπομπών. Οι έμμεσες εκπομπές είναι εκείνες που παράγονται κατά τη διαδικασία εξόρυξης και μεταφοράς των πρώτων υλών για την κατασκευή της μονάδας όσο και κατά τη διάρκεια της κατασκευής αυτής.

Επιπρόσθετα, ο ισχυρισμός ότι η εκτεταμένη ενσωμάτωση μονάδων ΚΠ ενδεχομένως να οδηγήσει σε υπολειτουργία των μεγάλων κεντρικών μονάδων με αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας των εκπομπών ανά παραγόμενη kWh είναι ισχυρός. Η συνολική θετική ή αρνητική επίπτωση των εφαρμογών ΚΠ όσο αφορά τις σχετικές με την παραγωγή του ηλεκτρισμού εκπομπές, εξαρτάται τόσο από το τεχνολογικό επίπεδο

δο και την εμπορικότητα των τεχνολογιών ΚΠ και των αντίστοιχων που χρησιμοποιούνται στους κεντρικούς σταθμούς, όσο και από το χρησιμοποιούμενο μείγμα καυσίμου στην αποκεντρωμένη και κεντρική παραγωγή ηλεκτρισμού.

Το περιβαλλοντικό ισοζύγιο των εγκαταστάσεων ΚΠ, ενισχύεται βέβαια από συμπληρωματικά περιβαλλοντικά οφέλη. Για παράδειγμα, από την κατάλληλη χωροθέτηση των νέων αποκεντρωμένων μονάδων και την αντίστοιχη σύνδεσή τους είτε στο μέσης τάσης δίκτυο (μεταφορά) είτε στο χαμηλής τάσης δίκτυο (διανομή), οι απώλειες ενέργειας θα μειωθούν λόγω μικρότερης έκτασης χρήσης του δικτύου [Ackerman et al., 2001].

Ωστόσο, λόγω του αριθμού και της διαφορετικότητας των τεχνολογιών, στην εγκατάσταση μονάδων ΚΠ, εμπεριέχονται περαιτέρω περιβαλλοντικά προβλήματα. Για παράδειγμα αναφέρονται τα συνοδευτικά προβλήματα των αιολικών εγκαταστάσεων (π.χ αισθητική όχληση, θόρυβος, αλλαγές στις χρήσεις γης) [Alvarez-Farizo B., Hanley N., 2002, Gagnon L., et al., 2002, Cavallaro F., Ciraolo L., 2005].

2.2.1.2. Ρυθμιστικό πλαίσιο σχετικά με την διείσδυση της ΚΠ. Τρέχουσες εξελίξεις και μελλοντικές προοπτικές

Στην Ευρώπη δεν υπάρχει κοινό νομοθετικό πλαίσιο για τη ρύθμιση των ζητημάτων που προκύπτουν κατά την ενσωμάτωση της ΚΠ στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα. Στις περισσότερες χώρες οι απαραίτητες προϋποθέσεις τίθενται από τις κεντρικές εταιρίες παραγωγής ηλεκτρισμού (π.χ. Δ.Ε.Η). Στη Γερμανία υπάρχει ένα ευρύτερο εθνικό πλαίσιο το οποίο τροποποιείται κατά περίπτωση από αυτές. Στην Αγγλία, παρέχονται πληροφορίες εν ήδη συστάσεων όσο αφορά τα θέματα διασύνδεσης. Γενικότερα, σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις, οι οδηγίες για τη διασύνδεση βασίζονται στην προηγούμενη εμπειρία. Αυτές αφορούν στην ασφάλεια του δικτύου, στην ασφάλεια των μονάδων και στην αξιόπιστη προμήθεια ηλεκτρισμού [Dondi et al., 2002]. Καλύτερες προϋποθέσεις ανάπτυξης της ΚΠ μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών, υπάρχουν στην Ολλανδία, όπου η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού είναι καλά εδραιωμένη και η ενεργειακή πολιτική ενθαρρύνει την εγκατάσταση ΑΠΕ και ΣΗΘ. Η βασική νομοθετική μέριμνα αφορά πάντα τις διαδικασίες διασύνδεσης. Το Ολλανδικό νομοθετικό πλαίσιο είναι περισσότερο σαφές και συγκεκριμένο στο θέμα της διασύνδεσης, συγκρινόμενο με των λοιπών ευρωπαϊκών χωρών [IEA, 2002]. Ένα επιπλέον ζήτημα αφορά στην οικονομική βιωσιμότητα των σταθμών ΣΗΘ η οποία

σχετίζεται με τις αυξομειώσεις των τιμών φυσικού αερίου και πετρελαίου. Στη Δυτική Ευρώπη, η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας αύξησε την ανταγωνιστικότητα και οδήγησε τελικά σε σημαντική μείωση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τις υψηλές τιμές του φυσικού αερίου, οι οποίες ακολουθούν τις τιμές του πετρελαίου, ήταν ανασταλτικό στην εξάπλωση της ΚΠ.

Στις Η.Π.Α, η διείσδυση της ΚΠ είναι περιορισμένη επίσης λόγω των χαμηλών τιμών ηλεκτρικής ενέργειας και του διαφορετικού ρυθμού προσαρμογής στην απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού των 50 πολιτειών. Και σ' αυτήν την περίπτωση η διείσδυση της ΚΠ αφορά κυρίως μονάδες ΣΗΘ, που καλύπτουν το 6% της συνολικής παραγωγής ηλεκτρισμού και είναι τοποθετημένες πλησίον μεγάλων βιομηχανικών εγκαταστάσεων [IEA, 2002]. Ο εθνικός φορέας ενέργειας στις Η.Π.Α (Department of Energy, DoE), σε συνεργασία με εργαστηριακούς φορείς έχει ξεκινήσει από το 2001 την διαδικασία ορισμού συγκεκριμένων τεχνικών στάνταρ σχετικά με τη διασύνδεση. Ωστόσο, από αυστηρά νομοθετική άποψη, στο σύνολο των 50 πολιτειών μόνο σε 9 από αυτές έχει γίνει προσπάθεια να συμπεριληφθούν στην τοπική ενεργειακή νομοθεσία ζητήματα που αφορούν την διασύνδεση των μονάδων ΚΠ στα τοπικά δίκτυα.

Στην Ιαπωνία η διάχυση της ΚΠ αποτελεί βιώσιμη προοπτική κυρίως λόγω των περιορισμένων επιλογών της αγοράς ηλεκτρισμού και των υψηλών τιμών της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι εγκαταστάσεις ΚΠ έχουν αυξηθεί κατά 11% από το 1977, και πρόκειται πάλι για σταθμούς ΣΗΘ που λειτουργούν με πετρέλαιο και φυσικό αέριο. Κυριαρχεί η τάση αναίρεσης από το νομοθετικό πλαίσιο εκείνων των θεσμικών ρυθμίσεων που αποθαρρύνουν την περαιτέρω ανάπτυξη της ΚΠ. Ωστόσο, δεν έχουν ακόμη διευθετηθεί επαρκώς τα σχετικά με τη διασύνδεση ζητήματα [IEA, 2002].

Υπό το πλαίσιο των αυστηρών νομοθετικών ρυθμίσεων που σχετίζονται με τα περιβαλλοντικά ζητήματα και την απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού, θεωρήθηκε δεδομένη η εξάπλωση της ΚΠ σε παγκόσμιο επίπεδο. Όμως τελικά η διείσδυση της ΚΠ στα υφιστάμενα ενεργειακά συστήματα δεν ήταν η αναμενόμενη. Αυτό οφείλεται αφενός στην έλλειψη σαφούς ρυθμιστικού πλαισίου σχετικά με την εγκατάσταση και διασύνδεση των σταθμών ΚΠ στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής, και αφετέρου στη διαμόρφωση των ενεργειακών τιμών από την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού (τιμές ηλεκτρισμού) και από το διεθνές οικονομικό σκηνικό (τιμές πετρελαίου και φυσικού αερίου) [IEA, 2002]. Ωστόσο, η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρισμού, ευρίσκεται ακόμα υπό διαμόρφωση. Η μελλοντική ολοκλήρωση και εδραίωση της σε παγκόσμιο επίπεδο με την ανάπτυξη ενός ανταγωνιστικού ενεργειακού περιβάλλο-

ντος και τις κατάλληλες μεταρρυθμίσεις των ενεργειακών τιμών (π.χ. αύξηση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας στις ώρες αιχμής), αναμένεται ότι θα ευνοήσει την περαιτέρω διεύρυνση της ΚΠ στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα.

Στην παρούσα διατριβή αναλύεται η ενεργειακή χρήση στον βιομηχανικό τομέα. Για την διεκπεραίωση των βιομηχανικών διεργασιών, οι ανάγκες σε θερμική ενέργεια (ατμός) είναι αυξημένες. Από τις τεχνολογίες της ΚΠ, οι πλέον κατάλληλες προς χρήση στο βιομηχανικό τομέα είναι αυτές που εντάσσονται στην ευρύτερη κατηγορία της ΣΗΘ και η βιβλιογραφική έρευνα από εδώ και στο εξής επικεντρώνεται σ' αυτή.

2.2.2. Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

Η Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (Combined Heat and Power, CHP) ή απλά συμπαγωγή (cogeneration), είναι η συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας από την ίδια πηγή πρωτογενούς ενέργειας, προς βιομηχανική και οικιακή χρήση [Hinnells M., 2008]. Συγκρινόμενη με την χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού στους κεντρικούς θερμικούς σταθμούς, από την ΣΗΘ, η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας κυμαίνεται σε ποσοστά της τάξεως του 39%, λόγω της άμεσης χρήσης της παραγόμενης θερμικής ενέργειας, η οποία στην περίπτωση της χωριστής παραγωγής απορρίπτεται και έτσι κατασπαταλείται το ενεργειακό της περιεχόμενο [Frangopoulos Ch., et al., 1994, EUDOCOGEN project, 2001]. Οι χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες στη ΣΗΘ και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1 Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά τεχνολογιών / συστημάτων ΣΗΘ [EUDOCOGEN project, 2001]

Τεχνολογίες / συστήματα ΣΗΘ	Ισχύς	Μέση ετήσια διαθεσιμότητα	Ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης ($\eta_{chp,elec}$) %		Ολικός βαθμός απόδοσης ($\eta_{chp,tot}$)	Λόγος ηλεκτρισμού προς θερμότητα
			Πλήρες φορτίο (100%)	Μερικό φορτίο (50%)		
	MW	%			%	PHR_{chp}
Ατμοστρόβιλος	0,5-100	90-95	14-35	12-28	60-85	0,1-0,5
Αεριοστρόβιλος ανοικτού κύκλου	0,1-100	90-95	25-40	18-30	60-80	0,5-0,8
Αεριοστρόβιλος κλειστού κύκλου	0,5-100	90-95	30-35	30-35	60-80	0,5-0,8
Συνδυασμένου κύκλου αεριο / ατμοστρόβιλου	4-100	77-85	35-45	25-35	70-88	0,6-2,0
Κινητήρα diesel	0,07-40	80-90	35-45	32-40	60-85	0,8-2,4
Πακέτο με παλινδρομικό κινητήρα	0,015-2	80-85	27-40	25-35	60-80	0,5-0,7
Κυψέλες καυσίμου	0,04-50	90-92	37-45	37-45	85-90	0,8-1,0
Μηχανές stirling	0,03-1,5	85-90	35-50	34-49	60-80	0,2-0,7

Ο όρος διαθεσιμότητα αναφέρεται στην πιθανότητα να λειτουργεί ικανοποιητικά ένα σύστημα σε τυχαία χρονική στιγμή. Η μέση ετήσια διαθεσιμότητα είναι το ποσοστό του χρόνου (π.χ. των 8.760 ωρών του έτους) κατά τον οποίο ένα σύστημα μπορεί να λειτουργεί ικανοποιητικά (συμπεριλαμβανομένου της προληπτικής συντήρησης και των έκτακτων βλαβών) [Frangopoulos Ch., et al., 1994]. Ο ηλεκτρικός βαθμός απόδοσης αφορά στην απόδοση με την οποία η εισερχόμενη πρωτογενής ενέργεια στο σύστημα μετατρέπεται μόνο σε ηλεκτρισμό. Αντίστοιχα, ο συνολικός βαθμός απόδοσης αφορά στην μετατροπή της εισερχόμενης πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ο λόγος του «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα», συνδέει τον ηλεκτρικό και συνολικό βαθμό απόδοσης της ΣΗΘ, όταν αυτή λειτουργεί σε πλήρες φορτίο, υπό την προϋπόθεση ότι ο συνολικός βαθμός

απόδοσης δεν υπερβαίνει το 90%. Κυμαίνεται σε ένα εύρος τιμών για την κάθε τεχνολογία και αποτελεί βασικό κριτήριο για την επιλογή των συστημάτων ΣΗΘ που αφορούν σε συγκεκριμένες χρήσεις. Τόσο οι θερμοδυναμικές αποδόσεις των συστημάτων όσο και ο λόγος του «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα», PHR_{chp} , συνδέονται με τον τρόπο λειτουργίας των συστημάτων. Η λειτουργία αυτών, σε πλήρες (100%) και μερικό φορτίο (50%) αντιστοιχούν σε λειτουργία υψηλής και χαμηλής απόδοσης αντίστοιχα.

Επιπρόσθετα, η επιλογή των συστημάτων ΣΗΘ, καθορίζεται από τις ανάγκες της κάθε βιομηχανίας σε θερμική ενέργεια; αυτά, χαρακτηρίζονται επιπλέον και ως συστήματα κορυφής (topping systems) ή βάσης (bottoming system) ανάλογα με το αν παράγουν πρώτα ηλεκτρισμό ή θερμική ενέργεια. Όταν για τις θερμικές διεργασίες σε μια βιομηχανική μονάδα, η χαμηλής θερμοκρασίας θερμική ενέργεια επαρκεί, τότε χρησιμοποιούνται συστήματα κορυφής (αποβάλλεται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας μετά την παραγωγή ηλεκτρισμού). Αντίθετα, όταν απαιτείται υψηλής θερμοκρασίας θερμική ενέργεια, χρησιμοποιούνται τα συστήματα βάσης (π.χ στα χαλυβουργεία ή στην τσιμεντοβιομηχανία χρησιμοποιούνται είτε ατμοστρόβιλοι είτε αεριοστρόβιλοι σε διάταξη βάσης) [Frangopoulos Ch., et al. 1994, EUDOCOGEN project 2001].

Η κατά κόρον χρησιμοποιούμενη πρωτογενής μορφή ενέργειας για τη λειτουργία των συστημάτων ΣΗΘ, είναι τα ορυκτά καύσιμα: πρωτίστως το φυσικό αέριο αλλά και ο άνθρακας και το βαρύ πετρέλαιο (μαζούτ). Σταδιακά η χρήση του άνθρακα και του πετρελαίου, αντικαθίσταται από τη χρήση βιομάζας [COGEN, 2001]. Τα συστήματα ΣΗΘ, οφείλουν να παρέχουν το απαιτούμενο ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο, την στιγμή που αυτό είναι απαραίτητο, δηλ. πρέπει να είναι συστήματα υψηλής αξιοπιστίας. Βοηθητική ηλεκτρική ή θερμική ισχύς παρέχεται από το διασυνδεδεμένο δίκτυο ή από λέβητες μετατροπής ορυκτών καυσίμων σε θερμότητα αντίστοιχα [Frangopoulos Ch., et al., 2004].

2.2.2.1. Η διείδυση της Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας στο ενεργειακό σύστημα

Η Ευρωπαϊκή ενεργειακή πολιτική εστιάζει στους παρακάτω άξονες σχετικά με την ενεργειακή προμήθεια [Green Paper, COM(2000)].

- Ενεργειακή ασφάλεια.
- Διαφοροποίηση στα χρησιμοποιούμενα καύσιμα.

- Βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος.
- Οικονομική ανθεκτικότητα του ενεργειακού συστήματος

Με την ενσωμάτωση της ΣΗΘ στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα, ενδυναμώνονται οι παραπάνω προϋποθέσεις, λόγω της αποδοτικότερης μετατροπής των πρωτογενών καυσίμων σε τελικές ενεργειακές μορφές και κατ' επέκταση την μείωση της ποσότητας των συνδεδεμένων με την ενεργειακή χρήση εκπομπών CO₂ [Lipsošćak M., et al., 2006]. Η εξοικονόμηση ενέργειας και η ενσωμάτωση της ΣΗΘ και των ΑΠΕ στα εθνικά ενεργειακά συστήματα είναι καθοριστικής σημασίας μέτρα, για την επίτευξη των σχετικών με την κλιματική αλλαγή στόχων της Ευρωπαϊκής Ένωσης [Lund H., et al., 2005]. Οι στόχοι της Ευρωπαϊκής πολιτικής για το 2010 ήταν η αύξηση της παραγωγής ηλεκτρισμού από ΣΗΘ σε σχέση με την συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από 9% το 2004 στο 18%· ο στόχος για το 2020 είναι η αύξηση του αντίστοιχου ποσοστού πάνω από το 20%. Η μέγιστη διείσδυση της ΣΗΘ αναμένεται στον βιομηχανικό και τον οικιακό τομέα [COGEN, 2001].

Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η ενσωμάτωση της ΚΠ στο ενεργειακό σύστημα, εξαρτάται από τις απαιτήσεις της αγοράς και το πλαίσιο λειτουργίας της αγοράς ηλεκτρισμού που ακόμη διαμορφώνεται. Συγκεκριμένα για τη ΣΗΘ, ο βαθμός διείσδυσης της μεταξύ των Ευρωπαϊκών χωρών διαφέρει. Αυτό οφείλεται και στην εγγενή πολυπλοκότητα της συγκεκριμένης επένδυσης. Συνήθως, όπου η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια είναι αυξημένη και μπορεί να παραχθεί από ΣΗΘ, δεν καταναλώνεται η αντίστοιχη παραγόμενη θερμική ενέργεια· αυτό οφείλεται στην εξοικείωση των τελικών καταναλωτών με τα παραδοσιακά συστήματα παραγωγής θερμότητας (λέβητες) τα οποία και προτιμούν να χρησιμοποιούν [Lund H., et al., 2000]. Τα υψηλότερα ποσοστά παραγωγής ηλεκτρισμού από ΣΗΘ το έτος 2000, παρατηρήθηκαν στη Σουηδία, τη Φιλανδία και τη Δανία. Επιπρόσθετα, οι χώρες στις οποίες η ποσότητα του παραγόμενου από ΣΗΘ ηλεκτρισμού αυξήθηκε σημαντικά, είναι αυτές στις οποίες παρατηρήθηκε αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ, όπως στην Ολλανδία, στη Γερμανία και στην Ιταλία. Αντίθετα, χώρες όπως το Βέλγιο, το Λουξεμβούργο, η Ιρλανδία, η Πορτογαλία και η Ελλάδα, έχουν μικρή εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ, και αντίστοιχα χαμηλό ποσοστό παραγόμενου ηλεκτρισμού από αυτή [Conde Lázaro E., et al., 2006]. Η διείσδυση της συμπαραγωγής, εξαρτάται κυρίως από την οικονομική αποδοτικότητα των αντίστοιχων επενδύσεων, η οποία όμως θα μπορούσε να εξασφαλιστεί με κατάλληλες ρυθμιστικές επεμβάσεις. Συγκεκριμένα στην Ολλανδία και τη

Δανία, οι επενδύσεις ΣΗΘ⁸ ενθαρρύνονται από τις ενεργειακές εταιρίες· περαιτέρω υποστηρίζονται από την ενεργειακή πολιτική με ρυθμιστικά μέτρα που αφορούν στην οικονομική ενίσχυση των επενδύσεων (π.χ. επιχορηγήσεις, κατάλληλη πολιτική τιμολόγησης) αλλά και τη θέσπιση συγκεκριμένων όρων που πρέπει να πληρούνται σχετικά με την διαχείριση της ενέργειας (π.χ. επιβαλλόμενοι περιβαλλοντικοί όροι για την απόκτηση της άδειας λειτουργίας των ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών) [Hendriks C., Blok K., 1996]. Πέραν όμως των ευνοϊκών ρυθμίσεων, οι εκπρόσωποι του βιομηχανικού τομέα τις αντιμετωπίζουν με σκεπτικισμό και δεν αναλαμβάνουν το επενδυτικό ρίσκο [Hinnells M., 2008].

2.2.2.2. Ερευνητικό πεδίο για την Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

Η τρέχουσα έρευνα για την συμπαγωγή εντάσσεται στο πεδίο της Θερμοοικονομικής Ανάλυσης (Thermo-Economic Analysis) και αφορά στην βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της λειτουργίας των σταθμών ΣΗΘ, προκειμένου να διασφαλιστεί η οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων και να προσδιοριστεί το κατάλληλο πλαίσιο για την περαιτέρω ενσωμάτωση της ΣΗΘ στο ενεργειακό σύστημα [Biezma V. M., et al., 2006].

Από την αξιολόγηση των τεχνολογιών / συστημάτων ΣΗΘ, ως προς το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προέκυψε ότι η οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων εξαρτάται από τις ενεργειακές τιμές, το κόστος της επένδυσης και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των σταθμών. Η ενσωμάτωση της ΣΗΘ τόσο για μικρής κλίμακας (small scale) μονάδες από 5 kW έως 5 MW, όσο και για μεγάλης κλίμακας (large scale) μονάδες από 50 έως 300 MW, θα ενθαρρυνθεί με την υιοθέτηση ενός ρυθμιστικού πλαισίου, που ευνοεί την αποδοτική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ, με την κατάλληλη τιμολόγηση αυτής [Lončar D., et al., 2009].

Ωστόσο, πέραν της σημασίας των παραπάνω οικονομικών παραμέτρων, η συνολική απόδοση των επενδύσεων, περαιτέρω καθορίζεται και την ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας· αυτή σχετίζεται με την εγκατεστημένη ισχύ, την χρησιμοποιούμενη τεχνολογία, τις απώλειες ενέργειας, την λειτουργία σε πλήρες ή μερικό φορτίο, και τις

⁸ Η εξάπλωση της ΣΗΘ σε Ολλανδία και Δανία είναι μεγάλη ήδη από την δεκαετία του '80. Στην Ολλανδία αυτή εξυπηρετεί τον βιομηχανικό τομέα και στη Δανία χρησιμοποιείται για τη τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών (district heating).

ώρες λειτουργίας. Οι παραπάνω παράμετροι, διαμορφώνονται ανάλογα με τις χρήσεις για τις οποίες προορίζεται η συνολικά παραγόμενη ενέργεια, και όλες μαζί συνθέτουν την έννοια του κατάλληλου σχεδιασμού των σταθμών ΣΗΘ [Paere De M., Mertens D., 2007]. Για παράδειγμα, στο βιομηχανικό τομέα οι τεχνο-οικονομικές αναλύσεις που προηγούνται των επενδύσεων της ΣΗΘ, αξιολογούν τόσο την εξοικονόμηση ενέργειας που θα επιτευχθεί στην υφιστάμενη κατάσταση (και τα αντίστοιχα έσοδα της επένδυσης) και περαιτέρω εξετάζουν και την προοπτική επέκτασης των βιομηχανικών εγκαταστάσεων που θα εξυπηρετούνται από τη ΣΗΘ. Σ' αυτήν την περίπτωση, ο σχεδιασμός της ΣΗΘ (CHP sizing) δηλ. η εγκατεστημένη ισχύς και η επιλογή της τεχνολογίας σε συνδυασμό με τον τρόπο λειτουργίας των σταθμών, θα πρέπει να επαρκεί για την κάλυψη των υφιστάμενων και των μελλοντικών αναγκών της βιομηχανίας σε ηλεκτρισμό ή θερμότητα [Katsigiannis A.P., Papadopoulos P.D., 2005]. Επιπρόσθετα, η μελλοντική τάση των αναγκών σε θερμική ενέργεια, είναι καθοριστικής σημασίας για το σχεδιασμό της ΣΗΘ, καθώς ενώ η αύξηση των θερμικών αναγκών δεν έχει επιπτώσεις στην αποδοτικότητα της, αντίθετα η μείωση αυτών επιφέρει σημαντική μείωση στην Καθαρή Παρούσα Αξία (Net Present Value) της επένδυσης [Paere De M., Mertens D., 2007].

Γενικότερα ο σχεδιασμός των σταθμών ΣΗΘ, προβλέπει την κάλυψη των αναγκών είτε σε ηλεκτρισμό είτε σε θερμότητα μιας βιομηχανικής μονάδας. Ωστόσο, στην πρώτη περίπτωση ενδέχεται η παραγόμενη θερμότητα να υπερβαίνει τις ανάγκες σε θερμική ενέργεια της βιομηχανίας. Η παραγόμενη θερμότητα πρέπει να χρησιμοποιείται επί τόπου γιατί δεν αποθηκεύεται και η μεταφορά της είναι δύσκολη. Αν δεν υπάρχει πρόβλεψη για την διαχείριση της περίσσειας θερμότητας (π.χ. τηλεθέρμανση πλησίον οικισμών ή μεταφορά της στην πλησιέστερη βιομηχανική εγκατάσταση) τότε είναι προτιμότερος ο σχεδιασμός της ΣΗΘ να προβλέπει στην κάλυψη των αναγκών της βιομηχανίας σε θερμότητα. Στην περίπτωση αυτή, η ενδεχόμενη περίσσεια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω είτε με την πώλησή της στις ενεργειακές εταιρίες και τη διάθεσή της στο δίκτυο διασύνδεσης, είτε με την πώλησή αυτής απ' ευθείας σε καταναλωτές με τη χρήση του δικτύου (wheeling) [Hendriks C., Blok K., 1996].

Σε κάθε περίπτωση ο τρόπος διαχείρισης της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ ορίζεται από το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο και είναι καθοριστικής σημασίας για την διασφάλιση της οικονομικής αποδοτικότητας των επενδύσεων. Επιπρόσθετα η ύπαρξη ή όχι της δυνατότητας για περαιτέρω οικονομική εκμετάλλευση των πλεονάζουσων

ποσοτήτων ενέργειας καθορίζει ανάλογα το σχεδιασμό και τον τρόπο λειτουργίας των σταθμών [Lund H., Andersen A.N., 2005]. Ωστόσο, τελικά ο βέλτιστος σχεδιασμός ως προς την οικονομική αποδοτικότητα της ΣΗΘ, μπορεί να προσδιοριστεί εξ αρχής μόνο όταν εξασφαλίζεται η σταθερότητα των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας με συμβόλαιο για ορισμένη χρονική περίοδο. Η μεταβολή των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με την ζήτηση της τοπικής αγοράς αλλά και της διεθνούς αγοράς (διαφοροποίηση τιμών σε ώρες αιχμής), περιπλέκει κλιμακωτά⁹ την εκ των προτέρων αξιολόγηση της ΣΗΘ [Lund H., Andersen A.N., 2005].

Η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και του τρόπου λειτουργίας της ΣΗΘ, ανάλογα με τους χρησιμοποιούμενους ενεργειακούς και οικονομικούς πόρους και συμπεριλαμβάνοντας διαφορετικούς τρόπους εκμετάλλευσης του παραγόμενου ηλεκτρισμού και θερμότητας εξετάζεται αναλυτικά με τη χρήση μοντέλων Εισροών – Εκροών (EnergyPlan) [Lund H., Münster E., 2003] και Γραμμικού Προγραμματισμού (Linear Programming). Στη δεύτερη περίπτωση, αναδείχθηκε η σημαντικότητα της σχέσης μεταξύ του λόγου «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» των συστημάτων ΣΗΘ, με τον λόγο «καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα» της βιομηχανικής μονάδας που εξυπηρετεί η ΣΗΘ. Η απόδοση της ΣΗΘ βελτιώνεται όσο οι δύο λόγοι τείνουν να εξισωθούν. Ωστόσο, ο λόγος «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα», είναι τεχνικό χαρακτηριστικό. Η καλύτερη δυνατή προσέγγιση του παραπάνω λόγου με τον αντίστοιχο λόγο «καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα» της βιομηχανικής μονάδας που εξυπηρετεί η ΣΗΘ, είναι σημαντικό κριτήριο για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας [Fawkes S.D, Jacques J.K., 1986].

Ωστόσο, η έλλειψη δεδομένων που αφορούν στην κατανάλωση ηλεκτρισμού αλλά κυρίως θερμότητας, των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, δυσκολεύει τον ενεργειακό σχεδιασμό με ΣΗΘ. Η ανάπτυξη ενός πλαισίου για την ταχεία συλλογή και επεξεργασία των απαραίτητων δεδομένων σε επίπεδο βιομηχανικού υπο-τομέα, αποτελεί ακόμη ένα ερευνητικό πεδίο της ΣΗΘ [Aticol U., Guven H., 2003].

Οι τεχνο-οικονομικές αναλύσεις για τα συστήματα ΣΗΘ, αφορούν και στο χρησιμοποιούμενο καύσιμο. Σε σχετικές ερευνητικές εργασίες, εξετάζεται για παράδειγμα η οικονομική αποδοτικότητα της ΣΗΘ στην περίπτωση που χρησιμοποιείται βιομάζα

⁹ Η διακύμανση των τιμών ηλεκτρισμού σε τοπικό επίπεδο είναι δεδομένη συγκρινόμενη με τη διακύμανση των τιμών σε διεθνές επίπεδο. Κατ' αντιστοιχία η βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού είναι πιο περίπλοκη όταν οι τιμές διαμορφώνονται από την διεθνή αγορά.

ως καύσιμο [Papadopoulos D.P., Katsigiannis A.P., 2002]. Περαιτέρω έχει ερευνηθεί η βιωσιμότητα των επενδύσεων συμπαραγωγής που θα χρησιμοποιούν βιομάζα, σε σχέση με την γεωγραφική κατανομή της αγροτικής δραστηριότητας, τη χωροθέτηση και την εγκατεστημένη ισχύ των σταθμών [Bakos C.G., et al., 2008].

Στο πλαίσιο της βιωσιμότητας του ενεργειακού συστήματος της Κροατίας, αξιολογούνται εναλλακτικοί τρόποι διεύθυνσης της ΣΗΘ με τη χρήση της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (Mutli-Criteria Analysis) [Lipošćak M., et al., 2006]. Τα κριτήρια αξιολόγησης, αφορούν:

- Στο περιβαλλοντικό αντίκτυπο του κάθε σεναρίου, και αποτιμώνται ως εκπομπές CO₂, SO₂, και αιωρούμενων στερεών.
- Στο κοινωνικό αντίκτυπο του κάθε σεναρίου το οποίο εκφράζεται με τον ποιοτικό δείκτη «κοινωνικής αποδοχής» και τον ποσοτικό δείκτη «κόστος υγιεινής φροντίδας» ως αποτέλεσμα του περιβαλλοντικού αντίκτυπου της ΣΗΘ στην υγεία.
- Στο οικονομικό αντίκτυπο του κάθε σεναρίου το οποίο εκφράζεται με το κόστος της επένδυσης και το κόστος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.

Για το κάθε σενάριο εκτιμάται ένας Γενικός Δείκτης Βιωσιμότητας (General Sustainability Index) του ενεργειακού συστήματος με συμπαραγωγή. Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση η βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος με ΣΗΘ, διασφαλίζεται:

- Με την προώθηση της συμπαραγωγής μικρο-κλίμακας (microcogeneration) που αφορά σε μονάδες από 1-5 kW.
- Τον εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων σταθμών ΣΗΘ και των αντίστοιχων βιομηχανικών μονάδων που εξυπηρετούν.
- Την οικονομική ενίσχυση των επενδύσεων με την θέσπιση κατάλληλων ρυθμίσεων· αυτές θα βασίζονται στην οικονομική αποτίμηση του συνολικού οφέλους της ΣΗΘ και την ανάλογη διαμόρφωση οικονομικών κινήτρων.

Αντίστοιχα, έχει αξιολογηθεί και η βιωσιμότητα του ενεργειακού συστήματος της Εσθονίας, το οποίο προβλέπεται να εξελιχθεί είτε με βάση το κεντρικό μοντέλο ηλεκτροπαραγωγής και τον παροπλισμό των παλιών αποκεντρωμένων σταθμών, είτε με τον εκσυγχρονισμό των παλιών σταθμών και την ενσωμάτωση της ΣΗΘ [Lund H., et al. 2000]. Με βάση τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας, το αποκεντρωμένο μοντέλο θα είναι βιώσιμο στην περίπτωση που η ΣΗΘ χρησιμοποιηθεί περαιτέρω και για την τηλεθέρμανση των κατοικημένων περιοχών (district heating).

Επιπρόσθετα, ερευνητικό πεδίο της ΣΗΘ, αποτελεί η βελτιστοποίηση δεικτών αξιολόγησης αποκλειστικά της θερμοδυναμικής απόδοσης των συστημάτων συμπαραγωγής ανάλογα με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας τους. Συγκεκριμένα αναλύονται και αξιολογούνται οι δείκτες εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο της εκάστοτε εθνικής νομοθεσίας αλλά και της Ευρωπαϊκής [Nasheim J., et al., 2007, Cardona E., Piacentino A., 2005]. Περαιτέρω αναπτύσσονται και δείκτες αποτίμησης των σχετικών εκπομπών του CO₂ [Chicco G., Mancarella P., 2008]. Στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας, η αξιολόγηση της ΣΗΘ, ως προς την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, αφορά στη σύγκριση της ποσότητας πρωτογενούς ενέργειας (H), που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας από ΣΗΘ, με την αντίστοιχη ποσότητα πρωτογενούς ενέργειας «αναφοράς» (H_{ref}), που χρησιμοποιείται για την χωριστή παραγωγή των ίδιων ποσοτήτων ηλεκτρισμού και θερμότητας, στους συμβατικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς και σε λέβητες (boiler) «αναφοράς» αντίστοιχα· η ποσότητα της πρωτογενούς ενέργειας που εξοικονομείται εκφράζεται από την εξίσωση (2.9) [Directive 2004/8/EC, 2004, Nasheim J., et al., 2007].

$$PES_{chp} = H_{ref} - H \quad (2.9)$$

Από την παραπάνω εξίσωση, προκύπτει ο δείκτης «Σχετικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» $RPES_{chp}$, που ορίζεται από την εξίσωση (2.10) [Directive 2004/8/EC, 2004]

$$RPES_{chp} = \left(1 - \frac{1}{\eta_{chp,H} / \eta_{ref,H} + \eta_{chp,elec} / \eta_{ref,elec}} \right) \cdot 100\% \quad (2.10)$$

Στην παραπάνω εξίσωση, $\eta_{chp,H}$ και $\eta_{chp,elec}$ είναι οι θερμοδυναμικές αποδόσεις των συστημάτων ΣΗΘ για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού και $\eta_{ref,H}$ και $\eta_{ref,elec}$ είναι οι θερμοδυναμικές αποδόσεις των λεβήτων (boiler) και των συμβατικών ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών «αναφοράς» (reference). Οι τιμές των θερμοδυναμικών αποδόσεων «αναφοράς», παρατίθενται στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία [2007/74/EC] σε ετήσια¹⁰ βάση για το κάθε χρησιμοποιούμενο καύσιμο. Επιπρόσθετα, σε έκθεση του Ευρωπαϊκού προγράμματος για την συμπαραγωγή [COGEN Europe, 2005], προτείνονται συγκεκριμένες διορθώσεις και βελτιώσεις των τιμών «αναφοράς» που αφο-

¹⁰ Ετήσιες τιμές «αναφοράς» παρατίθενται μόνο για την θερμοδυναμική απόδοση «αναφοράς» για την μετατροπή των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό, $\eta_{ref,elec}$.

ρούν μεταξύ άλλων¹¹ και στις απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες θα αποφευχθούν όταν αυτή παράγεται από συμπαραγωγή λόγω μικρότερης έκτασης χρήσης του δικτύου. Στον παραπάνω προτεινόμενο δείκτη, απεικονίζεται η πρόοδος της απόδοσης των τεχνολογιών (συμβατικών και ΣΗΘ) κατά την μετατροπή ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό και θερμότητα και ο σχεδιασμός του δικτύου μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού. Με τον παραπάνω δείκτη, αξιολογούνται οι υφιστάμενες εγκαταστάσεις ΣΗΘ στα εθνικά ενεργειακά συστήματα, με βάση τα επιχειρησιακά τους δεδομένα (παραγόμενες ποσότητες ενέργειας, τρόπος λειτουργίας) και πρότυπες τιμές των τεχνικών χαρακτηριστικών των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών. Αν και πρόκειται για έναν δείκτη που χρησιμοποιείται στην Ευρωπαϊκή νομοθεσία για την προώθηση της ΣΗΘ, αυτός, δεν αφορά στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού της ΣΗΘ δηλ. στην επιλογή των κατάλληλων συστημάτων και τη βελτιστοποίηση του τρόπου λειτουργίας τους ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες των εγκαταστάσεων που εξυπηρετούν, προκειμένου την μεγαλύτερη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Για την βελτίωση του ενεργειακού σχεδιασμού με ΣΗΘ προτείνεται, ο προσδιορισμός ενός βέλτιστου εύρους τιμών που θα αφορούν σ' ένα εικονικό λόγο «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα», S , (bliss point), που θα βασίζεται στις απώλειες ενέργειας από τη ΣΗΘ (π.χ. περίσσεια θερμότητας που απορρίπτεται) ανάλογα με τις εφαρμογές της [Verbruggen A., 2008]. Η βέλτιστη προσαρμογή του πραγματικού λόγου «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα», PHR_{chp} , στο προτεινόμενο εύρος τιμών του εικονικού λόγου, θα οδηγήσει σε περαιτέρω αύξηση της εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας· αυτή επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επιλογή τεχνολογίας ανάλογα με τις χρήσεις της ΣΗΘ, το οποίο είναι ζήτημα εκ των προτέρων σχεδιασμού.

¹¹ Άλλες διορθώσεις αφορούν στις κλιματικές συνθήκες της κάθε χώρας.

2.3. Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα

Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα αποτελείται από τρεις (3) βασικούς τομείς:

- Τον τομέα πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας.
- Τον τομέα δευτερογενούς παραγωγής ενέργειας ή αλλιώς τομέα μετατροπής.
- Τον τομέα κατανάλωσης ενέργειας.

Ο τομέας πρωτογενούς παραγωγής αποτελείται από τις λιγνιτικές εγκαταστάσεις της χώρας, τα διυλιστήρια πετρελαίου, τους υδροηλεκτρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και τις εγκαταστάσεις ΑΠΕ (πρόκειται κυρίως για αιολικές μονάδες). Οι παραγόμενες ποσότητες πρωτογενούς ενέργειας σε συνδυασμό με το ισοζύγιο εισαγωγών – εξαγωγών ορυκτών καυσίμων, την παροχή καυσίμων στα ποντοπόρα πλοία που ανατροφοδοτούνται στα Ελληνικά λιμάνια και την μεταβολή των εθνικών ενεργειακών αποθεμάτων, αποτελούν το συνολικά διαθέσιμο ενεργειακό δυναμικό της χώρας. Από τον τομέα πρωτογενούς ενέργειας, τροφοδοτείται με ορυκτά καύσιμα, ο τομέας μετατροπής και παραγωγής ηλεκτρισμού, αλλά και οι τομείς του ευρύτερου τομέα κατανάλωσης ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των τελικών καταναλωτών. Η μετατροπή των ορυκτών καυσίμων σε θερμική ενέργεια, πραγματοποιείται εντός των ορίων του κάθε τομέα κατανάλωσης ενέργειας, σε λέβητες.

Ο τομέας μετατροπής αποτελείται από τους μεγάλους θερμικούς ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς της Δ.Ε.Η (οι οποίες χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο λιγνίτη), και τους μικρότερους θερμικούς σταθμούς ΣΗΘ (οι οποίοι χρησιμοποιούν κυρίως αέριο διυλιστηρίου) των αυτοπαραγωγών¹² και των αυτόνομων¹³ παραγωγών. Το μείγμα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου στον τομέα μετατροπής περιγράφεται στο παρακάτω Υπο-Κεφάλαιο 2.3.1.

Κατά την παραγωγή ηλεκτρισμού, στους θερμικούς σταθμούς της Δ.Ε.Η, σημειώνονται σημαντικές απώλειες ενέργειας, λόγω της θερμικής ενέργειας που αποβάλλεται. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται διασυνδέεται από το υψηλής τάσης δίκτυο (στη μετατροπή) στο μέσης τάσεως δίκτυο μεταφοράς και το χαμηλής τάσεως δίκτυο διανομής ηλεκτρισμού και κατόπιν επιπλέον απωλειών, διατίθεται προς κατανάλωση στους τομείς του τομέα κατανάλωσης ενέργειας.

¹² Αυτοπαραγωγός είναι ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των ιδιωτικών του αναγκών.

¹³ Αυτόνομος παραγωγός είναι ο παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας την οποία πουλάει στους καταναλωτές, π.χ. οι ενεργειακές εταιρίες.

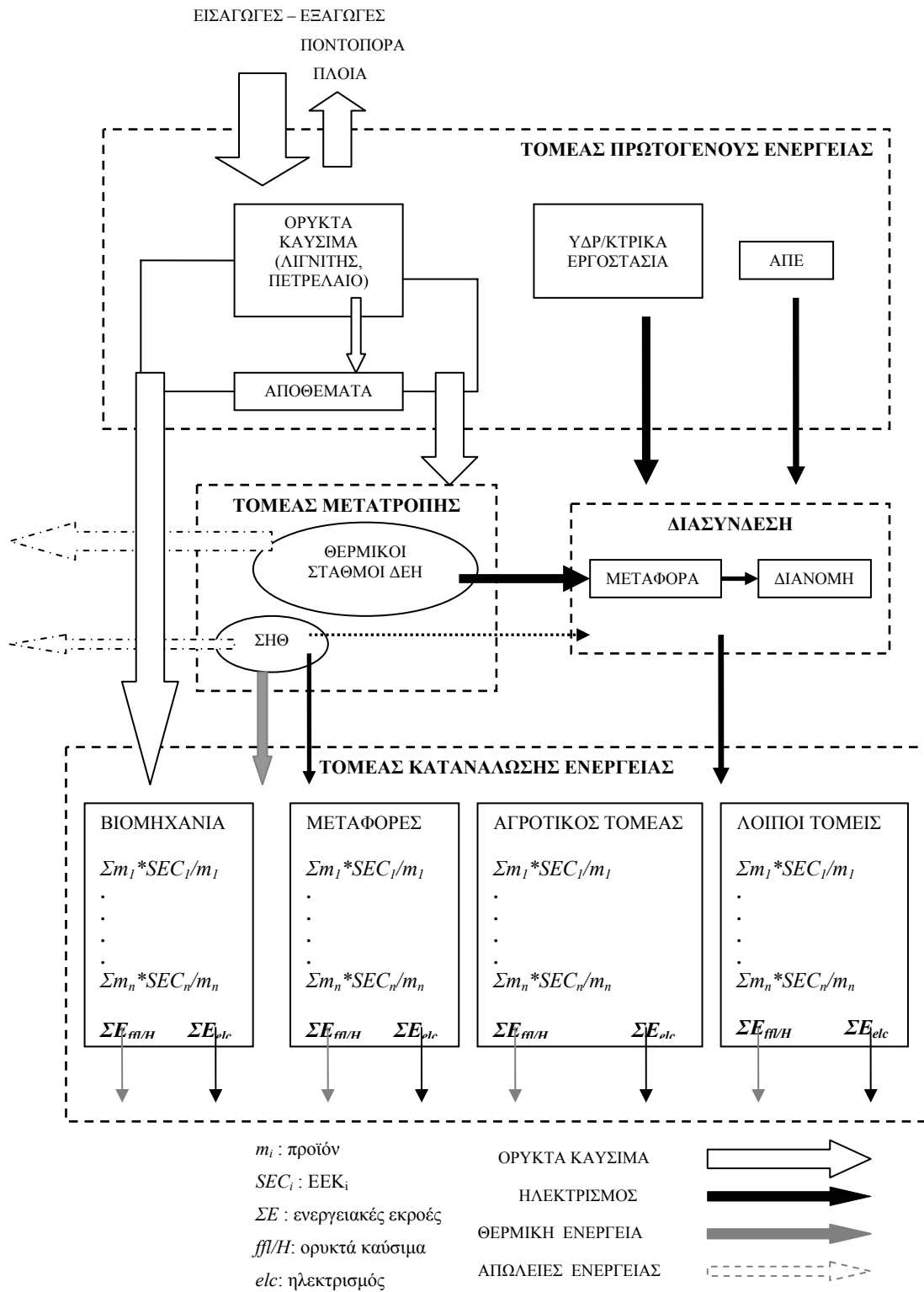
Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ, συνδέεται χωρίς τη χρήση του δικτύου με τους τομείς του τομέα κατανάλωσης ενέργειας που εξυπηρετεί και αποφεύγονται οι απώλειες ενέργειας λόγω διασύνδεσης. Ωστόσο, ενδέχεται, μέρος του παραγόμενου ηλεκτρισμού, να διατεθεί προς κοινή χρήση διαμέσου του δικτύου διανομής (ή και μεταφοράς) ηλεκτρισμού. Επιπρόσθετα, η θερμική ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται απ' ευθείας από τους τελικούς καταναλωτές (και αποφεύγεται έτσι η χρήση των λεβήτων). Ωστόσο, είναι δυνατό να παρατηρηθούν απώλειες ενέργειας και στη ΣΗΘ, λόγω θερμικής ενέργειας, που δεν χρησιμοποιείται.

Τέλος ο τομέας κατανάλωσης ενέργειας, αποτελείται από τους βασικούς παραγωγικούς τομείς της χώρας (βιομηχανία, εμπόριο, αγροτική παραγωγή, τουρισμός, υπηρεσίες) και τους καταναλωτικούς τομείς (μεταφορές, οικιακός τομέας). Οι ενεργειακές εισροές σ' αυτόν, δηλ.,

- ηλεκτρισμός από το δίκτυο διασύνδεσης,
- ηλεκτρισμός από ΣΗΘ,
- ορυκτά καύσιμα από τον πρωτογενή τομέα ενέργειας και
- θερμική ενέργεια από ΣΗΘ,

χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων και υπηρεσιών (m_i). Το σύνολο των παραγόμενων προϊόντων και υπηρεσιών είναι η συνολική δραστηριότητα του κάθε τομέα κατανάλωσης ενέργειας. Αυτή, όπως αναφέρθηκε στην βιβλιογραφική έρευνα που προηγήθηκε, αποτιμάται, είτε με δείκτες οικονομικής δραστηριότητας και εκφράζει τις χρηματικές εκροές του κάθε τομέα, είτε με φυσικο-θερμοδυναμικούς δείκτες (SEC_i) και δείκτης φυσικής δραστηριότητας (m_i), εκφράζοντας τελικά τις εκροές ενέργειας του κάθε καταναλωτικού τομέα (ΣE), για την κάθε μορφή ενέργειας που εισρέει σ' αυτόν, δηλ. ηλεκτρισμός (elc) και ορυκτά καύσιμα / θερμική ενέργεια (ffl/H).

Το υφιστάμενο Ελληνικό ενεργειακό σύστημα παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Το Ελληνικό ενεργειακό σύστημα

Επιπρόσθετα, τα νησιωτικά αυτόνομα ενεργειακά συστήματα, αποτελούν στην πλειοψηφία τους μικρογραφία του παραπάνω διασυνδεδεμένου συστήματος του ηπειρωτικού κορμού της Ελλάδας, δίχως να συμπεριλαμβάνονται οι σταθμοί ΣΗΘ.

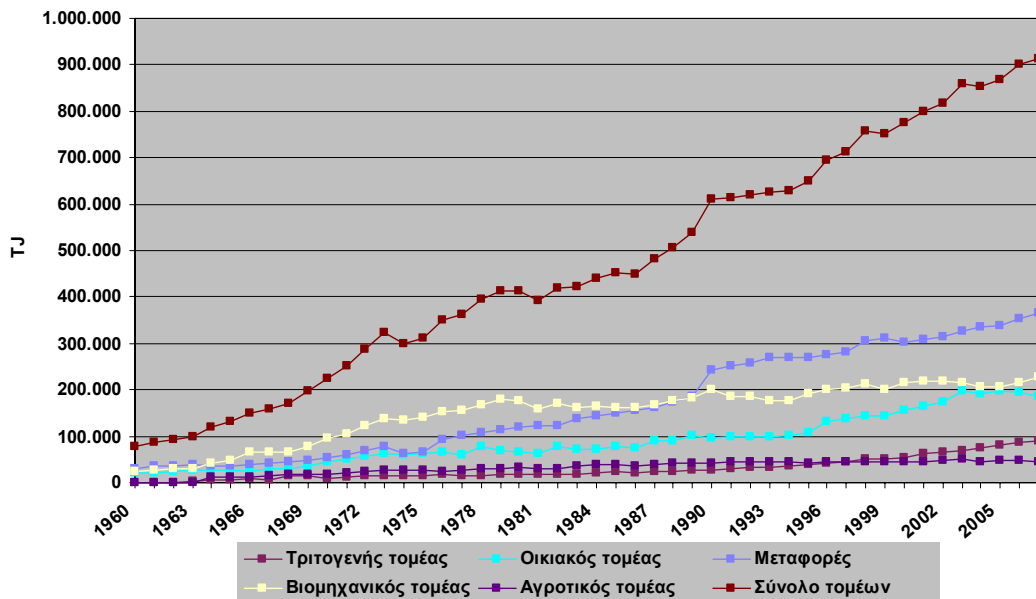
Παρακάτω, παρουσιάζονται αναλυτικότερα στοιχεία που αφορούν στην ενεργειακή κατανάλωση και στην παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς ΣΗΘ και συμβατικούς στο σύνολο της εθνικής οικονομίας αλλά και ειδικότερα για τον βιομηχανικό τομέα. Επιπρόσθετα παρουσιάζεται και η εξέλιξη της παραγωγικότητας στον τομέα της βιομηχανίας.

2.3.1. Ενεργειακή κατανάλωση και παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς στην Ελλάδα

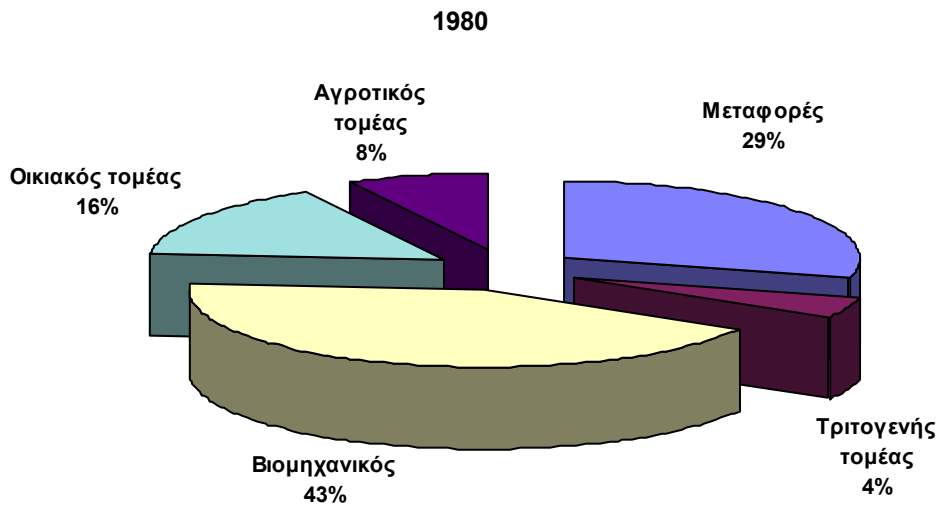
Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα είναι διαθέσιμη από το 1960 έως το 2007 από το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Ενέργειας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής¹⁴. Αυτή αυξάνεται στο χρόνο με μέσο ρυθμό αύξησης της τάξεως του 6% και το 2007 υπερβαίνει τα 900.000 TJ (Διάγραμμα 2.1). Η μεταβολή της συνεισφοράς του κάθε τομέα στη συνολική τελική ενεργειακή κατανάλωση αποτυπώνεται στα Διαγράμματα 2.2, 2.3 και 2.4 για το 1980, 1990 και 2007 αντίστοιχα. Έως και τα μέσα της δεκαετίας του '80, στο βιομηχανικό τομέα χρησιμοποιείται το μεγαλύτερο μέρος της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα το 1980 το ποσοστό συμμετοχής του βιομηχανικού τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση ανέρχεται στο 43%· ακολουθούν ο τομέας των μεταφορών σε ποσοστό 29%, ο οικιακός τομέας σε ποσοστό 16%, ο αγροτικός τομέας σε ποσοστό 8% και τέλος ο τριτογενής τομέας σε ποσοστό 4%. Μια δεκαετία αργότερα, η ενεργειακή χρήση στο βιομηχανικό τομέα μειώνεται στο 33% επί του συνόλου της καταναλισκόμενης ενέργειας και αυξάνεται στο 40% το αντίστοιχο ποσοστό του τομέα των μεταφορών. Επίσης κατά 1% μειώνεται και το αντίστοιχο ποσοστό του αγροτικού τομέα. Τα αντίστοιχα ποσοστά των λοιπών τομέων παραμένουν σταθερά. Το 2007 ο τομέας με την υψηλότερη συμμετοχή στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση είναι αυτός των μεταφορών με ποσοστό 40%. Επιπρόσθετα αυξάνεται η ενεργειακή χρήση στον οικιακό και τον τριτογενή τομέα σε ποσοστά 20% και 10% αντίστοιχα επί του συνόλου των τομέων κατανάλωσης. Τέλος στη βιομηχα-

¹⁴ www.ypeka.gr

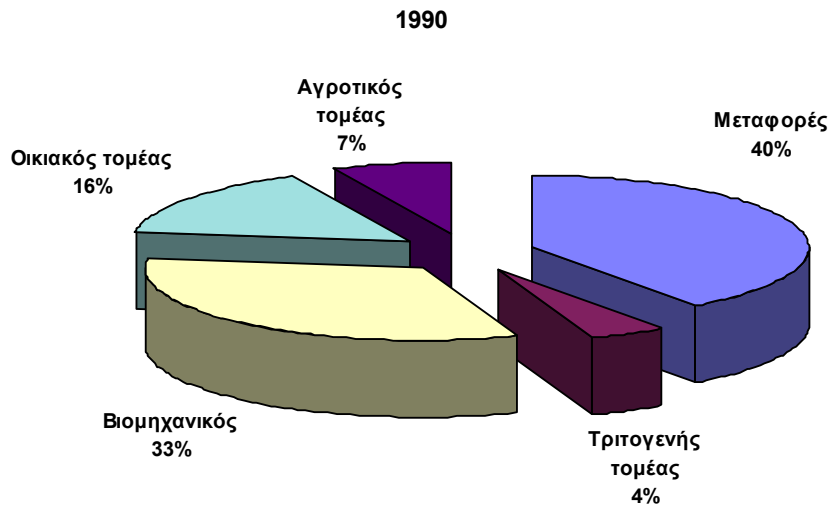
νία και τον αγροτικό τομέα η συνεισφορά τους στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση μειώνεται περαιτέρω σε ποσοστό 25% και 5% αντίστοιχα.



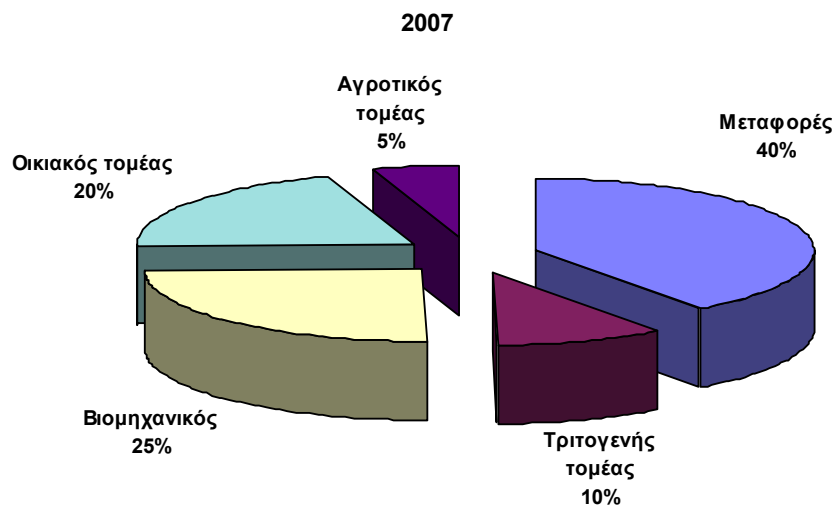
Διάγραμμα 2.1 Ενεργειακή κατανάλωση των τομέων κατανάλωσης του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος.



Διάγραμμα 2.2 Ποσοστό συμμετοχής του κάθε καταναλωτικού τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση για το 1980.



Διάγραμμα 2.3 Ποσοστό συμμετοχής του κάθε καταναλωτικού τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση για το 1990.



Διάγραμμα 2.4 Ποσοστό συμμετοχής του κάθε καταναλωτικού τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση για το 2007.

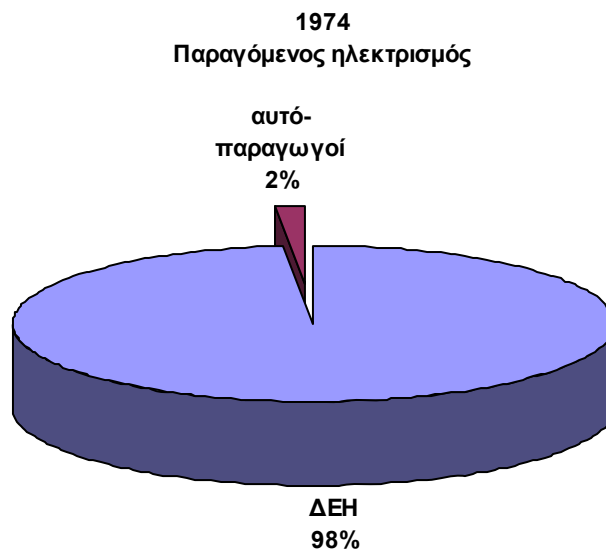
Σε ότι αφορά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από θερμικούς σταθμούς, στις ενεργειακές καταγραφές του Εθνικού Πληροφοριακού Συστήματος Ενέργειας, για τους μεν σταθμούς της ΔΕΗ υπάρχουν δεδομένα για την χρονική περίοδο 1960-2007, ενώ για τους θερμικούς σταθμούς των αυτό-παραγωγών (ΣΗΘ) διατίθενται καταγραφές από το 1974 έως το 2007· αναφορικά με την εγκατεστημένη ισχύ ΣΗΘ, οι καταγραφές αναφέρονται στην περίοδο 1990 – 2007. Όπως φαίνεται στα Διαγράμματα, 2.5, 2.6 και 2.7, το ποσοστό του παραγόμενου ηλεκτρισμού από ΣΗΘ στην συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς δεν μεταβάλλεται στο χρόνο και παραμένει μικρό, της τάξεως του 2% με 3% από το 1974 έως και το 2007.

Το μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου στους θερμικούς σταθμούς της ΔΕΗ είναι (Διάγραμμα 2.8):

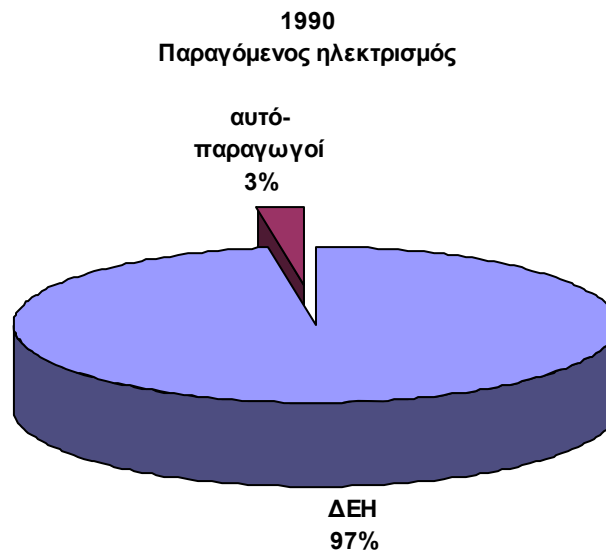
- Λιγνίτης· η συμμετοχή του στο μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου, κυμαίνεται μεταξύ 50% και 80% για χρονική περίοδο 1960 – 2007.
- Πετρέλαιο και προϊόντα πετρελαίου· τα πετρελαϊκά προϊόντα συμμετέχουν σε ποσοστό από 80% έως και 20%, στην χρονικής περίοδο 1960 – 2007.
- Φυσικό αέριο· το πρώτο έτος της ενσωμάτωσης του φυσικού αερίου στο μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου στην ηλεκτροπαραγωγή από τη ΔΕΗ, είναι το 1997, με αμελητέο ποσοστό συμμετοχής (0,50%). Το παραπάνω ποσοστό, αυξάνεται σταδιακά και το 2007, η συμμετοχή του φυσικού αερίου στο μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου είναι 16,5%.

Αναφορικά, με το μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου στους σταθμούς ΣΗΘ, υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από το 1974 έως το 2005 (Διάγραμμα 2.9). Αναλυτικότερα, το από το 1974 έως και το 1981 χρησιμοποιείται αποκλειστικά μαζούτ. Η συμμετοχή του πετρελαίου, είναι πολύ μικρή και όχι συνεχόμενη. Από το 1982 έως και το 1989, χρησιμοποιείται και συμπύκνωμα φυσικού αερίου, σε ποσοστό συμμετοχής μικρότερο του 20%. Το κυρίαρχο καύσιμο, είναι το αέριο διϋλιστηρίου, το οποίο ενσωματώνεται στο μείγμα καυσίμου το 1986 και το ποσοστό συμμετοχής του σ' αυτό είναι σταθερό, της τάξεως του 50% από το 1986 έως και το 2005. Η υψηλή συμμετοχή του αερίου διϋλιστηρίου στο μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου της ΣΗΘ, ενδεχομένως να σχετίζεται με το γεγονός ότι η εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ, που αφορά στα διϋλιστήρια πετρελαίου (89,5 MWe), είναι η μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ μεταξύ των τομέων στους οποίους λειτουργεί ΣΗΘ. Οι υπόλοιποι τομείς εντάσσονται στο βιομηχανικό τομέα και η εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ σ' αυτούς, περιγράφεται στο παρακάτω Υπο-Κεφάλαιο. Το φυσικό αέριο ενσωματώνεται στο μείγμα

καυσίμου από το 1986 και το ποσοστό συμμετοχής του σ' αυτό είναι της τάξεως του 10% (και μικρότερο) έως και το 2005. Το βιοαέριο, κατέχει πολύ μικρό ποσοστό συμμετοχής στο μείγμα καυσίμου, και μόνο από το 2001 έως το 2005. Τέλος, τα βιομηχανικά απόβλητα χρησιμοποιούνται από το 1992 και έπειτα με σταθερό ποσοστό συμμετοχής της τάξεως του 20%. Ωστόσο, αυτό σχεδόν διπλασιάστηκε το έτος 2000.



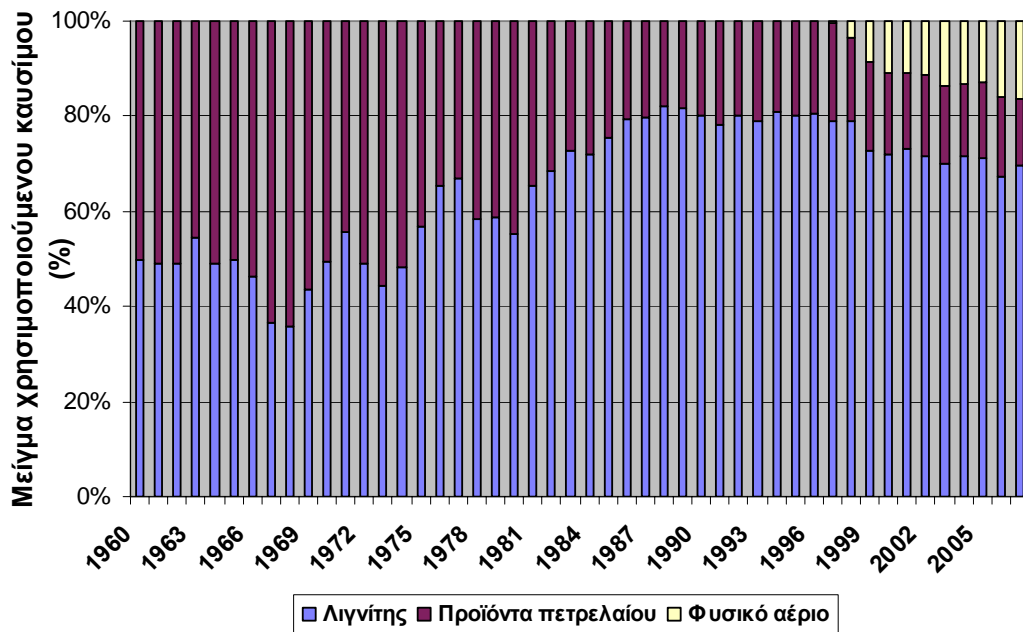
Διάγραμμα 2.5 Συνεισφορά του παραγόμενου ηλεκτρισμού από τη ΔΕΗ και τους αυτο-παραγωγούς στη συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς το 1974.



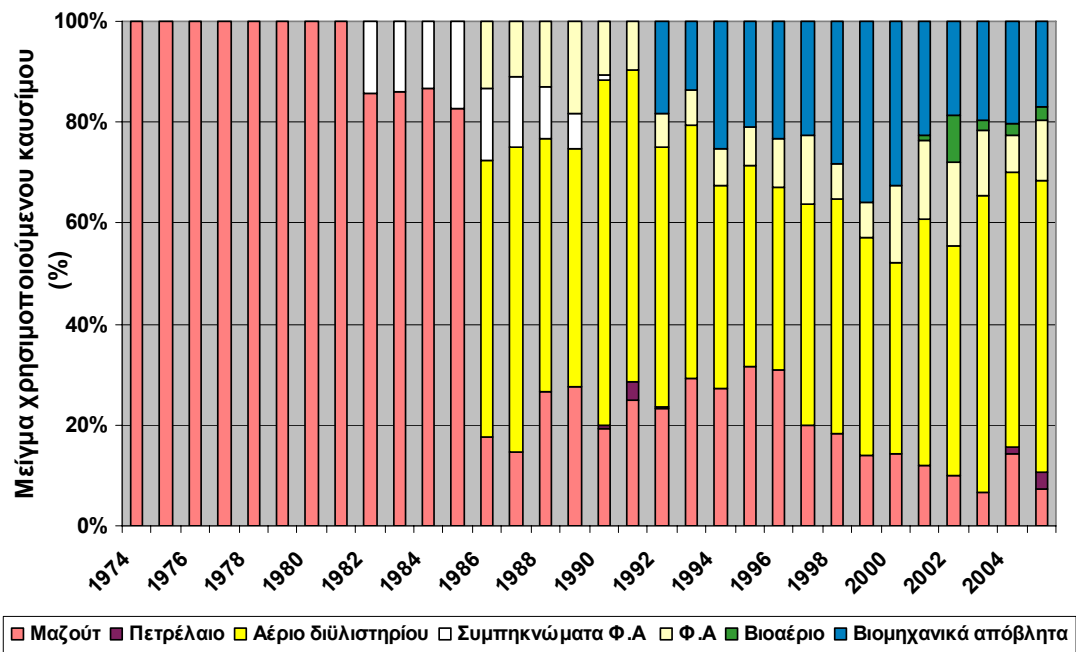
Διάγραμμα 2.6 Συνεισφορά του παραγόμενου ηλεκτρισμού από τη ΔΕΗ και τους αυτο-παραγωγούς στη συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς το 1990.



Διάγραμμα 2.7 Συνεισφορά του παραγόμενου ηλεκτρισμού από τη ΔΕΗ και τους αυτο-παραγωγούς στη συνολική παραγωγή ηλεκτρισμού από θερμικούς σταθμούς το 2007.



Διάγραμμα 2.8 Μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου στους θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής της ΔΕΗ για την χρονική περίοδο 1960 – 2007.



Διάγραμμα 2.9 Μείγμα χρησιμοποιούμενου καυσίμου στους σταθμούς ΣΗΘ αυτό- παραγωγών, από το 1974 έως το 2005.

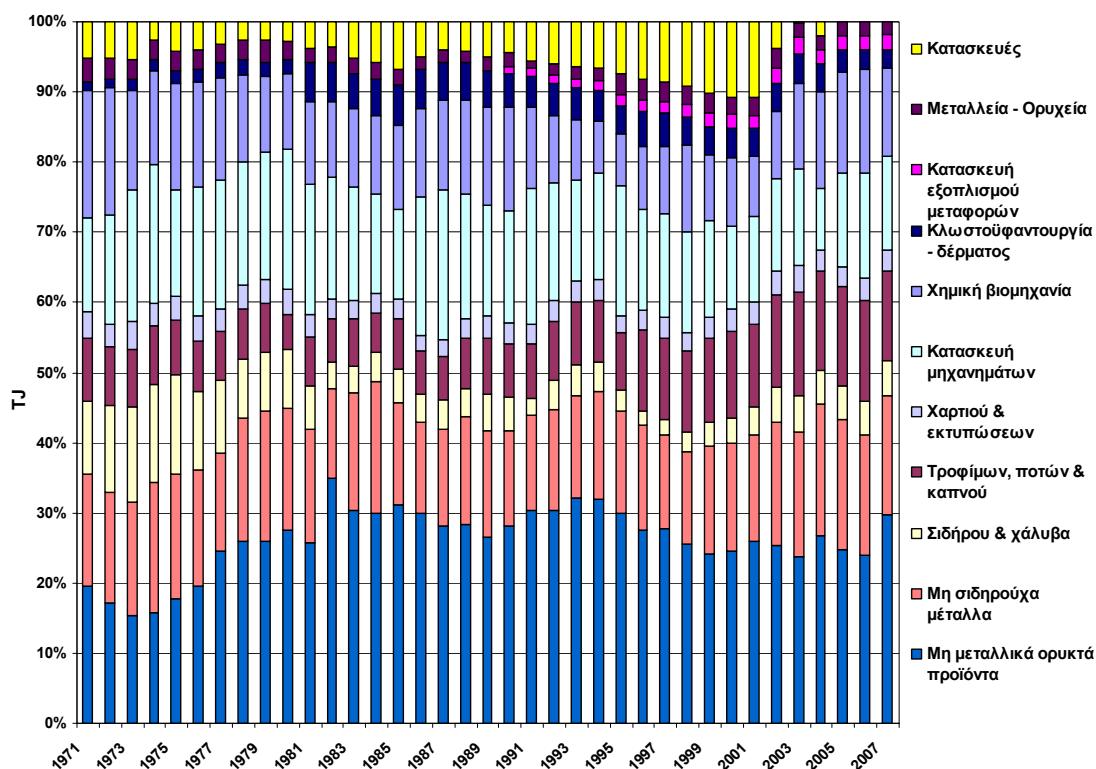
2.3.1.1. Ελληνικός βιομηχανικός τομέας. Οικονομικές απολαβές, ενεργειακή κατανάλωση και ΣΗΘ

Η ενεργειακή κατανάλωση του συνόλου του βιομηχανικού τομέα αλλά και αναλυτικά ανά υπο-τομέα είναι επίσης διαθέσιμη από το 1960 έως το 2007, σύμφωνα με τα στοιχεία του Εθνικού Πληροφοριακού Συστήματος Ενέργειας. Συγκεκριμένα, οι βιομηχανικοί υπο-τομείς για τους οποίους υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.2. Επιπρόσθετα δίνεται και η διεθνής ονοματολογία (κωδικός αριθμός) του κάθε υπο-τομέα σύμφωνα με την 3^η αναθεωρημένη κωδικοποίηση της στατιστικής υπηρεσίας των Ηνωμένων Εθνών (Isic. Revision 3).

A/A	Κωδικός υποτομέα	Βιομηχανικός υπο-τομέας
1	10 - 14	Μεταλλεία – ορυχεία
2	15 -16	Τρόφιμα, ποτά & καπνός
3	17 -18 -19	Κλωστοϋφαντουργία, επεξεργασία δέρματος, ένδυση και υπόδηση
4	21 - 22	Χαρτί και προϊόντα χαρτιού, εκτυπώσεις και εκδόσεις
5	24 - 25	Χημική βιομηχανία και κατασκευή ελαστικών και πλαστικών προϊόντων
6	26	Μη μεταλλικά ορυκτά προϊόντα
7	27	Βασική μεταλλουργία (σίδηρος & χάλυβας και μη σιδηρούχα μέταλλα)
8	29	Κατασκευή μηχανημάτων & εξοπλισμού
9	34 - 35	Κατασκευή εξοπλισμού μεταφορών
10	45	Κατασκευές

Στο Διάγραμμα 2.10, παρουσιάζεται η συνεισφορά του κάθε υπο-τομέα στην συνολική ενεργειακή κατανάλωση του βιομηχανικού τομέα από το 1971¹⁵ έως και το 2007· από το 2002 και μετά και για τον υπο-τομέα των κατασκευών οι αντίστοιχες καταγραφές δεν είναι συμβατές με αυτές των προηγούμενων ετών ενώ για τα 3 τελευταία έτη δεν υπάρχουν καθόλου διαθέσιμα δεδομένα.

¹⁵ Πριν από το 1971 τα διαθέσιμα δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλες αυξομειώσεις μεταξύ των ετών και οι αντίστοιχες συγκρίσεις μεταξύ των τομέων δεν θεωρούνται αξιόπιστες.

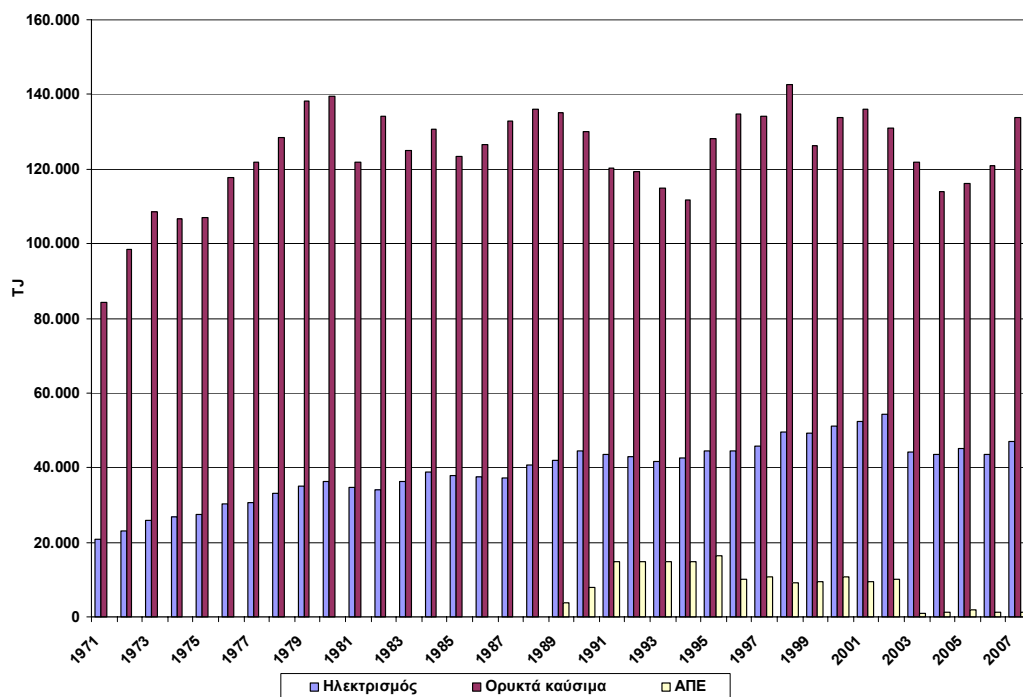


Διάγραμμα 2.10 Συνεισφορά του κάθε υπο-τομέα στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση της βιομηχανίας από το 1971 έως 2007.

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας του βιομηχανικού τομέα από το 1971 έως το 2007 αυξάνεται με μέσο ρυθμός ετήσιας αύξησης 2%. Σε απόλυτο μέγεθος η κατανάλωση ενέργειας στην Ελληνική βιομηχανία την τελευταία δεκαετία κυμαίνεται μεταξύ 175.000 και 225.000 TWh. Η μεγαλύτερη ποσότητα της καταναλισκόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών προϊόντων. Σημαντική είναι επίσης η συνεισφορά των υπο-τομέων της βασικής μεταλλουργίας (ως σύνολο των δύο υπο-τομέων σιδήρου & χάλυβα και μη σιδηρούχων μετάλλων), της κατασκευής μηχανημάτων και εξοπλισμού, της εξόρυξης (μεταλλεία – ορυχεία) και των τροφίμων, ποτών & καπνού. Το μείγμα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου στην Ελληνική βιομηχανία βασίζεται κυρίως στα ορυκτά καύσιμα (στερεά, υγρά και αέρια) και στον ηλεκτρισμό, ενώ από το 1989 και έπειτα συμμετέχουν σε πολύ μικρή αναλογία και οι ΑΠΕ¹⁶. Όπως φαίνεται και από το Διάγραμμα 2.11, η ποσότητα των ορυ-

¹⁶ Βιομάζα η οποία χρησιμοποιείται έναντι των ορυκτών καυσίμων.

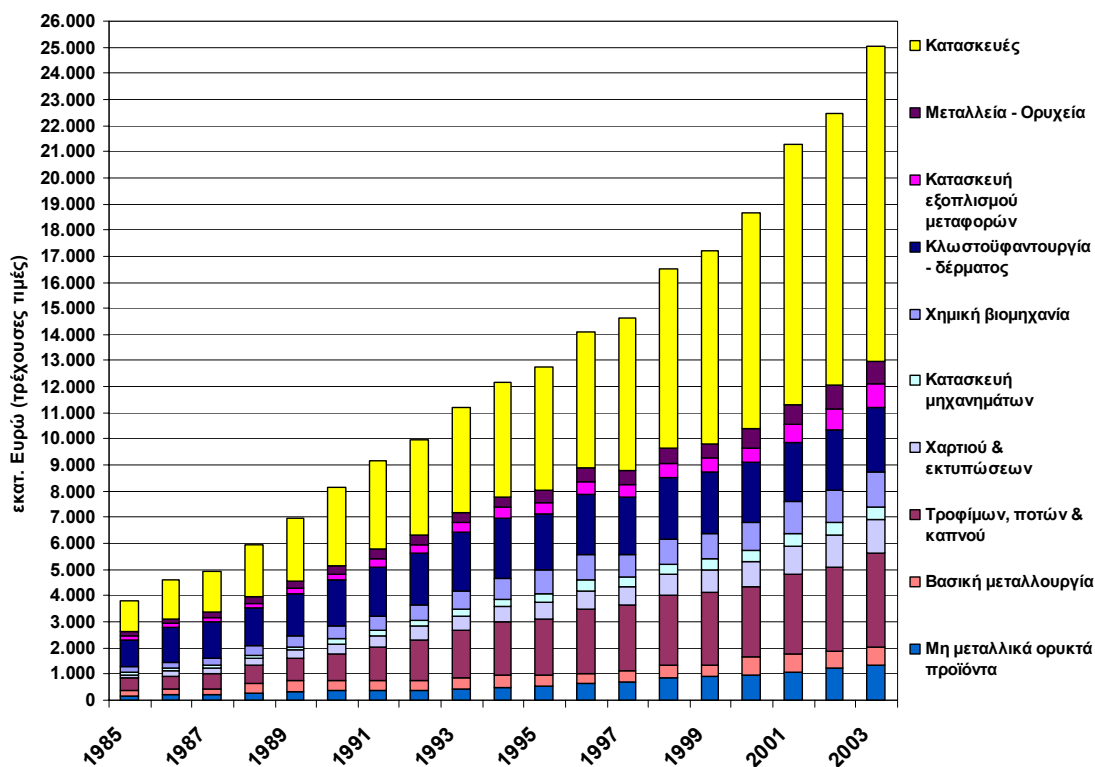
κτών καυσίμων που καταναλώνεται στον βιομηχανικό τομέα είναι τριπλάσια έως και τετραπλάσια της αντίστοιχης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.



Διάγραμμα 2.11 Κατανάλωση ενέργειας ανά καύσιμο για το σύνολο του βιομηχανικού τομέα από το 1971 έως το 2007.

Δεδομένα για την αποτύπωση των οικονομικών απολαβών του βιομηχανικού τομέα και κατά συνέπεια της εξέλιξης της βιομηχανικής παραγωγής είναι διαθέσιμα τόσο από τη βάση δεδομένων του Ο.Ο.Σ.Α (OECD STAN database), όσο και από τη βάση δεδομένων του Κέντρου Παραγωγής και Ανάπτυξης του Groningen (Groningen Growth and Development Centre, <http://www.ggdc.net/>) για την χρονική περίοδο 1985-2003. Ανεξάρτητα από τις παρατηρούμενες αυξομειώσεις ανά χρονική περίοδο στην κατανάλωση ενέργειας του βιομηχανικού τομέα, η βιομηχανική παραγωγή με βάση τις οικονομικές απολαβές και αποτιμώμενη με τον δείκτη προστιθέμενη αξία (value added) αυξάνεται κάθε χρόνο. Στο παρακάτω Διάγραμμα 2.12, παρουσιάζεται η προστιθέμενη αξία του βιομηχανικού τομέα σε τρέχουσες τιμές (εκατομμύρια ευρώ) και η συνεισφορά του κάθε βιομηχανικού υπο-τομέα στην εξέλιξη του παραπάνω δείκτη. Η προστιθέμενη αξία της βιομηχανίας αυξήθηκε από 3.824 εκ. ευρώ το 1985

σε 25.052 εκ. ευρώ το 2003 με μέσο ετήσιο ρυθμό αύξησης 11%¹⁷. Οι υπο-τομείς με τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις οικονομικές απολαβές του συνόλου του βιομηχανικού τομέα είναι ο κατασκευαστικός, ο υπο-τομέας τροφίμων, ποτών & καπνού και αυτός της κλωστοϋφαντουργίας.



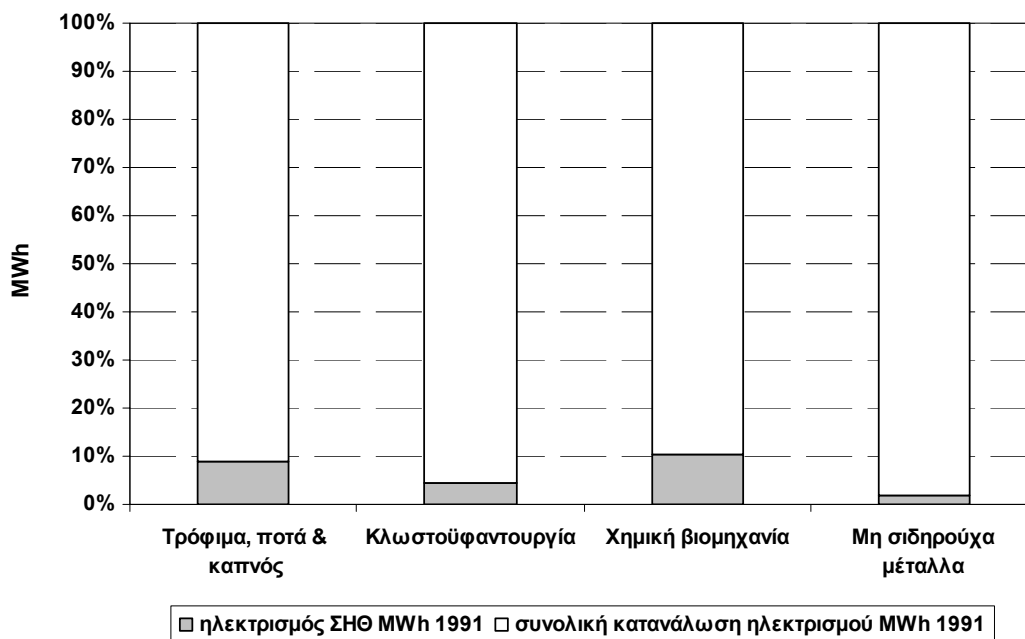
Διάγραμμα 2.12 Συνεισφορά της προστιθέμενης αξίας του κάθε υπο-τομέα στη συνολική προστιθέμενη αξία του βιομηχανικού τομέα από το 1985 έως το 2003.

¹⁷ Ο αντίστοιχος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας στην βιομηχανία για την ίδια περίοδο είναι 1%.

Στοιχεία που αφορούν συγκεκριμένα στην Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ) ανά βιομηχανικό υπο-τομέα και στην εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύς της, είναι διαθέσιμα από τους Χαραλαμπόπουλο Δ., 1993 και Θεοφύλακτο Χ., 2007 και συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.3· ωστόσο η παραγωγή ηλεκτρισμού από ΣΗΘ είναι καταγεγραμμένη μόνο για το 1991 και το ποσοστό συμμετοχής του στην συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού για τον κάθε υπο-τομέα δεν υπερβαίνει το 10% για την ίδια χρονιά (Διάγραμμα 2.13).

Πίνακας 2.3 Εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ στον Ελληνικό βιομηχανικό τομέα: παραγωγή ηλεκτρισμού από ΣΗΘ για το 1991 [Haralambopoulos D., 1993, Theofylaktos Ch., 2007]

Βιομηχανικός υπο-τομέας	Παραγωγή ηλεκτρισμού 1991 (MWhe)	Εγκατεστημένη ισχύς 1991 (MWe)	Εγκατεστημένη ισχύς 1999 (MWe)	Εγκατεστημένη ισχύς 2005 (MWe)	Υφιστάμενη ισχύς (MWe)
Τρόφιμα, ποτά & καπνός	72.557	56,00	56,00	60,50	32,50
Κλωστοϋφαντουργία	47.984	9,40	9,90	11,00	11,00
Χαρτιού			5,50	5,50	5,50
Χημική βιομηχανία	140.312	47,80	47,80	47,80	47,80
Μη σιδηρούχα μέταλλα	66.093	11,60	11,60	11,60	334,00
Σίδηρος & χάλυβας				11,50	11,50
Κατασκευές μεταλλικών προϊόντων				2,72	2,95
Μη μεταλλικά ορυκτά προϊόντα					1,13
Άλλη βιομηχανικοί τομείς					2,10
Συνολική εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ του βιομηχανικού τομέα		124,80	130,80	150,62	448,48



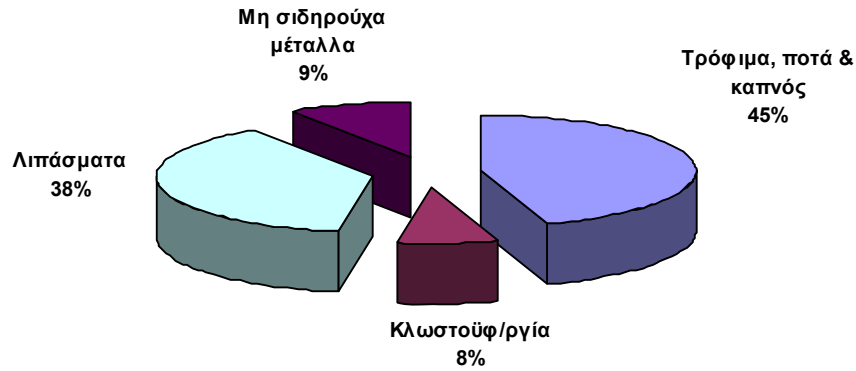
Διάγραμμα 2.13 Συνεισφορά του ηλεκτρισμού παραγόμενου από ΣΗΘ στην συνολική κατανάλωση ηλεκτρισμού για κάθε αναφερόμενο βιομηχανικό υπο-τομέα για το 1991.

Επιπρόσθετα, στα παρακάτω Διαγράμματα 2.14 και 2.15, αποτυπώνεται η ποσοστιαία συμμετοχή του κάθε βιομηχανικού υπο-τομέα, στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ της βιομηχανίας, για το 1991 και για την υφιστάμενη χρονική περίοδο. Όπως φαίνεται τόσο από τον παραπάνω Πίνακα 2.3 όσο και από τα παρακάτω σχήματα, ουσιαστική μεταβολή στη διαμόρφωση του βιομηχανικού τομέα σχετικά με την ΣΗΘ προκαλείται από την εγκατάσταση της μονάδας των 334 MWe, στον τομέα των μη σιδηρούχων μετάλλων¹⁸. Επιπρόσθετα, η εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ του υποτομέα των τροφίμων μειώθηκε κατά 28 MWe¹⁹. Οι λοιπές μονάδες ΣΗΘ, είναι σχετικά χαμηλής ισχύος και επηρεάζουν την εξέλιξη της παραπάνω συνεισφοράς σε μικρό σχετικά ποσοστά 2% έως και 1% για τους τομείς των μη σιδηρούχων μετάλλων και κατασκευών μεταλλικών προϊόντων αντίστοιχα.

¹⁸ Η συγκεκριμένη μονάδα δεν έχει τεθεί ακόμη σε κανονική λειτουργία. Η άδεια λειτουργίας έχει πλέον μεταβιβαστεί στην ενεργειακή εταιρία Endesa Hellas.

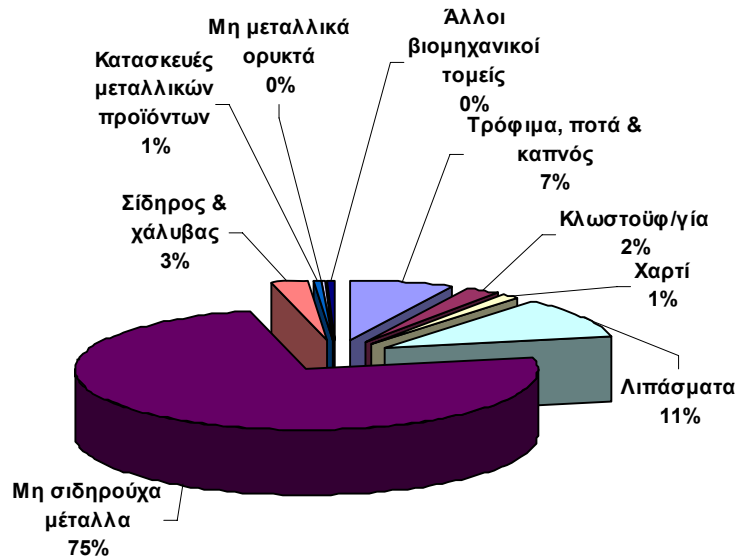
¹⁹ Στην Ελληνική Βιομηχανία ζάχαρης, το 2006 έκλεισαν τα εργοστάσια της Λάρισας και της Ξάνθης και μαζί τους και οι αντίστοιχοι σταθμοί ΣΗΘ, www.ebz.gr.

1991



Διάγραμμα 2.14 Ποσοστιαία συμμετοχή της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ του κάθε υπο-τομέα στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ της βιομηχανίας για το 1991.

Υφιστάμενη κατάσταση



Διάγραμμα 2.15 Υφιστάμενη ποσοστιαία συμμετοχή της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ του κάθε υπο-τομέα στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ της βιομηχανίας.

2.3.2. Πλαίσιο και στόχοι ενεργειακής πολιτικής

Στις εξελίξεις του ελληνικού ενεργειακού τομέα καθοριστικός είναι ο ρόλος των ακόλουθων μεγεθών (Cristodoulakis et al., 2000):

- Της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, η οποία ακολουθεί τους ρυθμούς της οικονομικής ανάπτυξης.
- Της ενεργειακής ζήτησης η οποία αυξάνεται γρηγορότερα στον τομέα των μεταφορών και του εμπορίου συγκριτικά με τον βιομηχανικό τομέα.
- Της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας η οποία αυξάνεται γρηγορότερα από τη ζήτηση πετρελαίου.

Σύμφωνα, με τη μελέτη «*European Union Energy Outlook to 2020*», η ενεργειακή κατανάλωση στην Ελλάδα, θα αυξάνεται συνεχώς την εικοσαετία 2000-2020. Συγκεκριμένα, αναμένεται να αυξηθεί κατά 41% το 2020, έναντι του 2000. Η αύξηση αυτή είναι σημαντικά υψηλότερη από άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με εξαίρεση την Ιρλανδία. Αναμένεται δε να ικανοποιηθεί από εισαγωγές ενεργειακών πόρων (πετρέλαιο και φυσικό αέριο), ενώ το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ στην κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης, θα αυξάνεται συνεχώς. Αντίθετα, το ποσοστό παραγωγής ενέργειας από εγχώριες πηγές υδρογονανθράκων, αναμένεται να μειωθεί. Για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό, η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής πρέπει να είναι το 2020 κατά 26% υψηλότερη σε σχέση με το 2010 [Agoris et al., 2004].

Οι στόχοι της ενεργειακής πολιτικής είναι η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, ο περιορισμός της ενεργειακής εξάρτησης, η εξασφάλιση χαμηλών ενεργειακών τιμολογίων και η μετρίαση των σχετικών με την ενεργειακή χρήση εκπομπών. Τα σχετικά λαμβανόμενα μέτρα, αφορούν κυρίως [Agoris et al., 2004],

- στην εκμετάλλευση των εγχώριων ενεργειακών πηγών,
- στη βελτίωση της υποδομής του ενεργειακού συστήματος, τουλάχιστον όσο αφορά την παραγωγή ηλεκτρισμού και την επεξεργασία του πετρελαίου,
- στη διασύνδεση των αυτόνομων ενεργειακών συστημάτων με το κυρίως ενεργειακό σύστημα της χώρας και
- στη διαφοροποίηση του καυσίμου, τόσο στη προμήθεια όσο και στη ζήτηση ενέργειας.

Το 1995, συντάχθηκε το «Ελληνικό Σχέδιο Δράσης για την Μετρίαση των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων του Θερμοκηπίου» (*Climate Change. The Hellenic Action Plan for the Abatement of CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions*), σύμφωνα με το οποίο, οι έμμεσες παρεμβάσεις για τη μετρίαση της ποσότητας των σχετικών με την ενεργειακή χρήση εκπομπών αφορούν στην [IEA/OECD, 1998]:

- Από-ανθρακοποίηση του ενεργειακού συστήματος
- Διείσδυση του φυσικού αερίου και των ΑΠΕ
- Βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης
- Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Συγκεκριμένα, τα μέτρα της ενεργειακής πολιτικής που αναφέρονται στον βιομηχανικό τομέα, συνοψίζονται σε:

- Κίνητρα για την προώθηση των ΑΠΕ, σταδιακή υποκατάσταση του πετρελαίου και της ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικό αέριο και εξοικονόμηση ενέργειας.
- Σχεδιασμός κατάλληλου ρυθμιστικού πλαισίου για την προώθηση των ΑΠΕ και της ΣΗΘ.
- Μηχανισμοί οικονομικής στήριξης για την προώθηση των ΑΠΕ και της ορθολογικής χρήσης ενέργειας (Rational Energy Use – RUE) .

Τα παραπάνω μέτρα, υποστηρίχθηκαν από το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα για την Ανταγωνιστικότητα 2000-2006 (Operational Programme for Competitiveness – OPC), στα πλαίσια του οποίου ενθαρρύνονται επενδύσεις, κυρίως στις ενεργοβόρες εγκαταστάσεις και μικρο-μεσαίες επιχειρήσεις, που αφορούν στην ορθολογική χρήση ενέργειας και τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, και στην προώθηση της ΣΗΘ και των ΑΠΕ. Επιπρόσθετα, με τη θέσπιση του αναπτυξιακού νόμου 3299/04 [ΦΕΚ 261/23.12.2004], επιχορηγούνται κατά 40% οι ενεργειακές επενδύσεις του βιομηχανικού και τριτογενή τομέα, που αφορούν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στη διείσδυση των ΑΠΕ και της ΣΗΘ στο συγκεκριμένους τομείς κατανάλωσης ενέργειας. Τέλος, με τους νόμους 3468/2006 [ΦΕΚ 129/27.06.2006] και 3734/2009 [Φ.Ε.Κ 8/28.01.2009], ορίζονται οι προδιαγραφές για την διάθεση κατά προτεραιότητα στο διασυνδεδεμένο δίκτυο, της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από εγκαταστάσεις ΑΠΕ και ΣΗΘ αυτό-παραγωγών.

2.4. Συμπεράσματα

Η αξιολόγηση της βιωσιμότητας των ενεργειακών συστημάτων, προϋποθέτει το σχηματισμό και την παρακολούθηση κατάλληλων ενεργειακών δεικτών. Στις μεθό-

δους Σύνθεσης Δεικτών και Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών, μπορούν να ενσωματωθούν δείκτες φυσικής δραστηριότητας και φυσικο-θερμοδυναμικοί δείκτες, για την εκτίμηση, παρακολούθηση και πληρέστερη ερμηνεία των μεταβολών σύνθετων ενεργειακών δεικτών. Επιτυγχάνεται, έτσι η ενδεδειγμένη παρακολούθηση του ενεργειακού συστήματος, αξιολογούνται οι πολιτικές του παρελθόντος και προσδιορίζονται ανάλογα οι δράσεις του μέλλοντος.

Το ποσοστό διείσδυσης της ΚΠ στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα δεν είναι το αναμενόμενο κυρίως λόγω των ζητημάτων διασύνδεσης και της απουσίας σαφούς ρυθμιστικού πλαισίου. Η ΚΠ ενσωματώνεται με επιτυχία σε χώρες στις οποίες η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας έχει εδραιωθεί, όπως για παράδειγμα η Ολλανδία. Συγκεκριμένα για την ΣΗΘ, η περαιτέρω διείσδυσή της προϋποθέτει την διασφάλιση της οικονομικής αποδοτικότητας των επενδύσεων. Αυτή επιτυγχάνεται με την σωστή διαστασιολόγηση των σταθμών (CHP sizing), την κατάλληλη επιλογή των τεχνολογιών, το χρησιμοποιούμενο καύσιμο και τη βέλτιστη χρήση των πόρων.

Η κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών στην Ελλάδα, προϋποθέτει μεταξύ άλλων, τη βελτίωση της υποδομής του ενεργειακού συστήματος, τη διαφοροποίηση των χρησιμοποιούμενων καυσίμων, τη διείσδυση του φυσικού αερίου και των ΑΠΕ καθώς και την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Η ενσωμάτωση της ΣΗΘ στο Ελληνικό ενεργειακό σύστημα, συντελεί στην επίτευξη των παραπάνω στόχων ενεργειακής πολιτικής. Ωστόσο, αν και οι επενδύσεις ΣΗΘ, ευνοούνται από την εθνική νομοθεσία (νόμοι 3299/05, 3468/06), η συνεισφορά της στο σύνολο του παραγόμενου ηλεκτρισμού είναι της τάξης του 2%.

Ο βιομηχανικός τομέας, αν και η ενεργειακή του κατανάλωση έχει μειωθεί κατά 18% από το 1980 έως το 2007, είναι ο δεύτερος ενεργοβόρος τομέας στην Ελλάδα. Σχετικά με τη συμπαραγωγή το 1991, η κατανάλωση ηλεκτρισμού παραγόμενου από ΣΗΘ δεν ξεπερνούσε το 10% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού στους βιομηχανικούς υπο-τομείς που λειτουργούσε ΣΗΘ. Η πρόσφατη αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος ΣΗΘ στη βιομηχανία οφείλεται ουσιαστικά στον αντίστοιχο σταθμό του υπο-τομέα των μη σιδηρούχων μετάλλων, ο οποίος όμως δεν έχει τεθεί ακόμη σε λειτουργία.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα παραπάνω συμπεράσματα, προκύπτει η ανάγκη παρακολούθησης (monitoring) του Ελληνικού (και κάθε) ενεργειακού συστήματος όσον αφορά τη συμμόρφωσή του με τις πολιτικές ρυθμίσεις και την προσαρμογή του στις

τεχνολογικές εξελίξεις. Επιπρόσθετα απαιτείται συγκεκριμένο πλαίσιο δράσεων για την ενσωμάτωση της ΚΠ σ' αυτό.

Η παρούσα διατριβή, συνεισφέρει στις τρέχουσες πιέσεις με την ανάπτυξη ενός Δυναμικού Μοντέλου Αναλυτικής Αποδόμησης που θα παρακολουθεί τη μεταβολή ενεργειακών δεικτών λόγω της εισροής καινοτόμων τεχνολογιών στην τελική ενεργειακή χρήση και στην προμήθεια ενέργειας. Το Μοντέλο αναπτύσσεται στον Ελληνικό βιομηχανικό τομέα και περαιτέρω θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των σχετικών με την ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση ενέργειας ενεργειακών πολιτικών και την βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού με ΚΠ.

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

3.1. Εισαγωγή

Σ' αυτό το Κεφάλαιο αναπτύσσεται το Δυναμικό Μοντέλο Αναλυτικής Αποδόμησης ενεργειακών δεικτών. Το Μοντέλο βασίζεται σε δύο (2) άξονες:

A). Ο πρώτος άξονας αφορά στην ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου που θα εξετάζει πόσο αποδοτικά χρησιμοποιούνται οι τελικές μορφές ενέργειας που διατίθενται προς κατανάλωση στην βιομηχανία. Συγκεκριμένα, αποσκοπεί στον σχηματισμό και παρακολούθηση ενός σύνθετου δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» σε συγκεκριμένους βιομηχανικούς υπο-τομείς και επιπρόσθετα στην ανάδειξη και ποσοτικοποίηση των παραμέτρων που υπόκεινται των μεταβολών της ενεργειακής χρήσης στους ίδιους υπο-τομείς, δηλαδή της παραγωγικότητας τους, της δομής τους (μείγμα παραγόμενων προϊόντων) και της φυσικής ενεργειακής τους απόδοσης. Αυτό θα πραγματοποιηθεί με τη συνδυαστική χρήση των υφιστάμενων μεθοδολογικών προσεγγίσεων, για την Σύνθεση φυσικο-θερμοδυναμικών δεικτών και δεικτών φυσικής δραστηριότητας και την Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών. Με το συγκεκριμένο πλαίσιο θα αξιολογηθεί το αποτέλεσμα των νομοθετικών ρυθμίσεων και κινήτρων που σχετίζονται με την ορθολογική χρήση ενέργειας και ευνοούν την ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών, στην εξέλιξη της ενεργειακής χρήσης στην Ελληνική βιομηχανία.

B). Ο δεύτερος άξονας αφορά στην ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας λόγω της διείσδυσης της ΚΠ στην βιομηχανία. Οι τελικές εισροές ενέργειας ενός βιομηχανικού υπο-τομέα ανάγονται σε πρωτογενείς εισροές ορυκτών καυσίμων, και εξετάζεται η προοπτική μείωσης των τελευταίων ως αποτέλεσμα της διείσδυσης της ΣΗΘ σ' αυτόν. Αναπτύσσονται δύο σύνθετοι δείκτες με τους οποίους αποτιμάται η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας στον εξεταζόμενο υπο-τομέα και στο σύνολο των τομέων της οικονομίας. Ο απώτερος στόχος είναι η χρήση της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού με ΣΗΘ. Στη μεθοδολογία λαμβάνονται υπ' όψιν τόσο οι πραγματικές ανάγκες σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια του βιομηχανικού υπο-τομέα όσο και οι δυνατότητες για περαιτέρω χρήση της πλεονάζουσας ενέργειας από συμπαραγωγή σε οποιοδήποτε τομέα κατανάλωσης ενέργειας. Αυτό πραγματοποιείται, με την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων που αφορούν στον βι-

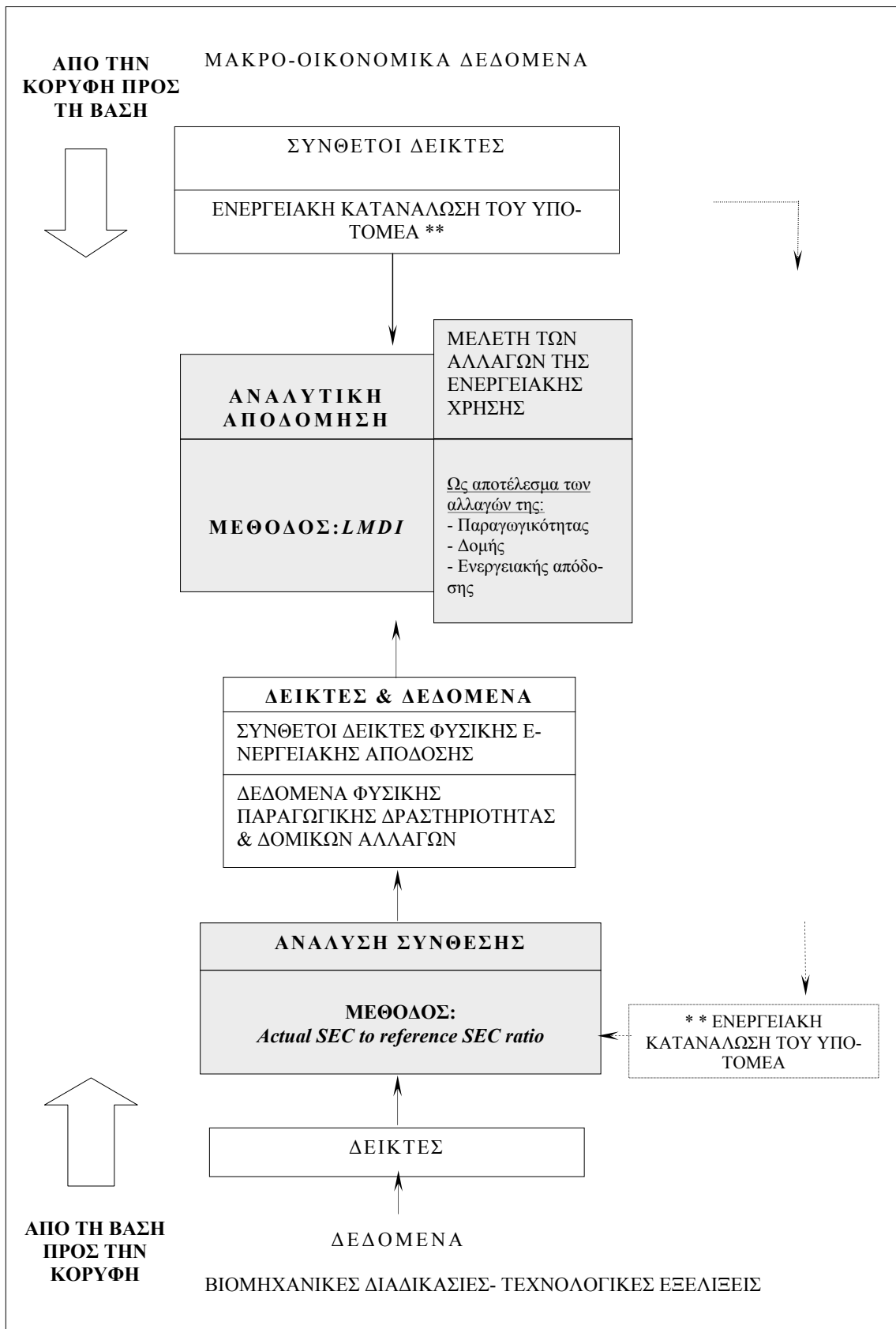
ομηχανικό ενεργειακό σχεδιασμό, στα οποία ενσωματώνεται η υφιστάμενη γνώση αναφορικά με την απόδοση μετατροπής των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό και θερμότητα από συμπαραγωγή, εξετάζοντας όλες τις προοπτικές διάθεσης της παραγόμενης ενέργειας συμπεριλαμβανομένων και των νομοθετικών περιορισμών.

Παρακάτω αναπτύσσονται οι δύο άξονες του Μοντέλου και περιγράφονται οι αντίστοιχες μεθοδολογίες.

3.2. Ανάπτυξη του πρώτου Άξονα του Μοντέλου: Σύνθεση του Δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης και Αναλυτική Αποδόμηση του Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης

Στην παρούσα ανάλυση, αναπτύσσεται ένα μεθοδολογικό πλαίσιο στο οποίο συνδυάζονται η «από τη βάση προς την κορυφή» και «από την κορυφή προς την βάση» μεθοδολογικές προσεγγίσεις για τον σχηματισμό και την ανάλυση ενεργειακών δεικτών, στο επίπεδο του βιομηχανικού υπο-τομέα· αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1. Στο προτεινόμενο πλαίσιο, ενσωματώνονται τόσο φυσικο-θερμοδυναμικοί δείκτες και δείκτες φυσικής δραστηριότητας (ποσότητα φυσικής παραγωγής προϊόντων και αντίστοιχες ΕΕΚς) από το πρωταρχικό επίπεδο ανάλυσης, δηλ. αυτό των επιμέρους βιομηχανικών διεργασιών για την παραγωγή των προϊόντων, όσο και σύνθετοι δείκτες (συνολική κατανάλωση ενέργειας του υπο-τομέα) από ανώτατο επίπεδο της υφιστάμενης ανάλυσης, δηλ. του βιομηχανικού υπο-τομέα. Αρχικά, οι φυσικο-θερμοδυναμικοί δείκτες και οι δείκτες φυσικής δραστηριότητας χρησιμοποιούνται στη μέθοδο Σύνθεσης Δεικτών και αποτιμάται ο δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για μια σειρά ετών σ' έναν βιομηχανικό υπο-τομέα. Στη συνέχεια, τα ενδιάμεσα και τελικά αποτελέσματα της μεθόδου Σύνθεσης Δεικτών δηλ. η παραγωγικότητα του υπο-τομέα, η δομή του (μείγμα παραγόμενων προϊόντων) και η φυσική ενεργειακή του απόδοση, αποτελούν τα δεδομένα για την παρακολούθηση και ερμηνεία των μεταβολών της συνολικής ενεργειακής χρήσης του υπο-τομέα. Συγκεκριμένα αυτά ενσωματώνονται σε μια μέθοδο Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών και ποσοτικοποιείται η συνεισφορά των μεταβολών τους, στη μεταβολή της ενεργειακής χρήσης του βιομηχανικού υπο-τομέα, για μια σειρά ετών. Με το προτεινόμενο πλαίσιο, στην μεταβολή της ενεργειακής χρήσης σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα, απεικονίζονται συγκεκριμένες επεμβάσεις που οδήγησαν στη μεταβολή της παραγωγικότητας, της δομής και της ενεργειακής του απόδοσης, όπως για παράδειγμα η εισροή σύγχρονων

τεχνολογιών, η μείωση της βιομηχανικής δραστηριότητας, και η πραγματοποίηση των βιομηχανικών διεργασιών με περισσότερο σύγχρονες μεθόδους. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας.



Σχήμα 3.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο Σύνθεσης και Αναλυτικής Αποδόμησης Ενεργειακών Δεικτών.

3.2.1. Περιγραφή μεθοδολογίας

Σύνθεση του Δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης

Για την σύνθεση του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» ενός βιομηχανικού υπο-τομέα χρησιμοποιούνται φυσικο-θερμοδυναμικοί δείκτες και δείκτες φυσικής δραστηριότητας που εκφράζουν την αποδοτικότητα του υπο-τομέα για την παραγωγή του κάθε προϊόντος (κατώτατο επίπεδο ανάλυσης – end use level). Η επεξεργασία των παραπάνω δεικτών πραγματοποιείται με τη χρήση της μεθόδου «*actual SEC to reference SCE ratio*» που βασίζεται στη σύγκριση της πραγματικής Ειδικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (EEK) για τις επιμέρους βιομηχανικές διεργασίες και την παραγωγή του κάθε βιομηχανικού προϊόντος προς την αντίστοιχη EEK «αναφοράς» [Phylipsen G.J.M., et al, 1997, Farla J.C.M., et al, 2000, Worrel E., et al, 1997]. Με βάση την EEK στο έτος «αναφοράς» των παραγόμενων προϊόντων, εκτιμάται για κάθε έτος η συνολική ενεργειακή κατανάλωση «αναφοράς», σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα. Εάν η πραγματική συνολική ενεργειακή κατανάλωση του βιομηχανικού υπο-τομέα για κάθε έτος (η οποία είναι διαθέσιμη από τα εθνικά ενεργειακά ισοζύγια και σχετίζεται με την πραγματική EEK του κάθε προϊόντος στο αντίστοιχο έτος), είναι μεγαλύτερη από την συνολική ενεργειακή κατανάλωση «αναφοράς» του στο ίδιο έτος, τότε και η αντίστοιχη πραγματική EEK για την παραγωγή των επιμέρους προϊόντων, έχει αυξηθεί, σε σχέση με την EEK «αναφοράς». Κατά συνέπεια, η φυσική ενεργειακή απόδοση του υπο-τομέα επιδεινώνεται. Η μέθοδος περιγράφεται παρακάτω σε πέντε (5) διακριτά βήματα:

Βήμα 1^ο: Άθροιση δεδομένων του επιπέδου παραγωγής

Η παραγωγή, αποτιμώμενη σε φυσικές μονάδες, $m_{0,i,s}$ επιλεγμένων προϊόντων i , τη συγκεκριμένη χρονιά αναφοράς (base year) αθροίζεται στο επίπεδο υπο-τομέα: η EEK «αναφοράς» (SEC_0) των επιλεγμένων προϊόντων, από τη διαθέσιμη βιβλιογραφία, χρησιμοποιείται ως συντελεστής στάθμισης. Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση για συγκεκριμένο υπο-τομέα s και χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας j υπολογίζεται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$E_{calc0,s,j} = \sum_i m_{0,i,s} * SEC_{0,i,j} \quad (3.1)$$

Βήμα 2^ο: Ορισμός του «Ποσοστού Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης»

Όπως έχει προαναφερθεί δεν είναι διαθέσιμη η «EEK αναφοράς» όλων των προϊόντων ενός υπο-τομέα· επιπλέον ενδέχεται να μην είναι καταγεγραμμένη και η φυσική

παραγωγή κάποιων προϊόντων. Κατά συνέπεια, με την άθροιση των διαθέσιμων δεδομένων στο έτος αναφοράς, υπολογίζεται ένα ποσοστό της πραγματικής συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, όπως αυτή αναφέρεται στα εθνικά ενεργειακά ισοζύγια, για τον κάθε υπο-τομέα την ίδια χρονιά. Ο λόγος της υπολογιζόμενης συνολικής κατανάλωσης ενέργειας $E_{calc,0}$ προς την πραγματική συνολική κατανάλωση ενέργειας E_0 το έτος αναφοράς λέγεται «Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης» C_0 και ορίζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$C_{0,s,j} = \frac{E_{calc,0,s,j}}{E_{0,s,j}} = \frac{\sum_i m_{0,i,s} * SEC_{0,i,j}}{E_{0,s,j}} \quad (3.2)$$

Με τον όρο αυτό εκφράζεται ο βαθμός ανακρίβειας των δεδομένων, ο οποίος αφορά τόσο στην ορθότητα και πληρότητα των καταγραφών δεδομένων ενεργειακής κατανάλωσης και βιομηχανικής παραγωγής όσο και στη διαφορά μεταξύ της πραγματικής ΕΕΚ για την παραγωγή των επιλεγμένων προϊόντων με την «ΕΕΚ αναφοράς» για τα ίδια προϊόντα.

Βήμα 3^ο: Ορισμός της «Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας Αναφοράς» το έτος αναφοράς

Με τη διαίρεση της υπολογιζόμενης συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης για έναν υπο-τομέα s και χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας j το έτος αναφοράς με το «Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης» C_0 μετριάζεται το αντίκτυπο τυχόν ανακριβών δεδομένων και ορίζεται με βάση την εξίσωση (3.3) η «Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας Αναφοράς» $E_{ref,0}$ στο έτος αναφοράς ως ίση με την «Πραγματική Κατανάλωση Ενέργειας» το ίδιο έτος [Ramirez C.A., et al., 2006, Neelis M., et al., 2007, Neelis M., et al., 2004].

$$E_{ref,0,s,j} = \frac{\sum_i m_{0,i,s} * SEC_{0,i,j}}{C_{0,s,j}} = E_{0,s,j} \quad (3.3)$$

Βήμα 4^ο: Ορισμός της «Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας Αναφοράς» για τυχαίο έτος k

Η «Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας Αναφοράς» για τυχαίο έτος $E_{ref,k}$, εκφράζει την συνολική ενέργεια που θα είχε καταναλωθεί στον εν λόγω υπο-τομέα εάν μεταξύ του έτους αναφοράς και τυχαίου έτους k δεν έχουν συμβεί αλλαγές που αφορούν στο είδος των παραγόμενων προϊόντων (δομικές αλλαγές) και στην ειδική ενεργειακή τους κατανάλωση [Ramirez C.A., et al., 2006, Farla G.J.M., et al., 2000]: αυτή υπολογίζεται με βάση την εξίσωση (3.4):

$$E_{ref,k,s,j} = \frac{\sum_i m_{k,i,s} * SEC_{0,i,j}}{C_{0,s,j}} \quad (3.4)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, η «Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας Αναφοράς» για κάθε έτος $E_{ref,k}$, ανάγεται πάντα στο έτος αναφοράς. Γι' αυτό και συνίσταται προσοχή στην επιλογή του έτους «αναφοράς» καθώς οι εκτιμώμενοι παράμετροι εξαρτώνται από αυτό. Το συγκεκριμένο έτος, η ενεργειακή και βιομηχανική δραστηριότητα του κάθε υπο-τομέα θα πρέπει να αναπαρίσταται με τη μεγαλύτερη δυνατή αξιοπιστία και κατά συνέπεια τα αντίστοιχα δεδομένα θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερα.

Βήμα 5^ο: Ορισμός του σύνθετου δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης»

Ο λόγος της πραγματικής συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης (καταγεγραμμένα δεδομένα) E_k και της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης αναφοράς $E_{ref,k}$ για κάθε έτος k , είναι ο σύνθετος δείκτης της «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» του υπο-τομέα s για τη χρήση της συγκεκριμένης μορφής ενέργειας j (εξίσωση (3.5)).

$$PEE_{k,s,j} = \frac{E_{k,s,j}}{E_{ref,k,s,j}} \quad (3.5)$$

Ο δείκτης είναι αδιάστατος και εξ' ορισμού ίσος με τη μονάδα το έτος αναφοράς: όταν η τιμή του δείκτη αυξάνει τότε η ενεργειακή απόδοση επιδεινώνεται.

Ο εν λόγω δείκτης αφορά στην ορθολογική χρήση των τελικών μορφών ενέργειας που εισέρχονται και καταναλώνονται σε έναν υπο-τομέα. Εξαρτάται από την Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση των παραγωγικών διαδικασιών και ουσιαστικά εκφράζει το τεχνολογικό επίπεδο της εποχής και το βαθμό εκσυγχρονισμού των βιομηχανικών μονάδων. Υπολογίζεται για κάθε χρησιμοποιούμενη τελική μορφή ενέργειας j : μπορεί όμως με τη χρήση κατάλληλων συντελεστών μετατροπής f_j τελικών μορφών ενέργειας (π.χ. ηλεκτρισμό, ορυκτά καύσιμα, θερμότητα) σε πρωτογενή ενέργεια, ο ίδιος δείκτης να εκτιμηθεί και σε επίπεδο πρωτογενούς χρήσης ενέργειας με βάση τις παρακάτω εξισώσεις:

$$C_{0,s,p} = \frac{\sum_i \sum_j m_{0,i,s} \cdot SEC_{0,i,s,j} \cdot f_j}{\sum_j E_{0,s,j} \cdot f_j} = \frac{\sum_j E_{ref,0,s,j} * f_j}{\sum_j E_{0,s,j} * f_j} \quad (3.6)$$

$$E_{ref,k,s,p} = \frac{\sum_i \sum_j m_{k,i,s} \cdot SEC_{0,i,j} \cdot f_j}{C_{0,s,p}} \quad (3.7)$$

$$PEE_{k,s,p} = \frac{\sum_j E_{k,s,j} \cdot f_j}{E_{ref,k,s,p}} \quad (3.8)$$

Ωστόσο, στην αποτίμηση του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» σε επίπεδο πρωτογενούς ενέργειας, πέραν των τεχνολογικών αλλαγών που αφορούν στις βιομηχανικές διεργασίες και τη παραγωγή των προϊόντων, επιπλέον συνεκτιμώνται και:

- οι τεχνολογικές αλλαγές που αφορούν στη βελτίωση (ή επιδείνωση) των διαδικασιών μετατροπής των χρησιμοποιούμενων μορφών πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρισμό και θερμότητα,
- οι αλλαγές της συνεισφοράς της κάθε μορφής ενέργειας στο συνολικό χρησιμοποιούμενο μείγμα πρωτογενούς καυσίμου.

Στην περίπτωση αυτή η ερμηνεία του δείκτη $PEE_{k,s,p}$ είναι πληρέστερη αλλά περισσότερο περίπλοκη.

Αναλυτική Αποδόμηση του Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης

Η σύνδεση της ενεργειακής κατανάλωσης του βιομηχανικού υπο-τομέα s , για κάθε χρησιμοποιούμενη μορφή ενέργειας j , με την παραγωγικότητά του, την δομή του και τη φυσική ενεργειακή του απόδοση, αποδίδεται με την «βασική εξίσωση της αποδόμησης»:

$$E_{s,j} = \sum_i m_{i,s} * \frac{E_{ref,s,j}}{\sum_i m_{i,s}} * \frac{E_{s,j}}{E_{ref,s,j}} \quad (3.9)$$

Η παράμετρος $\sum_i m_{i,s}$ είναι η συνολική παραγωγή του υπο-τομέα αποτιμώμενη σε μονάδες μάζας και εκφράζει το αποτέλεσμα της μεταβολής της παραγωγικής δραστηριότητας του υπο-τομέα στην μεταβολή της ενεργειακής του κατανάλωσης.

Η παράμετρος $\frac{E_{ref,s,j}}{\sum_i m_{i,s}}$ σχετίζεται με τις δομικές (ενδο-τομεακές) αλλαγές του υπο-

τομέα: εκφράζει το αποτέλεσμα της μεταβολής του μείγματος των παραγόμενων προϊόντων (π.χ. μείωση ή και διακοπή της παραγωγής συγκεκριμένων προϊόντων) στην εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης του υπο-τομέα.

Τέλος, η παράμετρος $\frac{E_{s,j}}{E_{ref\ s,j}}$ εκφράζει το αποτέλεσμα της μεταβολής της φυσικής ενεργειακής απόδοσης του υπο-τομέα στη διαμόρφωση της ενεργειακής του κατανάλωσης.

Σύμφωνα με την αθροιστική προσέγγιση της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών, η συνολική μεταβολή της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενός βιομηχανικού υπο-τομέα, μεταξύ των ετών t και T , είναι το άθροισμα των μεταβολών της παραγωγικής δραστηριότητας, της δομής και της ενεργειακής του απόδοσης, μεταξύ των ετών t και T αντίστοιχα, σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση.

$$\Delta E_{t-T} = \Delta E_{t-T(ACT)} + \Delta E_{t-T(STR)} + \Delta E_{t-T(EFF)} \quad (3.10)$$

Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η μέθοδος του «Λογαριθμικού Μέσου του Δείκτη Divisia» (*Logarithmic Mean Divisia Index – LMDI*). Στη συγκεκριμένη Ανάλυση Αποδόμησης, το έτος «αναφοράς» σε σχέση με την οποία παρατηρούνται οι μεταβολές των εξεταζόμενων μεγεθών, είναι κυλιόμενο. Στην ουσία πρόκειται για ανάλυση χρονοσειρών, δηλ. ανάλυση των παρατηρούμενων αλλαγών των εξεταζόμενων μεγεθών μεταξύ δύο ετών, και επιπλέον για μια σειρά ετών. Η μαθηματική έκφραση της μεθόδου LMDI είναι η εξίσωση (3.11),

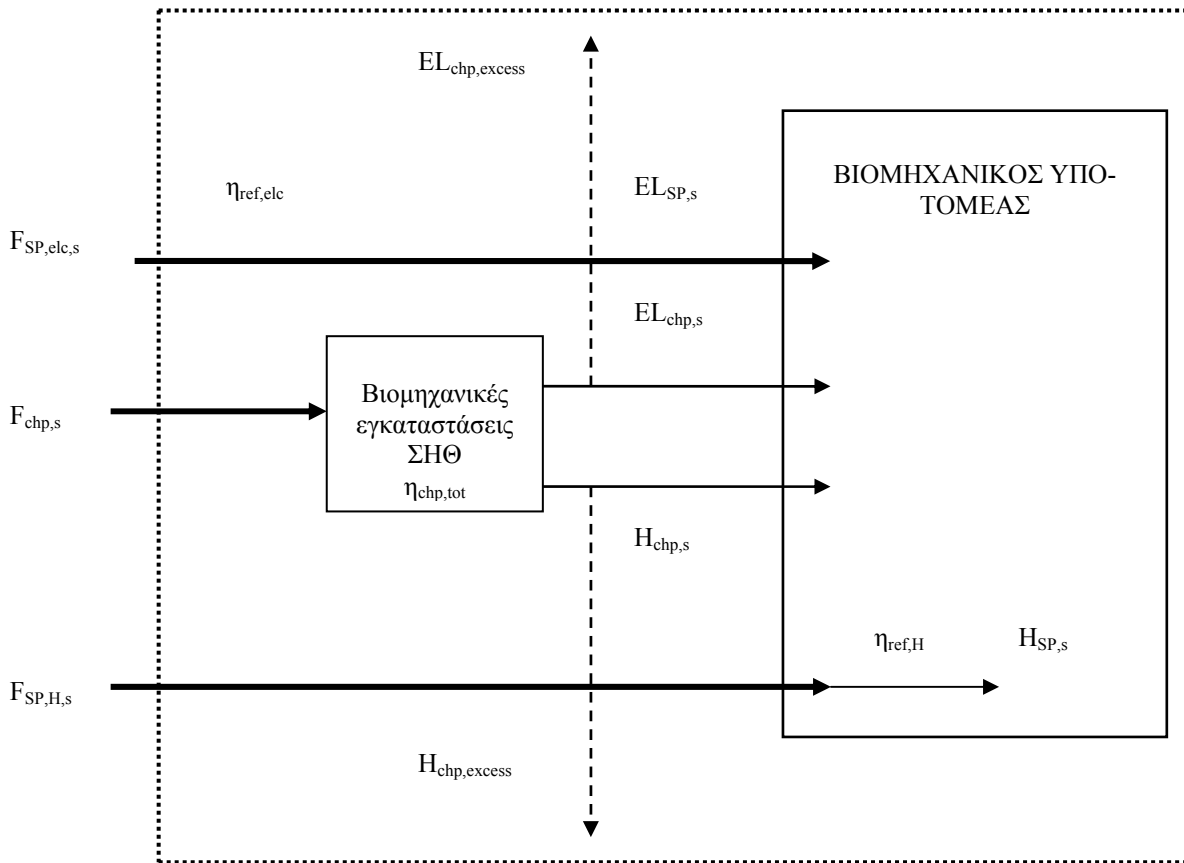
$$\Delta V_{t-T} = \sum_t^T \frac{V_t - V_{t-1}}{\ln(V_t/V_{t-1})} * \ln\left(\frac{X_t}{X_{t-1}}\right) \quad (3.11)$$

σύμφωνα με την οποία αποτιμάται η συνεισφορά του αντίκτυπου των μεταβολών της παραμέτρου X στις μεταβολές του αθροιστικού δείκτη V , μεταξύ των ετών t και T .

3.3. Ανάπτυξη του δευτέρου Άξονα του Μοντέλου: Σύνθεση Δεικτών Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας λόγω ΣΗΘ

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το μεθοδολογικό πλαίσιο εκτίμησης της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας, στο επίπεδο βιομηχανικού υπο-τομέα αλλά και στο συνολικό επίπεδο του οικονομικού συστήματος, λόγω διεύθυνσης της ΣΗΘ σ' έναν βιομηχανικού υπο-τομέα. Η αξιολόγηση των σταθμών ΣΗΘ ως προς την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με την χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας σε συμβατικούς θερμικούς σταθμούς και σε λέβητες (κατάσταση «αναφοράς»), πραγματοποιείται με τη σύγκριση των αποδόσεων μετατροπής των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό και θερμότητα των χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών συμπαραγωγής και «αναφοράς» αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, η ποσότητα των ορυκτών καυσί-

μων που χρησιμοποιείται σε ένα σταθμό ΣΗΘ για την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συγκρίνεται με την ποσότητα των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιείται για την χωριστή παραγωγή των ίδιων ποσοτήτων ηλεκτρισμού και θερμότητας. Ωστόσο, οι παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας από το σύνολο των σταθμών ΣΗΘ ενός βιομηχανικού υπο-τομέα, ενδέχεται να υπερβαίνουν ή να υστερούν των πραγματικών αναγκών σε ηλεκτρισμό ή θερμότητα του βιομηχανικού υπο-τομέα. Στην περίπτωση που παράγεται περίσσεια ενέργειας (ηλεκτρισμός ή θερμότητα) από ΣΗΘ, αυτή αντιστοιχεί σε απώλεια ενέργειας για τον βιομηχανικό υπο-τομέα καθώς δεν χρησιμοποιείται σ' αυτόν. Ωστόσο, αυτή ή μέρος αυτής θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αντίστοιχων ενεργειακών αναγκών οποιουδήποτε άλλου (υπό)-τομέα οικονομικής δραστηριότητας ανάλογα με τις υπάρχουσες δυνατότητες και την εκάστοτε εθνική νομοθεσία. Στο προτεινόμενο μεθοδολογικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της ΣΗΘ αναφορικά με την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, λαμβάνονται υπόψη, η απόδοση των υφιστάμενων τεχνολογιών ΣΗΘ και «αναφοράς», οι πραγματικές ενεργειακές ανάγκες σε ηλεκτρισμό και θερμότητα ενός βιομηχανικού υπο-τομέα, και επιπρόσθετα διαφορετικοί τρόποι διάθεσης της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός δύο (2) δεικτών εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας λόγω της διείσδυσης της ΣΗΘ σ' έναν βιομηχανικό υπο-τομέα. Με τον πρώτο αποτιμάται η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας στο επίπεδο του εξεταζόμενου υπο-τομέα και με τον δεύτερο η συνολική εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας στο σύνολο της οικονομίας. Ο πρώτος δείκτης προκύπτει από τη σύγκριση της πρωτογενούς ενέργειας που θα χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα ως αποτέλεσμα συγκεκριμένου τρόπου διείσδυσης της ΣΗΘ σε αυτόν, με την πρωτογενή ενέργεια που θα χρησιμοποιούνταν στην κατάσταση «αναφοράς» κατά την οποία ο ηλεκτρισμός και η θερμότητα που καταναλώνονται στον υπο-τομέα προέρχεται από χωριστή παραγωγή. Ο δεύτερος δείκτης προκύπτει από τη σύγκριση της πρωτογενούς ενέργειας για την συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, με την πρωτογενή ενέργεια που θα χρησιμοποιούνταν για την χωριστή παραγωγή των ποσοτήτων ηλεκτρισμού και θερμότητας που τελικά χρησιμοποιούνται εντός και εκτός των ορίων του εξεταζόμενου υπο-τομέα (κατάσταση «αναφοράς»). Στο Σχήμα 3.2, παρουσιάζονται τα όρια του υπό ανάλυση συστήματος και οι ενεργειακές εισροές σε αυτό.



$F_{SP,elec,s}$: εισροές ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρισμού στους κεντρικούς θερμικούς σταθμούς, $F_{chp,s}$: εισροές ορυκτών καυσίμων σε σταθμούς ΣΗΘ του υπο-τομέα s , $F_{SP,H,s}$: εισροές ορυκτών καυσίμων για την χωριστή παραγωγή θερμότητας στον υπο-τομέα s , $EL_{SP,s}$: ηλεκτρισμός που παράγεται χωριστά και χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα s , $EL_{chp,s}$: ηλεκτρισμός παραγόμενος από ΣΗΘ και χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα s , $H_{SP,s}$: θερμότητα που παράγεται χωριστά και χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα s , $H_{chp,s}$: θερμότητα παραγόμενη από ΣΗΘ και χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα s , $EL_{chp,excess}$: περίσσεια ηλεκτρισμού από ΣΗΘ, $H_{chp,excess}$: περίσσεια θερμότητας από ΣΗΘ, η : αντίστοιχες αποδόσεις μετατροπής

Σχήμα 3.2 Όρια του μεθοδολογικού πλαισίου και ενεργειακές εισροές.

Συγκεκριμένα, η συνολική ζήτηση πρωτογενούς ενέργειας ενός βιομηχανικού υπο-τομέα s , είναι το άθροισμα των παρακάτω επιμέρους παραμέτρων:

- $F_{SP,elec,s}$: της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων για την χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού που χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα s .
- $F_{chp,s}$: της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων που χρησιμοποιούνται στους σταθμούς ΣΗΘ που εξυπηρετούν τον υπο-τομέα s .
- $F_{SP,H,s}$: της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων την χωριστή παραγωγή θερμότητας που χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα s .

Ενδεχομένως η περίσσεια ενέργεια από ΣΗΘ (ηλεκτρισμό ή θερμότητα) ή μέρος αυτής να χρησιμοποιείται εκτός των ορίων του εξεταζόμενου υπο-τομέα. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας.

3.3.1. Περιγραφή μεθοδολογίας

Η συνολική κατανάλωση ενέργειας ενός βιομηχανικού υπο-τομέα s , το έτος k , ($E_{k,s}$) είναι σύμφωνα με το Σχήμα 3.2, το άθροισμα των συνολικών ενεργειακών εισροών (ηλεκτρισμού και θερμότητας) στον υπο-τομέα, εξίσωση (3.12).

$$E_{k,s} = EL_{k,s} + H_{k,s} = (EL_{SP,k,s} + EL_{chp,k,s}) + (H_{SP,k,s} + H_{chp,k,s}) \quad (3.12)$$

$EL_{SP,k,s}$ και $H_{SP,k,s}$ είναι οι ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας που παράγονται χωριστά σε μονάδες ηλεκτροπαραγωγής και λέβητες «αναφοράς»: $EL_{chp,k,s}$ και $H_{chp,k,s}$ είναι οι αντίστοιχες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας που παράγονται από σταθμούς ΣΗΘ και καταναλώνονται εντός του υπο-τομέα.

Το σύνολο των ορυκτών καυσίμων που εισρέουν στον υπο-τομέα s , τη χρονιά k , εκφράζει την πρωτογενή ενέργεια ($PE_{k,s}$) για το συγκεκριμένο έτος που χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα και εκτιμάται με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$PE_{k,s} = EL_{SP,k,s} \cdot f_{ref,elc,k} + (EL_{chp,k} + H_{chp,k}) \cdot f_{chp,tot} + H_{SP,k,s} \cdot f_{ref,H,k} \quad (3.13)$$

$EL_{chp,k}$ και $H_{chp,k}$ είναι οι συνολικά παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας από ΣΗΘ, οι οποίες εξαρτώνται από την εγκατεστημένη ισχύ ΣΗΘ σε έναν υπο-τομέα, τις ώρες λειτουργίας και τον τρόπο λειτουργίας των σταθμών. Κατά συνέπεια μπορούν να οριστούν ανάλογα με τον σενάριο διείσδυσης της ΣΗΘ στον βιομηχανικό υπο-τομέα s . Στην συγκεκριμένη μεθοδολογία αυτές ορίζονται με βάση τα δύο παρακάτω σενάρια διείσδυσης της ΣΗΘ.

- Σενάριο «Αντιστοίχισης Ισχύος» (*power match*): Διείσδυση της ΣΗΘ, ούτως ώστε η κατανάλωση ηλεκτρισμού του υπο-τομέα s , να καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από ΣΗΘ.
- Σενάριο «Αντιστοίχισης Θερμότητας» (*thermal match*): Διείσδυση της ΣΗΘ, ούτως ώστε η κατανάλωση θερμότητας του υπο-τομέα s , να καλύπτεται εξ' ολοκλήρου από ΣΗΘ

Σύμφωνα με τα δύο παραπάνω σενάρια ενεργειακού σχεδιασμού, διακρίνονται οι τρεις (3) παρακάτω περιπτώσεις για τις τελικές ποσότητες ενέργειας που εισρέουν στον υποτομέα s :

1η. Οι παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας από ΣΗΘ, καλύπτουν ακριβώς τις ενεργειακές ανάγκες σε ηλεκτρισμό και θερμότητα του υπο-τομέα s ($EL_{k,s} = EL_{chp,k}$ και $H_{k,s} = H_{chp,k}$). Τότε δεν χρησιμοποιείται επιπλέον ηλεκτρισμός ή θερμότητα από χωριστή παραγωγή και στην εξίσωση (3.13) $EL_{SP,k,s} = 0$ και $H_{SP,k,s} = 0$. Ωστόσο, αυτό αποτελεί ιδανική περίπτωση.

2η. Οι παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού ή θερμότητας από ΣΗΘ, δεν επαρκούν για την κάλυψη των αντίστοιχων ενεργειακών αναγκών του υπο-τομέα s , ανάλογα με το σενάριο ($EL_{k,s} > EL_{chp,k}$ ή $H_{k,s} > H_{chp,k}$). Στην περίπτωση αυτή οι επιπλέον ενεργειακές ανάγκες του υπο-τομέα προκύπτουν από χωριστή παραγωγή των αντίστοιχων ποσοτήτων ηλεκτρισμού $EL_{SP,k,s}$ ή θερμότητας $H_{SP,k,s}$.

3η. Οι παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού ή θερμότητας από ΣΗΘ, υπερβαίνουν τις αντίστοιχες ενεργειακές ανάγκες του υπο-τομέα s , ανάλογα με το σενάριο ($EL_{k,s} < EL_{chp,k}$ ή $H_{k,s} < H_{chp,k}$). Τότε, δεν χρησιμοποιείται επιπλέον ενέργεια από χωριστή παραγωγή στον υπο-τομέα ($EL_{SP,k,s} = 0$ και $H_{SP,k,s} = 0$ και $EL_{k,s} = EL_{chp,k,s}$ και $H_{k,s} = H_{chp,k,s}$). Ανάλογα με το σενάριο, η ποσότητα της περίσσειας από ΣΗΘ ενέργειας είναι $EL_{chp,k,excess} = EL_{k,s} - EL_{chp,k}$, ή $H_{chp,k,excess} = H_{k,s} - H_{chp,k}$ αντίστοιχα. Σε κάθε περίπτωση η περίσσεια από ΣΗΘ ενέργεια, αντιστοιχεί σε απώλεια ενέργειας για τον υπο-τομέα s , καθώς δεν χρησιμοποιείται σ' αυτόν.

Οι παράγοντες της εξίσωσης (3.13) υπολογίζονται με βάση τις παρακάτω εξισώσεις (όλες οι ποσότητες ενέργειας εκφράζονται σε TJ):

$$EL_{SP,k,s} = EL_{k,s} - EL_{chp,k} \quad (3.14)$$

$$F_{chp,k} = EL_{chp,k} \cdot f_{chp,elc} = H_{chp,k} \cdot f_{chp,H} = (EL_{chp,k} + H_{chp,k}) \cdot f_{chp,tot} \quad (3.15)$$

$$f_{chp,elc} = \left(\frac{1 + PHR_{chp}}{PHR_{chp}} \right) \cdot f_{chp,tot} \quad (3.16)$$

$$\frac{1}{f_{chp,tot}} = \frac{1}{f_{chp,elc}} + \frac{1}{f_{chp,H}} \quad (3.17)$$

$$H_{chp,k} = \frac{F_{chp,k}}{f_{chp,tot}} - EL_{chp,k} \quad (3.18)$$

$$H_{SP,k,s} = H_{k,s} - H_{chp,k} \quad (3.19)$$

Ο παραγόμενος από ΣΗΘ, ηλεκτρισμός εκτιμάται επίσης από την εξίσωση (3.20) όταν η ποσότητα της παραγόμενης θερμότητας από ΣΗΘ είναι γνωστή.

$$EL_{chp,k} = H_{chp,k} \cdot PHR_{chp} \quad (3.20)$$

Οι παράμετροι, $f_{chp,tot}$, $f_{chp,elec}$ και $f_{chp,H}$ είναι οι συντελεστές μετατροπής της συνολικά παραγόμενης ενέργειας από ΣΗΘ, του παραγόμενου από ΣΗΘ ηλεκτρισμού και της παραγόμενης από ΣΗΘ θερμότητας αντίστοιχα, σε πρωτογενή ενέργεια. Είναι το αντίστροφο των αντίστοιχων θερμοδυναμικών αποδόσεων μετατροπής για κάθε τεχνολογία ΣΗΘ. Η παράμετρος, PHR_{chp} , είναι ο «λόγος του παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα» από ΣΗΘ και επίσης αφορά σε συγκεκριμένη τεχνολογία. Όλοι οι παραπάνω παράμετροι αποτελούν τεχνολογικά χαρακτηριστικά της ΣΗΘ και έχουν συγκεκριμένο εύρος τιμών για κάθε τεχνολογία οι οποίες εξαρτώνται και από τον τρόπο λειτουργίας (operational mode) των εγκαταστάσεων ΣΗΘ [The European educational tool on cogeneration 2001, Frangopoulos Ch., et al., 1994]. Ο λόγος του «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα» και οι συντελεστές μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρισμό και θερμότητα των τεχνολογιών ΣΗΘ, συνδέονται μεταξύ τους με τις παραπάνω εξισώσεις (3.16) και (3.17).

Οι παράμετροι $f_{ref,elec,k}$ και $f_{ref,H,k}$ είναι οι αντίστοιχοι συντελεστές μετατροπής «αναφοράς» του ηλεκτρισμού και της θερμότητας σε πρωτογενή ενέργεια (αντίστροφοι των αντίστοιχων αποδόσεων «αναφοράς»). Αυτοί εξαρτώνται από τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες, το μείγμα καυσίμου και τη χρήση του δικτύου μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού. Ετήσιες τιμές των αποδόσεων «αναφοράς» προτείνονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τον Ευρωπαϊκό Σύνδεσμο για την Προώθηση της Συμπαγωγής (European Association for the Promotion of Cogeneration) [2007/74/EC, COGEN, 2005].

Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ($PES_{chp,k,s,Est}$) για το έτος k στον υποτομέα s λόγω της ΣΗΘ, εκφράζεται με την εξίσωση (3.22): είναι η διαφορά της πρωτογενούς ενέργειας που θα χρησιμοποιούσε ο υπο-τομέας αν δεν ήταν εγκατεστημένη ΣΗΘ σε αυτόν, (εξίσωση (3.21)) από την πρωτογενή ενέργεια που χρησιμοποιείται λόγω ΣΗΘ, όπως έχει εκφραστεί παραπάνω, με την εξίσωση (3.13).

$$PE_{ref,k,s} = EL_{k,s} \cdot f_{ref,elec,k} + H_{k,s} \cdot f_{ref,H,k} \quad (3.21)$$

$$PES_{chp,k,s,Est} = PE_{ref,k,s} - PE_{k,s} \quad (3.22)$$

Εν τέλει, ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» ($PESind_{chp,k,s}$) λόγω συμβολής της ΣΗΘ σε έναν υπο-τομέα s , που βασίζεται στις πραγματικές ετήσιες ανάγκες του σε ηλεκτρισμό και θερμότητα, εκτιμάται με την εξίσωση (3.23):

$$PESind_{chp,k,s} = \left(\frac{PES_{chp,k,s,Est}}{PE_{ref,k,s}} \right) \cdot 100\% \quad (3.23)$$

Προκειμένου να αποτιμηθεί η συνολικά εξοικονομούμενη πρωτογενής ενέργεια λόγω της περαιτέρω διάθεσης της περίσσειας από ΣΗΘ ενέργειας εκτός του εξεταζόμενου βιομηχανικού υπο-τομέα,²⁰ (3^η περίπτωση), εκτιμάται ο δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» ($TPESind_{chp,k,s}$) για το σύνολο των τομέων του οικονομικού συστήματος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η πρωτογενής ενέργεια που χρησιμοποιείται για την συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συγκρίνεται με την πρωτογενή ενέργεια που θα χρησιμοποιούνταν για την χωριστή παραγωγή των αντίστοιχων ποσοτήτων ηλεκτρισμού και θερμότητας που τελικά χρησιμοποιούνται εντός και εκτός του υπο-τομέα s , στην κατάσταση «αναφοράς». Ο εν λόγω δείκτης εξαρτάται από τις υπάρχουσες εναλλακτικές για την περαιτέρω χρήση της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ σε οποιονδήποτε (υπό)-τομέα του ενεργειακού συστήματος συμπεριλαμβανομένου και των νομοθετικών περιορισμών.

Σύμφωνα με το «*thermal match*» σενάριο διείσδυσης της ΣΗΘ, ενδεχομένως να παράγεται περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας ($EL_{chp,k,excess} = EL_{k,s} - E_{chp,k}$ και $EL_{chp,k,s} = EL_{k,s}$, 3^η περίπτωση). Εάν αυτή χρησιμοποιείται άμεσα εκτός του εξεταζόμενου υπο-τομέα s , ο δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» εκτιμάται με βάση της εξίσωση (3.24).

$$TPESind_{chp,k,s} = \left(1 - \frac{(EL_{chp,k,s} + |EL_{chp,k,excess}|) \cdot f_{chp,elc}}{(EL_{chp,k,s} + Y_{elc,k} \cdot |EL_{chp,k,excess}|) \cdot f_{ref,elc} + H_{chp,k} \cdot f_{ref,H}} \right) \%$$

$$TPESind_{chp,k,s} = \left(1 - \frac{EL_{chp,k} \cdot f_{chp,elc}}{Z_{elc,k} \cdot EL_{chp,k} \cdot f_{ref,elc} + H_{chp,k} \cdot f_{ref,H}} \right) \% \quad (3.24)$$

$$TPESind_{chp,k,s} = \left(1 - \frac{f_{chp,elc}}{Z_{elc,k} \cdot f_{ref,elc} + \frac{f_{ref,H}}{PHR_{chp}}} \right) \%$$

²⁰ Για παράδειγμα, πώληση της περίσσειας ποσότητας ηλεκτρισμού από ΣΗΘ στο δίκτυο ή εξαγωγή της περίσσειας ποσότητας θερμότητας από ΣΗΘ σε μονάδα άλλου βιομηχανικού υπο-τομέα ή σε πλησίον οικισμό.

Στην παραπάνω εξίσωση, $Y_{elc,k}$ είναι το ποσοστό της περίσσειας ποσότητας ηλεκτρισμού από ΣΗΘ που χρησιμοποιείται εκτός του εξεταζόμενου υπο-τομέα και $Z_{elc,k}$ είναι το ποσοστό του συνολικά παραγόμενου ηλεκτρισμού από ΣΗΘ που τελικά χρησιμοποιείται εντός και εκτός του εξεταζόμενου υπο-τομέα.

Σύμφωνα με το «*power match*» σενάριο διείσδυσης της ΣΗΘ, ενδεχομένως να παράγεται περίσσεια ποσότητα θερμότητας ($H_{chp,k,excess} = H_{k,s} - H_{chp,k}$ και $H_{chp,k,s} = H_{k,s}$, 3^η περίπτωση). Εάν αυτή χρησιμοποιείται άμεσα εκτός του υπο-τομέα, ο αντίστοιχος δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας», εκτιμάται σύμφωνα με την εξίσωση (3.25).

$$\begin{aligned}
 TPESind_{chp,k,s} &= \left(1 - \frac{(H_{chp,k,s} + |H_{chp,k,excess}|) \cdot f_{chp,H}}{EL_{chp,k} \cdot f_{ref,elc} + (H_{chp,k,s} + Y_{H,k} \cdot |H_{chp,k,excess}|) \cdot f_{ref,H}} \right) \% \\
 TPESind_{chp,k,s} &= \left(1 - \frac{H_{chp,k} \cdot f_{chp,H}}{EL_{chp,k} \cdot f_{ref,elc} + Z_{H,k} \cdot H_{chp,k} \cdot f_{ref,H}} \right) \% \\
 TPESind_{chp,k,s} &= \left(1 - \frac{f_{chp,H}}{PHR_{chp} \cdot f_{ref,elc} + Z_{H,k} \cdot f_{ref,H}} \right) \%
 \end{aligned} \tag{3.25}$$

Κατ' αντιστοιχία με την προηγούμενη περίπτωση, $Y_{H,k}$, είναι το ποσοστό της περίσσειας ποσότητα θερμότητας από ΣΗΘ που χρησιμοποιείται εκτός του εξεταζόμενου υπο-τομέα και $Z_{H,k}$ είναι το ποσοστό της συνολικής θερμότητας που παράγεται από ΣΗΘ και τελικά χρησιμοποιείται εντός και εκτός του εξεταζόμενου υπο-τομέα.

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις τα ποσοστά Y και Z μπορούν να οριστούν από την σχετική εθνική νομοθεσία ή τις εν δυνάμει πέραν του εξεταζόμενου υπο-τομέα s ενεργειακές ανάγκες που θα καλυφθούν από την ΣΗΘ του υπο-τομέα s (π.χ. τις ενεργειακές ανάγκες μιας άλλης βιομηχανίας ή ενός κτιρίου ή ενός οικισμού πλησίον των σταθμών ΣΗΘ).

Και οι δύο δείκτες, $PESind_{chp,k,s}$ και $TPESind_{chp,k,s}$ μπορούν να εκτιμηθούν και στο επίπεδο βιομηχανικής μονάδας, αρκεί να είναι διαθέσιμα τα αντίστοιχα δεδομένα τελικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η αύξηση της τιμής των παραπάνω δεικτών αντιστοιχεί σε ισότιμη αύξηση της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας και αντίστροφα.

4. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

4.1. Εισαγωγή

Με βάση τους δύο άξονες του Μοντέλου που αναπτύχθηκαν στο Κεφάλαιο 3, αξιοποιούνται δεδομένα τελικής ενεργειακής κατανάλωσης και με τη χρήση κατάλληλων μεθοδολογιών, συνθέτονται δείκτες για την αξιολόγηση της ορθολογικής χρήσης και της εξοικονόμησης ενέργειας ενός καταναλωτικού τομέα του ενεργειακού συστήματος. Οι δύο άξονες του Μοντέλου εφαρμόζονται ξεχωριστά και σε διαφορετικούς υπο-τομείς της Ελληνικής βιομηχανίας, ανάλογα με τη σκοπιμότητα του καθενός.

Συγκεκριμένα, ο πρώτος άξονας αποσκοπεί αρχικά στην αποτίμηση και ερμηνεία της φυσικής ενεργειακής απόδοσης για κάθε χρησιμοποιούμενη τελική μορφή ενέργειας στην βιομηχανία, με τη χρήση φυσικο-θερμοδυναμικών δεικτών και δεικτών φυσικής δραστηριότητας. Επιπρόσθετα, θα αποτιμηθεί το αποτέλεσμα των μεταβολών της παραγωγικότητας, της δομής και της φυσικής ενεργειακής απόδοσης της βιομηχανίας στη μεταβολή της ενεργειακής της χρήσης. Για την διεξαγωγή αυτής της ανάλυσης, απαιτούνται δεδομένα ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας σε επίπεδο βιομηχανικού υπο-τομέα, ετήσιας παραγωγής επιμέρους βιομηχανικών προϊόντων (σε τόνους, λίτρα κτλ.) για τον κάθε υπο-τομέα, και η ΕΕΚς «αναφοράς» για το κάθε παραγόμενο προϊόν σε επίπεδο βιομηχανικής διεργασίας. Η διαθεσιμότητα των παραπάνω δεδομένων και περαιτέρω η αξιοπιστία τους ήταν ο καθοριστικός παράγοντας για την επιλογή τόσο των βιομηχανικών υπο-τομέων εφαρμογής αλλά και για τη χρονική περίοδο της εφαρμογής. Ο πρώτος άξονας του Μοντέλου εφαρμόζεται για την χρονική περίοδο 1985-2002 στους πέντε (5) παρακάτω υπο-τομείς της Ελληνικής βιομηχανίας:

- Τροφίμων, ποτών & καπνού.
- Σιδήρου & χάλυβα.
- Μη σιδηρούχων μετάλλων.
- Μη μεταλλικών ορυκτών.
- Χαρτοποιίας.

Ο δεύτερος άξονας του Μοντέλου, αφορά στον ενεργειακό σχεδιασμό με ΣΗΘ στη βιομηχανία με έμφαση στη βέλτιστη χρήση των ενεργειακών πόρων. Ουσιαστικά εισάγονται δύο νέοι δείκτες «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ και επιπρόσθετος σκοπός της εφαρμογής είναι η αποδόμηση των προτεινόμενων δεικτών

και η ανάδειξη των παραμέτρων που υπόκεινται των μεταβολών τους. Το μεθοδολογικό πλαίσιο, μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιονδήποτε βιομηχανικό υπο-τομέα είτε υπάρχει ΣΗΘ σε αυτόν είτε όχι. Για την εφαρμογή του, απαιτούνται δεδομένα τελικής κατανάλωσης συνολικού ηλεκτρισμού και θερμότητας σε επίπεδο υπο-τομέα.

Η τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού σε επίπεδο υπο-τομέα καταγράφεται ετησίως στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο (που διατίθεται από το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Ενέργειας) και περιλαμβάνει τη συνολική ποσότητα ηλεκτρισμού που προέρχεται από ΣΗΘ (εάν υπάρχει στον εξεταζόμενο υπο-τομέα) και από το κεντρικό δίκτυο μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού της Δ.Ε.Η. Αντίθετα, η θερμική ενέργεια που καταναλώνεται σε επίπεδο βιομηχανικού υπο-τομέα δεν καταγράφεται. Αντ' αυτής, στο ενεργειακό ισοζύγιο αναφέρεται ως τελική κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, η ετήσια ποσότητα ορυκτών καυσίμων που εισέρχεται σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα και περαιτέρω με τη χρήση λεβήτων μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια [Neelis et al., 2004]. Η διαίρεση της καταγεγραμμένης ποσότητας ορυκτών καυσίμων με τον συντελεστή μετατροπής ορυκτών καυσίμων του χρησιμοποιούμενου λέβητα σε θερμότητα, είναι τελικά η ποσότητα θερμικής ενέργειας που καταναλώνεται ετησίως στον υπο-τομέα εάν δεν λειτουργούν σταθμοί ΣΗΘ σ' αυτόν. Στην περίπτωση που λειτουργούν σταθμοί ΣΗΘ στον υπο-τομέα, τότε η συνολική ποσότητα θερμικής ενέργειας που καταναλώνεται σ' αυτόν είναι το άθροισμα της θερμικής ενέργειας που παράγεται χωριστά (και καταγράφεται σε πρωτογενή μορφή ορυκτών καυσίμων όπως προαναφέρθηκε), και της θερμικής ενέργειας από ΣΗΘ που καταναλώνεται στον υπο-τομέα και η οποία πρέπει να καταγράφεται στα ενεργειακά ισοζύγια. Επιπρόσθετα, ενδέχεται μια βιομηχανική μονάδα να εισάγει θερμική ενέργεια από έναν σταθμό ΣΗΘ που δεν συνδέεται με αυτήν αλλά εξυπηρετεί διαφορετικό βιομηχανικό υπο-τομέα. Αυτή η θερμική ενέργεια που παράγεται επίσης από ΣΗΘ, και εισάγεται από έναν διαφορετικό βιομηχανικό υπο-τομέα, πρέπει επίσης να καταγράφεται στα εθνικά ενεργειακά ισοζύγια.

Στο Ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο δεν υπάρχουν καθόλου καταγραφές καταναλισκόμενης θερμότητας προερχόμενης από ΣΗΘ²¹. Ωστόσο, η θερμική ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα μπορεί να εκτιμηθεί από δεδομένα²² που αφορούν στην εγκατεστημένη ισχύ ΣΗΘ και τον τρόπο λειτουργίας της.

²¹ Επίσης δεν υπάρχουν καταγραφές παραγόμενης από ΣΗΘ θερμότητας ούτε στον τομέα μετατροπής.

²² Τα οποία μπορεί να προκύψουν από επικοινωνία με τη σχετική βιομηχανική μονάδα.

Η εφαρμογή του δεύτερου άξονα του Μοντέλου θα πραγματοποιηθεί σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα στον οποίο υπάρχουν σταθμοί ΣΗΘ σε λειτουργία, αυτόν των τροφίμων, ποτών & καπνού. Η χρονική περίοδος της εφαρμογής είναι από το 1991 (όπου υπάρχουν και οι πρώτες καταγραφές παραγόμενου ηλεκτρισμού από ΣΗΘ στην Ελλάδα) έως το 2007, δηλ. το τελευταίο έτος ενεργειακών καταγραφών στο Ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο έως και σήμερα.

Παρακάτω, ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των υπο-τομέων εφαρμογής του κάθε άξονα του Μοντέλου, μαζί με τις σχετικές παραδοχές και σενάρια της κάθε εφαρμογής.

4.1.1. Εφαρμογή του πρώτου Άξονα του Μοντέλου: Περιγραφή των υπο-τομέων εφαρμογής και ανάλυση των δεδομένων

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι βιομηχανικοί υπο-τομείς εφαρμογής του πρώτου άξονα του Μοντέλου είναι οι παρακάτω:

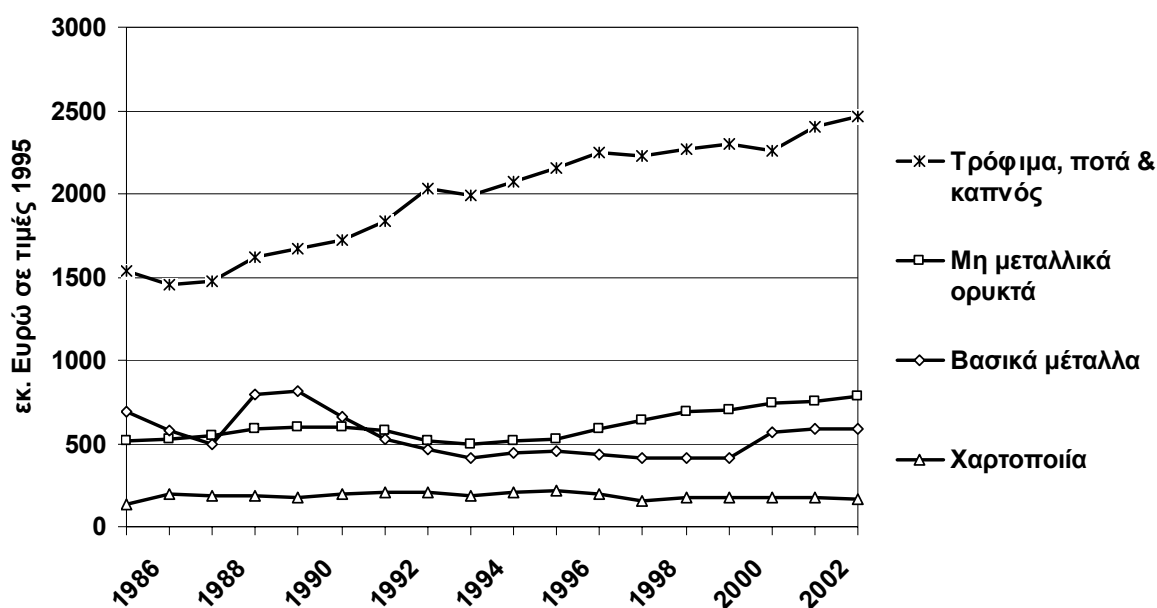
- Τρόφιμα, ποτά & καπνός
- Σίδηρος & χάλυβας
- Μη σιδηρούχα μέταλλα
- Μη μεταλλικά ορυκτά
- Χαρτοποιία

Η συνολική ενεργειακή κατανάλωση των παραπάνω υπό-τομέων κυμαίνεται γύρω στο το 60% επί του συνόλου της βιομηχανικής ενεργειακής κατανάλωσης για την εξεταζόμενη περίοδο 1985-2002 (Διάγραμμα 2.9 του Υπο-κεφαλαίου 2.3.1.1). Το μείγμα των τελικών μορφών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στους εξεταζόμενους υπο-τομείς είναι ηλεκτρισμός, στερεά (άνθρακας και προϊόντα), υγρά (πετρέλαιο και προϊόντα) και αέρια (φυσικό αέριο) ορυκτά καύσιμα. Συγκεκριμένα, στον υπο-τομέα χαρτοποιίας δεν χρησιμοποιούνται στερεά ορυκτά καύσιμα, ενώ στους υπόλοιπους υπο-τομείς η χρήση στερεών καυσίμων υποκαθίσταται σταδιακά από τη χρήση φυσικού αερίου.

Στο Διάγραμμα 4.1 παρουσιάζονται οι οικονομικές απολαβές του κάθε υπο-τομέα, αποτιμώμενες ως προστιθέμενη αξία (value added). Η προστιθέμενη αξία του υπο-τομέα των βασικών μετάλλων²³, είναι το άθροισμα της προστιθέμενης αξίας των υπό-

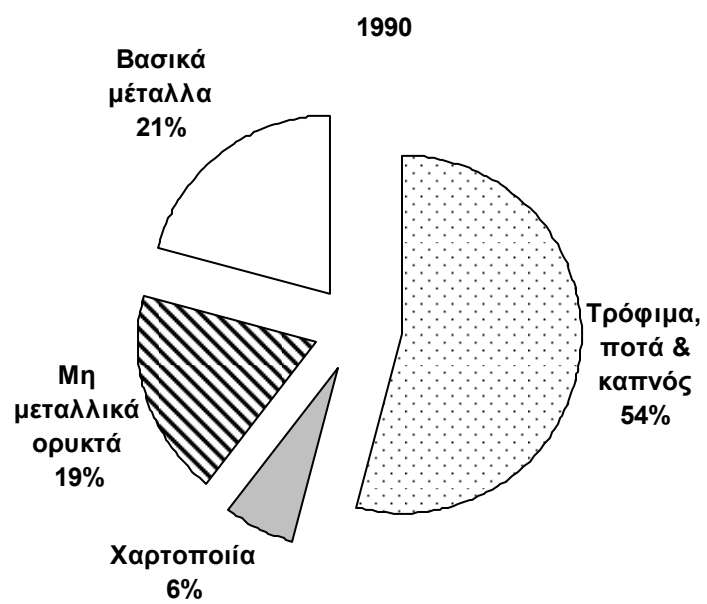
²³ Ο υπο-τομέας σιδήρου & χάλυβα και ο υπο-τομέας των μη σιδηρούχων μετάλλων.

τομέων χάλυβα & σιδήρου και μη σιδηρούχων μετάλλων²⁴. Οι τιμές προστιθέμενης αξίας έχουν αποπληθωριστεί στην αξία του Ευρώ το 1995. Τόσο οι τρέχουσες τιμές προστιθέμενης αξίας όσο και οι αποπληθωριστές, για τον κάθε υπο-τομέα είναι διαθέσιμες στη βάση δεδομένων του Κέντρου Παραγωγής και Ανάπτυξης του Groningen (60-Industry Database, Groningen Growth and Development Centre). Επίσης, στο Διάγραμμα 4.2, παρουσιάζεται η συνεισφορά του κάθε υπο-τομέα στο σύνολο των οικονομικών απολαβών των εξεταζόμενων υπό-τομέων. Όπως φαίνεται στα Διαγράμματα 4.1 και 4.2, η προστιθέμενη αξία του υπο-τομέα τροφίμων, ποτών & καπνού αυξάνεται ενώ για τους υπόλοιπους εξεταζόμενους υπο-τομείς παραμένει σχετικά σταθερή. Επιπρόσθετα, ο υπο-τομέας των τροφίμων συνεισφέρει στις συνολικές οικονομικές απολαβές των υπό-τομέων 2,5 φορές περισσότερο από τον υπο-τομέα των βασικών μετάλλων και μη μεταλλικών ορυκτών και 9 φορές περισσότερο από τον υπο-τομέα της χαρτοποιίας.



Διάγραμμα 4.1 Προστιθέμενη αξία των εξεταζόμενων υπο-τομέων σε σταθερές τιμές (Ευρώ 1995).

²⁴ Δεν δίνονται ξεχωριστά η «προστιθέμενη αξία» για καθέναν από τους υπο-τομείς που υπάγονται στον ευρύτερο υπο-τομέα των βασικών μετάλλων.



Διάγραμμα 4.2 Συνεισφορά του κάθε υπο-τομέα στο σύνολο της προστιθέμενης αξίας των εξεταζόμενων υπο-τομέων το 1990.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή και οι πηγές τους παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 4.1

Πίνακας 4.1 Δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην εφαρμογή και οι αντίστοιχες πηγές τους		
	Δεδομένα	Πηγές δεδομένων
1.	Τελική κατανάλωση ηλεκτρισμού & ορυκτών καυσίμων σε επίπεδο υπο-τομέα	Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (Εθνικό πληροφοριακό σύστημα για την ενέργεια) ^a
2.	Παραγωγή επιλεγμένων προϊόντων του κάθε υπο-τομέα σε φυσικές μονάδες	1. Πίνακες ετήσιας παραγωγής & πώλησης προϊόντων (PRODCOMS) ^b 2. Στατιστική υπηρεσία παραγωγής προϊόντων των Ηνωμένων Εθνών (United Nations Production Statistics) ^c 3. Βιβλίο ετήσιων καταγραφών παραγωγής προϊόντων σιδήρου & χάλυβα (Iron and Steel Statistical Yearbook) ^c 4. Ινστιτούτο Γεωλογικών Ερευνών ΗΠΑ (United States Geological Survey) ^d 5. Ελληνικός Οργανισμός Εξόρυξης (Greek mining enterprises association) ^e 6. Ελληνικός Οργανισμός Αλουμινίου (Greek aluminum association) ^f 7. Ομοσπονδία Ευρωπαϊκών Βιομηχανιών Χαρτιού (CEPI) ^g
3.	ΕΕΚ αναφοράς (SEC ₀) για κάθε επιλεγμένο προϊόν	1. Farla J., Blok K., Schipper L., 1997 2. Ramirez C.A., Blok K., Neelis M., Patel M., 2006 3. Integrated Pollution Prevention and Control, June 2005 ^h 4. Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^c
4.	1. «Προστιθέμενη αξία» σε εκ. Ευρώ για τους επιλεγμένους υπο-τομείς 2. Αποπληθωριστές σε τιμές Ευρώ του 1995 για το κάθε έτος και υπο-τομέα	Κέντρο Παραγωγής και Ανάπτυξης του Groningen (Groningen Growth and Development Centre) ^j

^a www.ypeka.gr

^b Products of European Community, www.statistics.gr

^c Copernicus Institute, Energy and Environment group, Utrecht University

^d The mineral industry of Greece by Harold Newman, <http://www.usgs.gov>

^e http://66.165.120.21/index_gr.asp

^f <http://www.aluminum.org.gr/SingleCgAllObj.asp?lg=el>

^g Confederation of European Paper Industries, www.cepi.org

^h Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries

^j 60-Industry Database, October 2005, <http://ggdc.net>

Τα προϊόντα που θα χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή, θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά για τον κάθε υπο-τομέα δηλ. να είναι μεταξύ αυτών που η παραγωγή τους είναι σταθερά σημαντική κάθε χρόνο, και η διαδικασία παραγωγή τους να είναι συγκριτικά ενεργοβόρα. Δεν υπάρχουν καταγραφές για τις πραγματικές τιμές ΕΕΚς για το κάθε προϊόν [Diakoulaki D., et al., 2006]. Χρησιμοποιούνται οι βιβλιογραφικές τιμές ΕΕΚς «αναφοράς» ($SECs_0$) για το κάθε επιλεγμένο προϊόν. Προφανώς, από διαφορετικές τιμές ΕΕΚς για το κάθε προϊόν προκύπτουν διαφορετικές τιμές φυσικής ενεργειακής απόδοσης για τον κάθε υπο-τομέα· ωστόσο σύμφωνα με τους Farla et al., 1998, η χρήση των ΕΕΚς αναφοράς δεν θα αποδυναμώσει τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, οφείλεται περαιτέρω και στη χρησιμοποιούμενη μέθοδο Σύνθεσης Δεικτών, η οποία εξομαλύνει τις τυχόν ανακρίβειες των δεδομένων με τη διαίρεση της εκτιμώμενης «Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας Αναφοράς» με το «Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης» (βήμα 4^ο στην περιγραφή της μεθόδου Σύνθεσης Δεικτών). Κατά συνέπεια η εκτιμώμενη «Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας Αναφοράς» δεν αντιστοιχεί στην ενέργεια που θα κατανάλωνε ένας βιομηχανικός υπο-τομέας στον οποίο οι βιομηχανικές μονάδες θα λειτουργούσαν με βάση τις βέλτιστες παραγωγικές διεργασίες ή τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνολογίες· αντ' αυτού προσεγγίζει την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση του υπο-τομέα, ανάλογα με το επίπεδο εκσυγχρονισμού των αντίστοιχων βιομηχανικών μονάδων. Οι τιμές των ΕΕΚς αναφοράς για το κάθε επιλεγμένο προϊόν και για την κάθε χρησιμοποιούμενη τελική μορφή ενέργειας, παρουσιάζονται στον Πίνακα III.1 του Παραρτήματος III. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή θεωρείται ότι το μείγμα των παραγόμενων προϊόντων είναι το ίδιο για όλη τη χρονική περίοδο της ανάλυσης ούτως ώστε να μην ενσωματώνονται στο εκτιμώμενο δείκτη δομικές αλλαγές αναφορικά με την εισροή νέων προϊόντων. Για τον υπο-τομέα των μη σιδηρούχων μετάλλων, δεδομένα φυσικής παραγωγής των επιλεγμένων προϊόντων είναι διαθέσιμα από το 1990 και μετά γι' αυτό και το μεθοδολογικό πλαίσιο στον συγκεκριμένο υπο-τομέα εφαρμόζεται για την περίοδο 1990-2002.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην περιγραφή της μεθοδολογίας, ο δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης», εκτιμάται για κάθε τελική μορφή χρησιμοποιούμενης ενέργειας j . Στην παρούσα εφαρμογή ως τελικές μορφές ενέργειας j , θεωρούνται ο ηλεκτρισμός και το σύνολο των ορυκτών καυσίμων που εισέρχονται σε έναν υπο-τομέα. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις (3.6) – (3.8) για την εκτίμηση του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» που αφορά στη συνολική χρήση ενέργειας σε

έναν υπο-τομέα (συμπεριλαμβανομένου και της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων που μετατρέπονται στον ηλεκτρισμό που καταναλώνεται στον υπο-τομέα). Ο συντελεστής μετατροπής f_j του καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού σε πρωτογενή μορφή ορυκτών καυσίμων είναι 2,5 (Neelis M., et al., 2004). Ο παραπάνω συντελεστής παραμένει σταθερός καθ' όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο, ούτως ώστε να μην ενσωματώνονται στο δείκτη τυχόν αλλαγές των διαδικασιών μετατροπής ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό.

Επιπρόσθετα, δεδομένου ότι οι κλασικά χρησιμοποιούμενοι οικονομικοί δείκτες ενεργειακής απόδοσης (ενεργειακή ένταση), είναι ενδεικτικοί της τάσης της ενεργειακής απόδοσης ενός υπο-τομέα, αυτοί σχηματίζονται για τους υπο-τομείς στους οποίους είναι διαθέσιμες οι τιμές της προστιθέμενης αξίας, και αντιπαρατίθενται με τους εκτιμώμενους δείκτες «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» η σύγκριση των τάσεων των δεικτών πραγματοποιείται μόνο σε σχέση με την συνολική χρήση ενέργειας στον κάθε υπο-τομέα.

Το έτος «αναφοράς» της ανάλυσης είναι το 1990. Στον Πίνακα 4.2 παρουσιάζεται το «Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης» (*Energy Coverage, C₀*) για τους εξεταζόμενους υπο-τομείς στο έτος «αναφοράς» και για όλες τις μορφές ενέργειας (τελικές και πρωτογενείς) που πραγματοποιείται η ανάλυση.

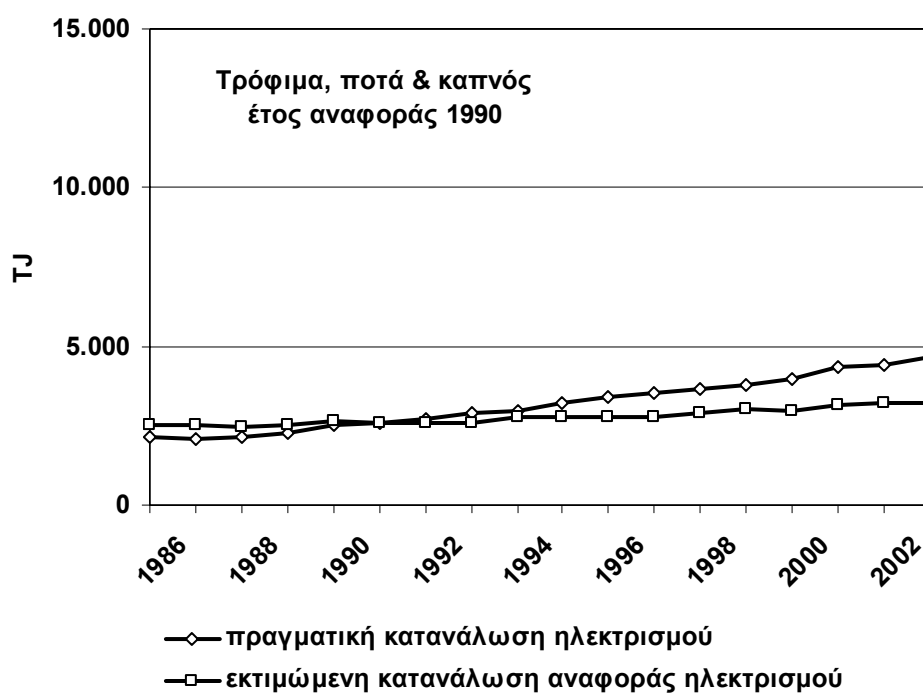
Πίνακας 4.2 Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης για τους εξεταζόμενους υπο-τομείς στο έτος αναφοράς 1990				
	Υπο-τομέας	Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (C_0)		
		Ηλεκτρισμός	Ορυκτά καύσιμα	Συνολική χρήση ενέργειας σε πρωτογενή μορφή
1.	Τρόφιμα, ποτά & καπνός	62 %	45 %	51%
2.	Σίδηρος & χάλυβας	72 %	67 %	70%
3.	Μη σιδηρούχα μέταλλα	65 %	4 %	45%
4.	Μη μεταλλικά ορυκτά	86 %	67 %	72%
5.	Χαρτοποιία	72 %	78 %	75%

Όσο υψηλότερο είναι το «Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας», C_0 , τόσο ενδυναμώνεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων

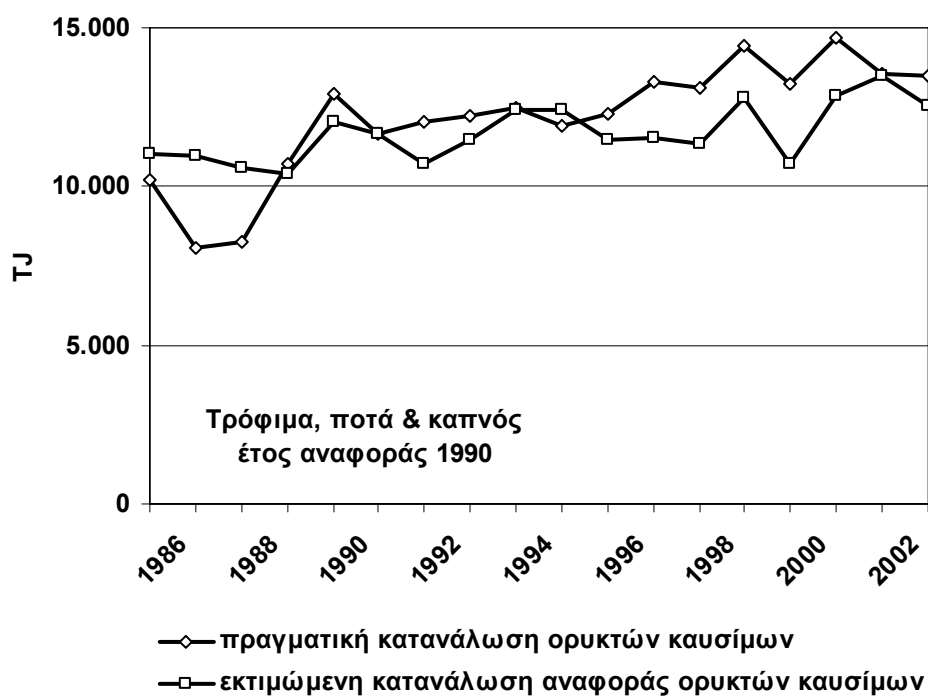
[Ramirez C.A., et al., 2006, Farla J.C.M., et al., 2000 Neelis M., et al., 2007]. Ωστόσο, δεν μπορεί να οριστεί με ακρίβεια η ελάχιστη τιμή του παραπάνω ποσοστού, πέραν της οποίας να κλονίζεται η αξιοπιστία αυτών. Σε αντίστοιχες αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί οι τιμές του εν λόγω ποσοστού, κυμαίνονται μεταξύ 41% και 100% [Neelis M., et al., 2004]. Στην παρούσα εφαρμογή, η ανάλυση πραγματοποιείται για τους υπο-τομείς εκείνους που η τιμή του «Ποσοστού Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας» είναι ίση ή μεγαλύτερη του 45% για τις τελικές μορφές ενέργειας (ηλεκτρισμό ή ορυκτά καύσιμα). Η μέγιστη τιμή αυτού του ποσοστού, που παρατηρείται είναι 86%, για τη χρήση ηλεκτρισμού στον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών. Αντίθετα, η ανάλυση δεν πραγματοποιείται για τον υπο-τομέα των μη σιδηρούχων μετάλλων και για την τελική μορφή ενέργειας, ορυκτά καύσιμα, λόγω της πολύ χαμηλής τιμής του συγκεκριμένου ποσοστού (4%). Συνεπώς, η ανάλυση για τον ίδιο υπο-τομέα δεν επεκτείνεται ούτε για τη συνολική χρήση ενέργειας.

Στα παρακάτω Διαγράμματα 4.3 - 4.11 παρουσιάζεται η πραγματική²⁵ ενεργειακή κατανάλωση και η εκτιμώμενη με βάση τις εξισώσεις (3.1) – (3.4) «Συνολική Ενεργειακή Κατανάλωση Αναφοράς» για τις τελικές μορφές ενέργειας, ηλεκτρισμό και ορυκτά καύσιμα, για τον κάθε εξεταζόμενο υπο-τομέα την χρονική περίοδο της ανάλυσης, 1985-2002. Συνολικά, διακρίνεται αυξητική τάση στην κατανάλωση και των δύο μορφών ενέργειας για όλους του υπο-τομείς, με εξαίρεση την μείωση στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων που παρατηρείται από το 1991 και μετά για τον υπο-τομέα του σιδήρου & χάλυβα. Η διαφορά της εκτιμώμενης «Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης Αναφοράς» από την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση για κάθε έτος, είναι η ποσότητα ενέργειας που εξοικονομείται (ή κατασπαταλείται) λόγω της βελτίωσης (ή της μη βελτίωσης) της ΕΕΚ των επιμέρους παραγωγικών διεργασιών στη βιομηχανία σε σχέση με το έτος αναφοράς 1990. Εάν η παραπάνω διαφορά είναι θετική, τότε η «φυσική» ενεργειακή απόδοση του αντίστοιχου υπο-τομέα και για τη συγκεκριμένη μορφή τελικής ενέργειας, έχει βελτιωθεί. Αντίθετα, εάν η ποσότητα της πραγματικής κατανάλωσης ενέργειας είναι υψηλότερη της εκτιμώμενης «Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας» τότε η «φυσική» ενεργειακή απόδοση του αντίστοιχου υπο-τομέα για τη συγκεκριμένη μορφή ενέργειας, έχει επιδεινωθεί.

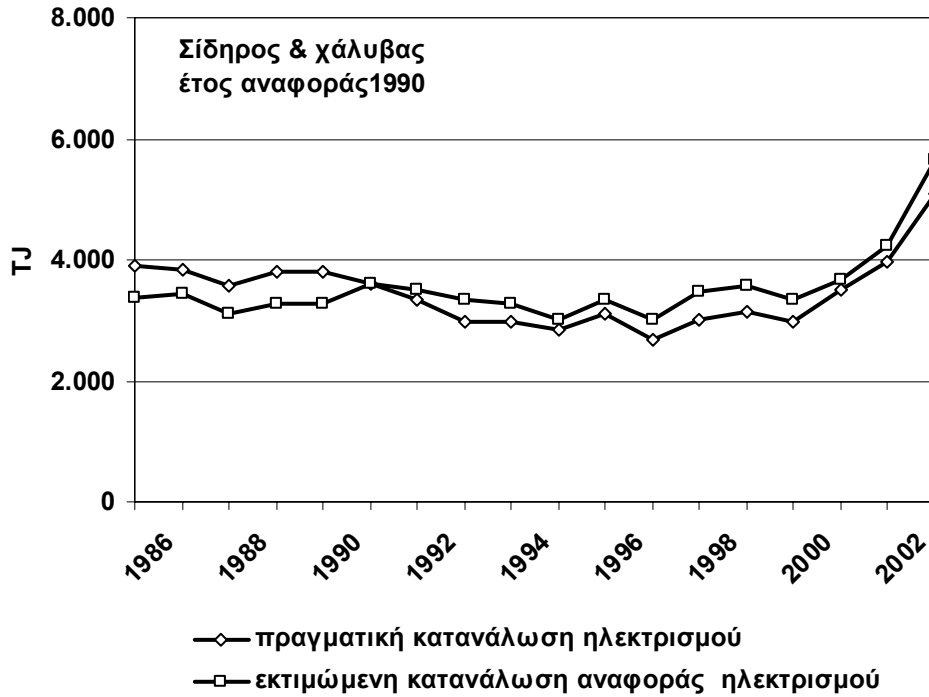
²⁵ Η οποία είναι καταγεγραμμένη στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο.



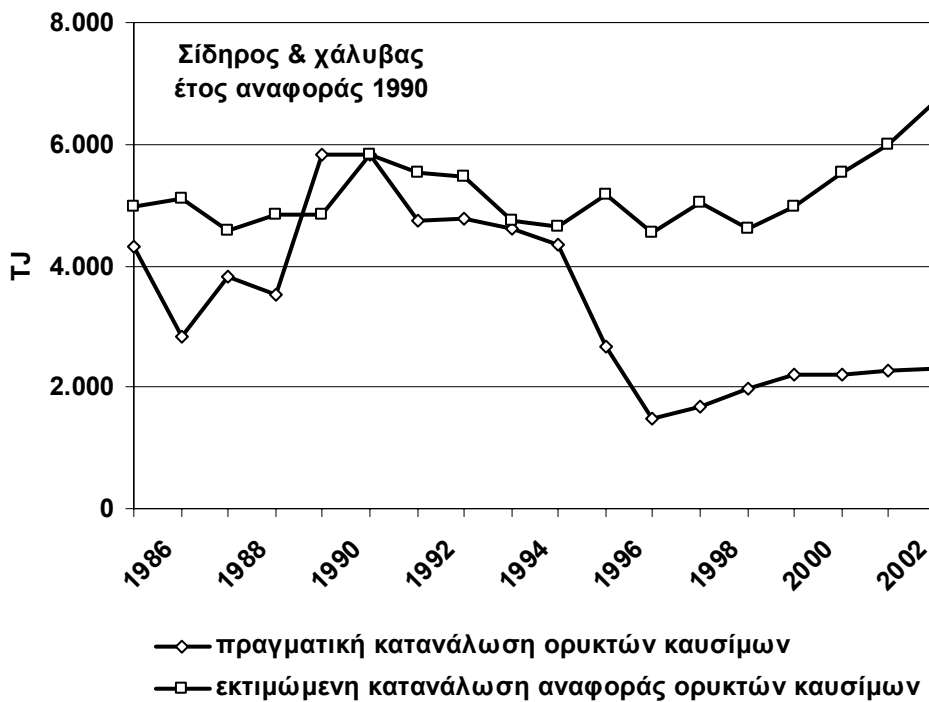
Διάγραμμα 4.3 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού.



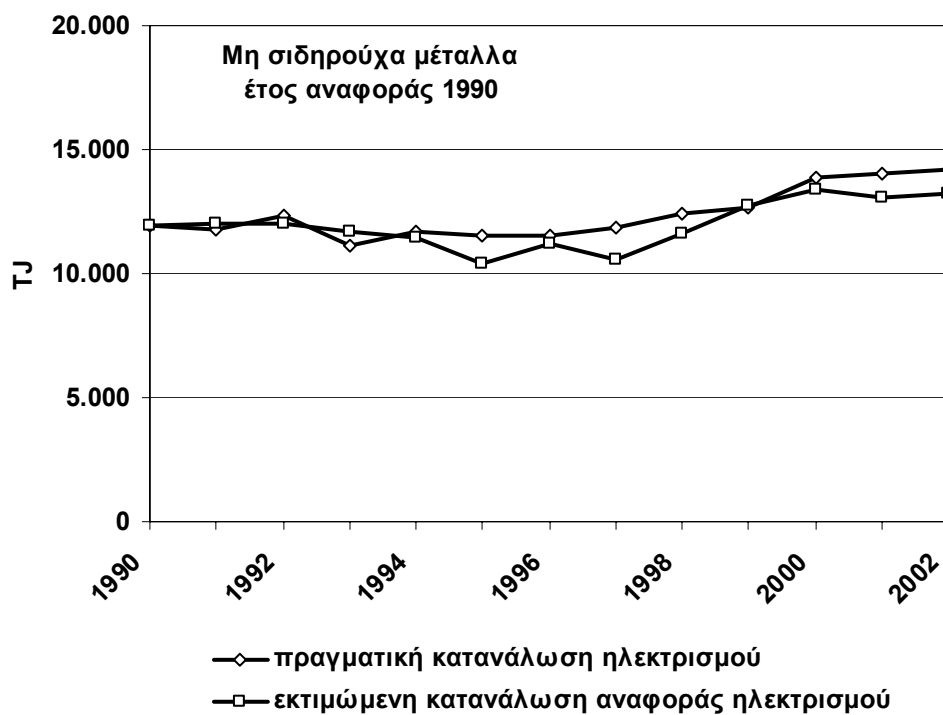
Διάγραμμα 4.4 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού.



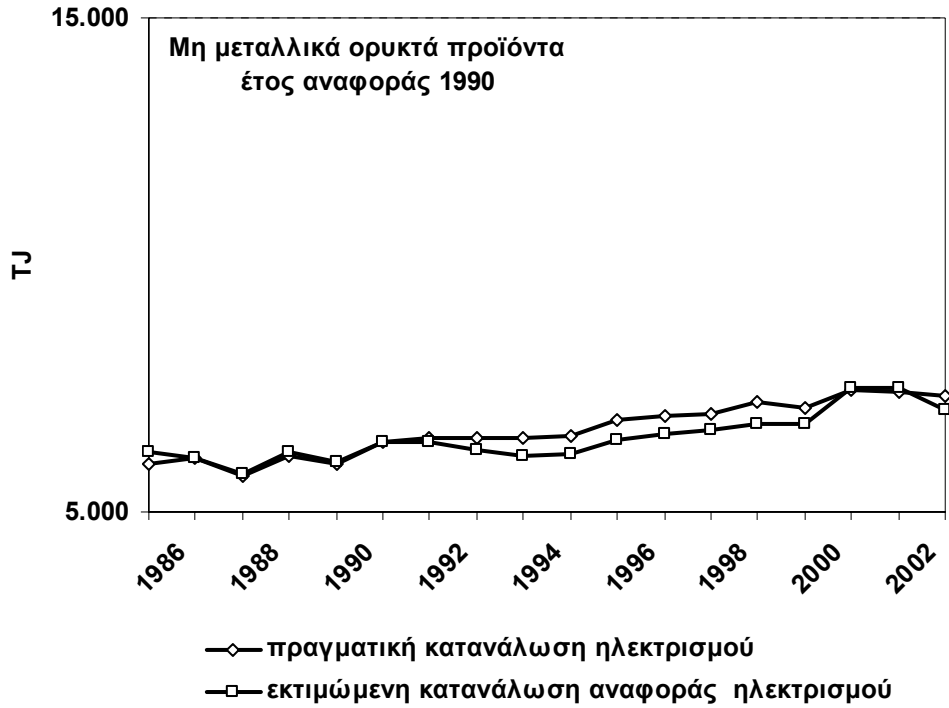
Διάγραμμα 4.5 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα του σιδήρου & χάλυβα.



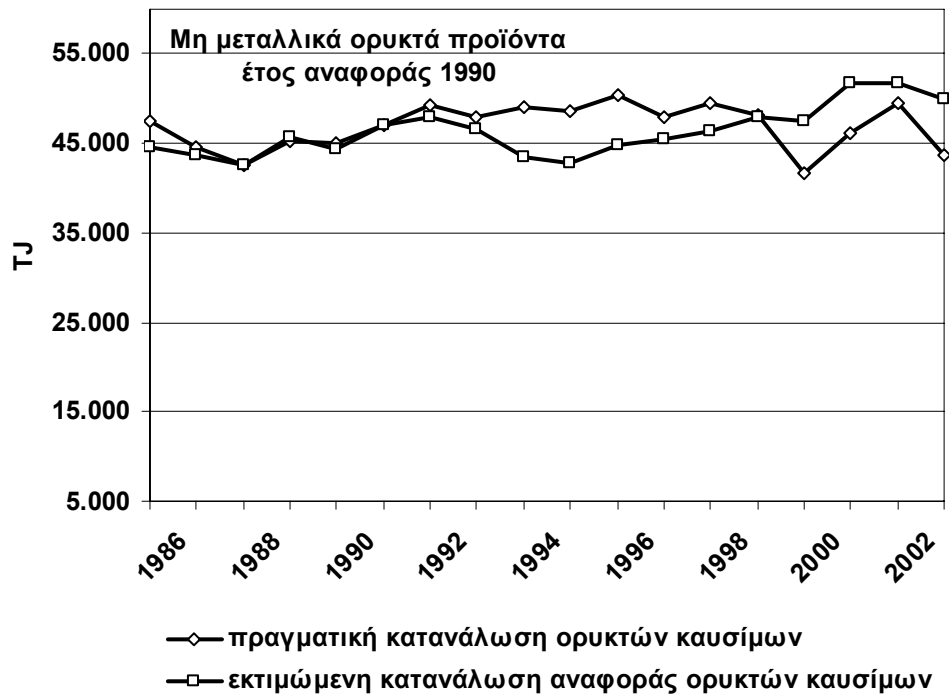
Διάγραμμα 4.6 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα του σιδήρου & χάλυβα.



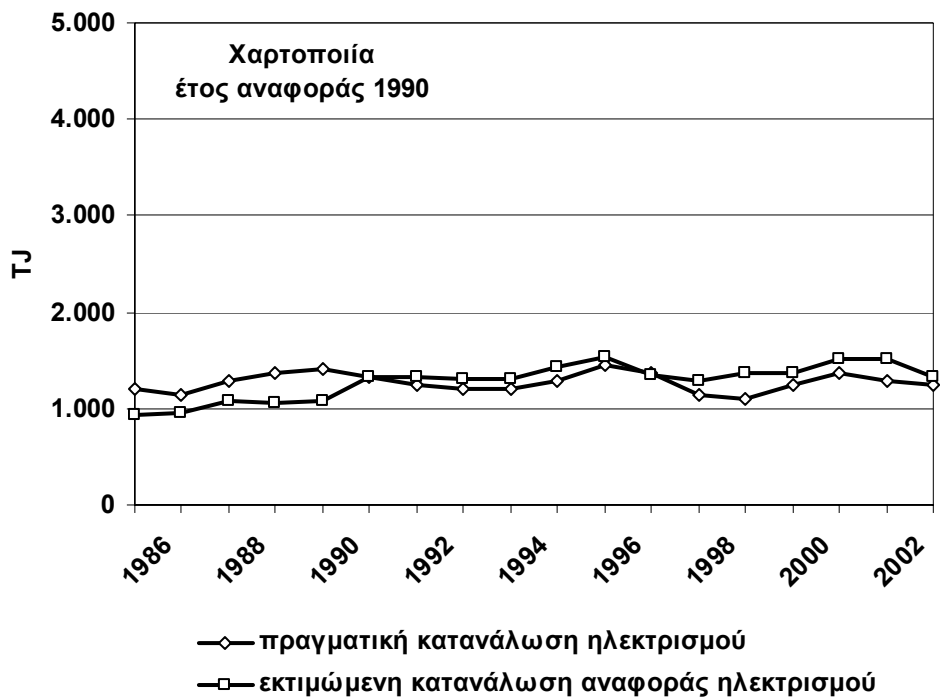
Διάγραμμα 4.7 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των μη σιδηρούχων μετάλλων.



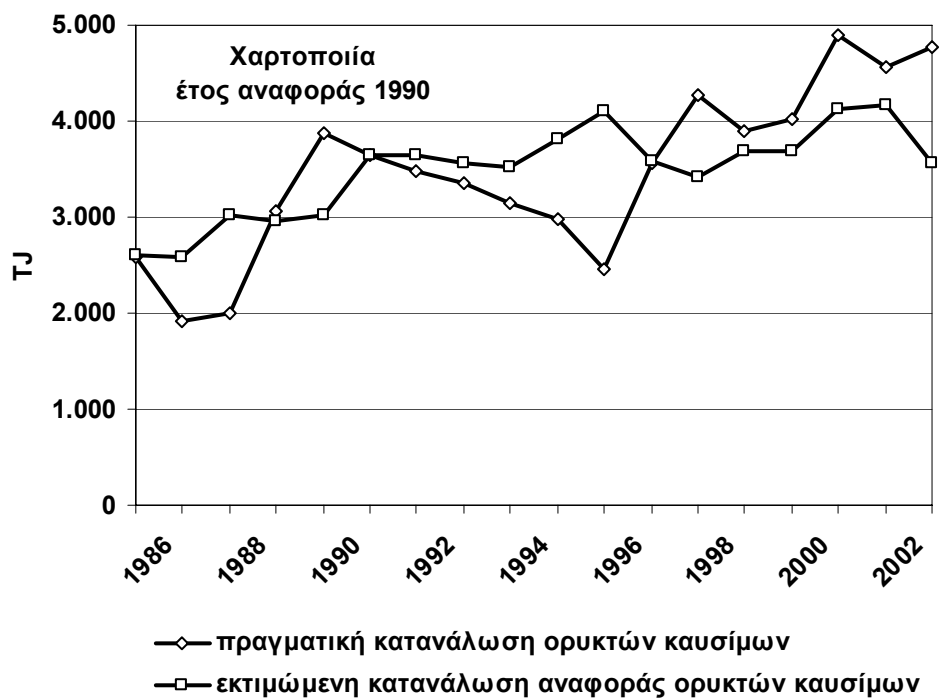
Διάγραμμα 4.8 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών.



Διάγραμμα 4.9 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών.



Διάγραμμα 4.10 Κατανάλωση ηλεκτρισμού, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα της χαρτοποιίας.



Διάγραμμα 4.11 Κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, πραγματική και εκτιμώμενη «αναφοράς», για τον υπο-τομέα της χαρτοποιίας.

Η Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών εφαρμόζεται στους ίδιους υπο-τομείς, και αναλύει τις μεταβολές όλων των εμπλεκόμενων δεικτών, για κάθε έτος μεταξύ 1985 και 2002, δηλ. ανάλυση χρονοσειρών, αλλά και τις συνολικές τους μεταβολές από το 1985 έως το 2002. Συγκεκριμένα, αποτιμάται η συνεισφορά, συνολική και ετήσια του αποτελέσματος της μεταβολής της παραγωγικότητας, της δομής και της φυσικής ενεργειακής απόδοσης των εξεταζόμενων υπο-τομέων, στην συνολική και ετήσια μεταβολή της κατανάλωσης ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και συνολικής ενέργειας σε αυτούς, από το 1985 έως το 2002.

Κατά την εφαρμογή της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών στον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών, για την μετατροπή σε μονάδες μάζας των προϊόντων «οικοδομικά τούβλα αργίλου» και «κεραμίδια», τα οποία καταγράφονται με το κομμάτι, θεωρείται ότι ένα «οικοδομικό τούβλο αργίλου» ζυγίζει 1,73 kg και ένα κεραμίδι ζυγίζει 2,60 kg [Neelis M., et al., 2004].

Η Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών δεν εφαρμόστηκε στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού.

4.1.2. Εφαρμογή δευτέρου Άξονα του Μοντέλου: Περιγραφή υπο-τομέα εφαρμογής, ανάλυση δεδομένων, ανάπτυξη σεναρίων και παραδοχές

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το πλαίσιο Σύνθεσης δεικτών «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ, εφαρμόζεται στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού για τη χρονική περίοδο 1991 - 2007. Σύμφωνα με μελέτη, που εκπονήθηκε το 2004 από τον Σύνδεσμο Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών (ΣΕΒ) [The Greek manufacturing sub-sector; estimations for 2003 and expectations for 2004, June 2004], ο υπο-τομέας των τροφίμων αποτελείται από εβδομήντα τέσσερις (74) μεγάλης κλίμακας βιομηχανικές μονάδες²⁶. Αναφορικά με την εγκατεστημένη ισχύ ΣΗΘ, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 2.3 του Υπο-Κεφαλαίου 2.3.1.2, αυτή είναι 32,50 MWe. Συγκεκριμένα, το 1991 υπήρχαν πέντε (5) σταθμοί ΣΗΘ, συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 56 MWe συνδεδεμένες στις πέντε (5) βιομηχανικές μονάδες της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης. Οι βιομηχανικές μονάδες με τους αντίστοιχους σταθμούς ΣΗΘ, βρίσκονται στη Λάρισα, στο Πλατύ, στην Ορεστιάδα και στην Ξάνθη. Το 2006 έκλεισαν τα ζαχαροποιία της Λάρισας και της Ξάνθης μαζί με τους αντίστοιχους θερμικούς σταθμούς, και η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ που εξυπηρετούσε στη μετα-

²⁶ Όλες οι βιομηχανικές μονάδες μικρής και μεγάλης κλίμακας του υπο-τομέα είναι 1.386.

ποίηση της ζάχαρης μειώθηκε σε 28 MWe. Όλοι οι σταθμοί ΣΗΘ λειτουργούν με ατμοστρόβιλους (steam turbines). Επιπρόσθετα, από το 2005, λειτουργεί για λογαριασμό της Amylum Hellas ακόμη ένας σταθμός ΣΗΘ στον υπο-τομέα των τροφίμων, εγκατεστημένης ισχύος 4,5 MWe [Theofylaktos Ch., 2007]. Η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ΣΗΘ στον εν λόγω σταθμό, είναι αεριοστρόβιλος (gas turbine).

Αναφορικά με την Ελληνική Βιομηχανία Ζάχαρης και κατόπιν επικοινωνίας με τους υπεύθυνους μηχανικούς, προέκυψαν πληροφορίες οι οποίες περαιτέρω μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της παραγόμενης θερμικής ενέργειας από ΣΗΘ. Συγκεκριμένα, οι σταθμοί ΣΗΘ λειτουργούν στην μέγιστη ένταση λειτουργίας για τρεις μήνες το χρόνο²⁷ και παράγουν τις ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας που καταναλώνονται στις αντίστοιχες βιομηχανικές μονάδες. Η συνολική θερμοδυναμική απόδοση (που αντιστοιχεί στη συνολικά παραγόμενη ενέργεια δηλ. ηλεκτρισμό και θερμότητα) του σταθμού ΣΗΘ που λειτουργεί με ατμοστρόβιλους στη μέγιστη ένταση είναι με βάση τη βιβλιογραφία 85%, ενώ ο αντίστοιχος «λόγος παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα» (PHR_{chp}) είναι 0,5 [EUDOCOGEN project, 2001, Frangopoulos Ch. et al., 1994]. Η παραγόμενη θερμική ενέργεια από ΣΗΘ, εκτιμάται με βάση τον παραγόμενο ηλεκτρισμό από ΣΗΘ, και τον αντίστοιχο «λόγο του παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα» της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας (PHR_{chp}). Ο παραγόμενος ηλεκτρισμός, εξαρτάται από την εγκατεστημένη ισχύ και τις ώρες λειτουργίας των σταθμών²⁸. Από τα δεδομένα του Πίνακα 2.3, του Υπό-Κεφαλαίου 2.3.1.2 (εγκατεστημένη ισχύς και παραγόμενος ηλεκτρισμός για το 1991), προκύπτει ότι οι σταθμοί ΣΗΘ λειτουργούν 1.296 ώρες το χρόνο (ο οποίος είναι λογικός χρόνος λειτουργίας για το διάστημα των τριών μηνών που λειτουργούν οι αντίστοιχες μονάδες και σταθμοί). Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, εκτιμάται τελικά η παραγόμενη ποσότητα θερμότητας από ΣΗΘ, για την μεταποίηση της ζάχαρης, για όλη την χρονική περίοδο της ανάλυσης.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, γίνεται η παραδοχή ότι η παραπάνω εκτιμώμενη ποσότητα θερμότητας, είναι ίση με τη συνολικά παραγόμενη θερμότητα από ΣΗΘ για όλο τον υπο-τομέα των τροφίμων, γιατί αντίστοιχα δεδομένα για την εκτίμηση της παραγόμενης θερμότητας από το σταθμό ΣΗΘ των 4,5 MWe της Amylum Hellas, δεν έγινε δυνατόν να συγκεντρωθούν. Ωστόσο, η παραδοχή αυτή δεν επηρεάζει σημαντικά το αποτέλεσμα της εφαρμογής καθώς ο παραπάνω σταθμός λειτουργεί μόνο κατά

²⁷ Η παραγωγή και περαιτέρω η μεταποίηση της ζάχαρης είναι εποχικές διαδικασίες.

²⁸ Οι οποίες σχετίζονται με τις ώρες λειτουργίας των αντίστοιχων βιομηχανικών μονάδων.

την τελευταία τριετία της ανάλυσης και η μέγιστη²⁹ αύξηση στη συνολικά παραγόμενη θερμότητα από ΣΗΘ για τον υπο-τομέα των τροφίμων που θα επιφέρει η λειτουργία του είναι 284 TJ.

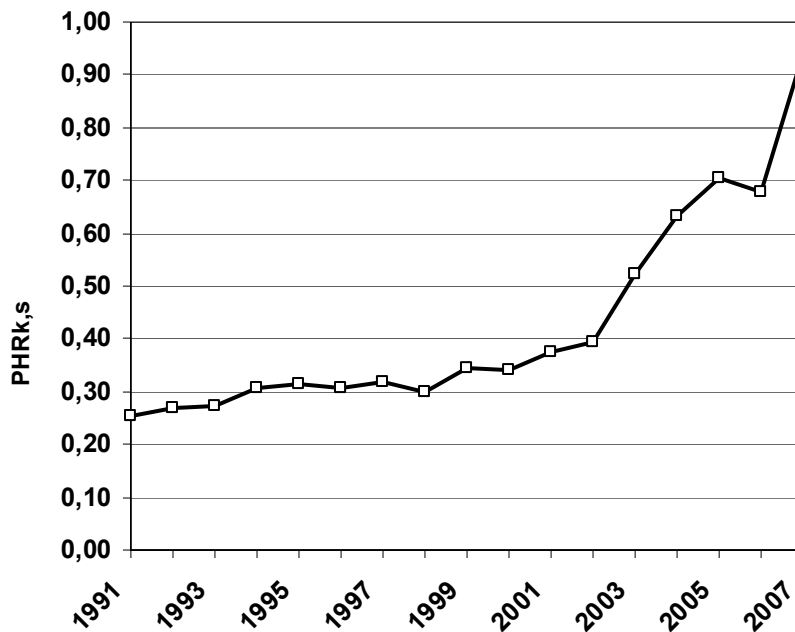
Η υπόλοιπη ποσότητα θερμότητας που χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα των τροφίμων εκτιμάται από την ποσότητα των ορυκτών καυσίμων που εισρέουν στον υπο-τομέα (καταγεγραμμένη ως τελική κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στα ενεργειακά ισοζύγια των αντίστοιχων ετών) και μετατρέπονται σε θερμότητα με τη χρήση λέβητα, με συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» $f_{ref,H,k}$, 1,2 [COGEN, 2005].

Εν τέλει, η κατανάλωση ηλεκτρισμού και θερμότητας του υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού για την περίοδο 1991-2007 παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3. Στον ίδιο πίνακα αλλά και στο παρακάτω Διάγραμμα 4.12, παρουσιάζεται και ο «λόγος του καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς την καταναλισκόμενη θερμότητα» του υπο-τομέα ($PHR_{k,s}$), ο οποίος εκφράζει πια μορφή τελικής ενέργειας χρησιμοποιείται περισσότερο στον υπο-τομέα, το αντίστοιχο έτος. Όταν η τιμή του παραπάνω λόγου είναι 1, τότε στον υπο-τομέα καταναλώνεται τόση ποσότητα ηλεκτρισμού όση και θερμότητας. Οι τιμές του λόγου $PHR_{k,s}$ για την εξεταζόμενη χρονική περίοδο είναι χαμηλότερες του 1· συνεπώς η βιομηχανική παραγωγή του υπο-τομέα, στηρίζεται κυρίως στη θερμική ενέργεια. Ωστόσο, η αυξητική τάση του λόγου $PHR_{k,s}$ και ειδικότερα για την περίοδο 2003-2007, όπου οι αντίστοιχες τιμές του υπερβαίνουν το 0,50 και προσεγγίζουν τη μονάδα (η τιμή για το 2007 είναι 0,94), είναι ενδεικτική της αυξανόμενης εξάρτησης του υπο-τομέα στην ηλεκτρική ενέργεια. Πράγματι, η κατανάλωση ηλεκτρισμού αυξάνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό, r_{elc} , 8% για την περίοδο 1991-2007, ενώ η κατανάλωση θερμότητας μειώνεται με μέσο ετήσιο ρυθμό, r_H , για την ίδια χρονική περίοδο κατά 1%.

²⁹ Μέγιστη ένταση λειτουργίας του σταθμού (PHR 0,5) για όλη τη διάρκεια του έτους (ώρες λειτουργίας 8.760).

Πίνακας 4.3 Δεδομένα ενεργειακής κατανάλωσης, λόγος καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα και μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ηλεκτρισμού και θερμότητας για τον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού

Έτος	Ηλεκτρισμός (TJ)	Θερμότητα (TJ)	PHR _{k,s}
1991	2.679	10.537	0,25
1992	2.888	10.701	0,27
1993	2.972	10.928	0,27
1994	3.223	10.471	0,31
1995	3.391	10.778	0,31
1996	3.558	11.615	0,31
1997	3.642	11.458	0,32
1998	3.767	12.568	0,30
1999	3.977	11.546	0,34
2000	4.353	12.766	0,34
2001	4.437	11.790	0,38
2002	4.646	11.755	0,40
2003	6.739	12.906	0,52
2004	6.823	10.778	0,63
2005	6.823	9.662	0,71
2006	7.200	10.662	0,68
2007	8.079	8.598	0,94
Μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ηλεκτρισμού/θερμότητας (%)	8	-1	



Διάγραμμα 4.12 Λόγος καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού για την χρονική περίοδο 1991-2007.

Στην παρούσα εφαρμογή, εκτιμάται ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα των τροφίμων, και ο αντίστοιχος δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» για το σύνολο των τομέων οικονομικής δραστηριότητας λόγω διείσδυσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα τροφίμων, με βάση δύο (2) εναλλακτικά σενάρια:

Σενάριο 1^ο, «Αντιστοίχιση Ισχύος» - «*power match*»: Στο πρώτο σενάριο, η διείσδυση της συμπαραγωγής στον εξεταζόμενο υπο-τομέα σχεδιάζεται έτσι ώστε ο καταναλισκόμενος ηλεκτρισμός του υπο-τομέα να παράγεται εξ' ολοκλήρου από ΣΗΘ. Σε αυτήν την περίπτωση, ενδεχομένως, η παραγόμενη θερμότητα από ΣΗΘ να μην είναι επαρκής για την κάλυψη των αναγκών σε θερμότητα του εν λόγω υπο-τομέα: η επιπλέον απαιτούμενη θερμότητα παράγεται σε λέβητες από την καύση ορυκτών καυσίμων. Αυτό συμβαίνει όταν ο «λόγος του παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα» των ατμοστροβίλων, είναι μεγαλύτερος από τον «λόγο του καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού από την καταναλισκόμενη θερμότητα του υπο-τομέα ($PHR_{chp} > PHR_{k,s}$). Όταν ισχύει το αντίθετο ($PHR_{chp} < PHR_{k,s}$), η παραγόμενη από

ΣΗΘ θερμική ενέργεια, υπερβαίνει τις ανάγκες σε θερμότητα του υπο-τομέα. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, η περίσσεια θερμότητας από ΣΗΘ, δεν χρησιμοποιείται.

Σενάριο 2^ο, «Αντιστοίχιση Θερμότητας» - «*thermal match*»: Στο δεύτερο σενάριο, η διείσδυση της συμπαραγωγής, σχεδιάζεται έτσι ώστε η καταναλισκόμενη θερμότητα στον υπο-τομέα παράγεται εξ' ολοκλήρου από ΣΗΘ. Αντίθετα με το προηγούμενο σενάριο, όταν ο «λόγος του παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα» των ατμοστρόβιλων είναι μικρότερος του «λόγου του καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς την καταναλισκόμενη θερμότητα» του υπο-τομέα ($PHR_{chp} < PHR_{k,s}$) τότε ο παραγόμενος από ΣΗΘ ηλεκτρισμός, δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό του υπο-τομέα. Τότε, θεωρείται ότι η επιπλέον απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια, προέρχεται από χωριστή παραγωγή σε σταθμούς «αναφοράς», και διατίθεται στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις του υπο-τομέα μέσω του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρισμού. Στην αντίθετη περίπτωση ($PHR_{chp} > PHR_{k,s}$), ο παραγόμενος από ΣΗΘ ηλεκτρισμός υπερτερεί των αναγκών σε ηλεκτρισμό του υπο-τομέα. Τότε η περίσσεια ποσότητα ηλεκτρισμού ή μέρος αυτής, μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των αναγκών ηλεκτρισμού του πλησιέστερου (υπό)-τομέα (wheeling), είτε να διατεθεί μέσω του δικτύου στις αρμόδιες ενεργειακές εταιρίες (π.χ. Δ.Ε.Η). Για την εφαρμογή αυτή και σε συμφωνία με την Ελληνική νομοθεσία, μέρος αυτής της ποσότητας διατίθεται στο δίκτυο.

Η πραγματοποίηση των δύο παραπάνω σεναρίων, προϋποθέτει περισσότερους σταθμούς ΣΗΘ από τους ήδη υφιστάμενους στον υπο-τομέα. Επιπρόσθετα, οι παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας εξαρτώνται από τον τρόπο λειτουργίας των μονάδων και τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες. Γι' αυτό τίθενται οι εξής παραδοχές:

Αρχική προϋπόθεση είναι η κατασκευή περισσότερων σταθμών ΣΗΘ, έτσι ώστε να είναι δυνατή η πλήρης κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρισμό ή θερμότητα των βιομηχανικών μονάδων του υπο-τομέα των τροφίμων, για κάθε έτος της εξεταζόμενης περιόδου. Όλοι οι σταθμοί θα λειτουργούν στη μέγιστη ένταση (full load) χρησιμοποιώντας ατμοστρόβιλους³⁰. Η συνολική θερμοδυναμική απόδοση της ΣΗΘ, $\eta_{chp,tot}$, θεωρείται η μέγιστη δυνατή και ίση με 85% και ο αντίστοιχος «λόγος του παραγόμενου ηλεκτρισμού προς την παραγόμενη θερμότητα», PHR_{chp} , αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή του, ίση με 0,5 (Πίνακας 2.1, Υπο-Κεφάλαιο 2.2.2). Η τιμή του συντελεστή με-

³⁰ Ατμοστρόβιλοι, χρησιμοποιούνται στην πλειοψηφία των σταθμών ΣΗΘ, του υπο-τομέα τροφίμων.

τατροπής της συνολικά παραγόμενης ενέργειας από ΣΗΘ σε πρωτογενή ενέργεια, είναι $f_{chp,tot}$: 1,2. Οι τιμές των συντελεστών μετατροπής του ηλεκτρισμού που παράγεται από ΣΗΘ και της θερμότητας που παράγεται από ΣΗΘ σε πρωτογενή ενέργεια είναι, $f_{chp,elec}$: 3,5 και $f_{chp,H}$: 1,8 αντίστοιχα και εκτιμώνται με βάση τις εξισώσεις (3.16) και (3.17).

Επιπρόσθετα, λαμβάνονται υπ' όψιν οι νομοθετικοί περιορισμοί, που αφορούν στη διάθεση στο κεντρικό δίκτυο, της περίσσειας ποσότητας ηλεκτρισμού που παράγεται από ΣΗΘ. Σύμφωνα με αυτούς, όπως αναφέρονται στο νόμο 3468/2006 (ΦΕΚ 129/27.06.2006), η μέγιστη ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται από ΣΗΘ και μπορεί να διατεθεί στο δίκτυο, είναι το 20% του ετησίως παραγόμενου ηλεκτρισμού για κάθε σταθμό ΣΗΘ με μέγιστο επιτρεπόμενο όριο εγκατεστημένης ισχύος 35 MW. Επιπλέον, αυτή δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 50.000 MWh. Τα παραπάνω, αφορούν στους αυτοπαραγωγούς δηλ. τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των ιδιωτικών τους αναγκών. Προκειμένου να συμπεριληφθούν στην εφαρμογή όλοι οι παραπάνω περιορισμοί, γίνεται η παραδοχή ότι η ισχύς των επιπλέον³¹ σταθμών ΣΗΘ που εγκαθίστανται στον υπο-τομέα είναι 35 MWe. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που διατίθεται ετησίως από αυτούς στο δίκτυο δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 50.000 MWh επί τον αριθμό όλων των σταθμών ΣΗΘ που θα λειτουργούν τελικά στον υπο-τομέα, στην περίπτωση του 2^ο σεναρίου, «*thermal match*».

Για τους πρόσθετους σταθμούς ΣΗΘ, γίνεται η παραδοχή ότι αυτοί θα λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (8.760 ώρες). Σε αυτήν την περίπτωση, χρειάζεται η λειτουργία έντεκα (11) συνολικά σταθμών ΣΗΘ, για την πλήρη κάλυψη των αναγκών σε θερμότητα στον υπο-τομέα των τροφίμων. Για λιγότερες ώρες λειτουργίας των σταθμών, ο αριθμός αυτός αυξάνεται. Η συνολική ποσότητα ηλεκτρισμού από ΣΗΘ που μπορεί να διατεθεί στο δίκτυο δεν μπορεί να υπερβαίνει τις 550.000 MWh. Ωστόσο, και υπό την ακραία προϋπόθεση των 8.760 ωρών λειτουργίας των νέων σταθμών, το 20% του ετησίως παραγόμενου ηλεκτρισμού από ΣΗΘ, σε καμία περίπτωση δεν υπερβαίνει τις 550.000 MWh. Συνεπώς τα αποτελέσματα της εφαρμογής δεν επηρεάζονται από την μείωση των ωρών λειτουργίας των σταθμών σε πιο ρεαλιστικά επίπεδα.

Τέλος, οι θερμοδυναμικές αποδόσεις των τεχνολογιών για την χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας στην κατάσταση «αναφοράς», βασίζονται στις αντίστοι-

³¹ Οι υφιστάμενοι σταθμοί είναι μικρότεροι των 35 MW.

χες τιμές «αναφοράς» που προτείνονται από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία [2007/74/EC]· επιπρόσθετα, συμπεριλαμβάνουν τις προτεινόμενες διορθώσεις από την έκθεση του Ευρωπαϊκού Συνδέσμου για τη ΣΗΘ, που αφορούν στις απώλειες του δικτύου που αποφεύγονται λόγω της ΣΗΘ [COGEN, 2005]. Ειδικότερα, οι ετήσιες αποδόσεις «αναφοράς» για την παραγωγή ηλεκτρισμού, εκτιμώνται με βάση τις παραπάνω τιμές «αναφοράς»³² των τεχνολογιών για συγκεκριμένο καύσιμο, το χρησιμοποιούμενου μείγματος καυσίμου και τις απώλειες του δικτύου οι οποίες αποφεύγονται λόγω μικρότερης έκτασης χρήσης του δικτύου, όταν ο ηλεκτρισμός παράγεται από σταθμό ΣΗΘ και συνδέεται στη μέση τάση του δικτύου (μεταφορά). Συγκεκριμένα, όταν ο παραγόμενος ηλεκτρισμός χρησιμοποιείται επί τόπου, αποφεύγονται απώλειες 6,4% ενώ όταν ο ηλεκτρισμός εξάγεται, αποφεύγονται απώλειες 2,4% [COGEN, 2005]. Το μείγμα καυσίμου για την παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα στους κεντρικούς θερμικούς σταθμούς, είναι λιγνίτης, πετρέλαιο και φυσικό αέριο (Φ.Α). Η ετήσια ποσοστιαία συμμετοχή του κάθε καυσίμου στην παραγωγή ηλεκτρισμού, απορρέει από το Εθνικό Πληροφοριακό Σύστημα Ενέργειας για τον τομέα μετατροπής ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό. Τελικά η απόδοση «αναφοράς» υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\eta_{ref,elec} (\%) = [(ποσοστιαία \text{ συμμετοχή λιγνίτη} * \text{απόδοση «αναφοράς» λιγνίτη}) + (ποσοστιαία \text{ συμμετοχή πετρελαίου} * \text{απόδοση «αναφοράς» πετρελαίου}) + (ποσοστιαία \text{ συμμετοχή φυσικού αερίου} * \text{απόδοση «αναφοράς» φυσικού αερίου}) - \text{απώλειες δικτύου}]/100$$

Οι αποδόσεις «αναφοράς» για την παραγωγή θερμότητας είναι ο μέσος όρος των προτεινόμενων τιμών για την παραγωγή ατμού σε λέβητα Φ.Α (85%) και την παραγωγή θερμότητας από υπο-προϊόντα των βιομηχανικών διεργασιών, π.χ. αέριο διυλιστηρίου (82%) [COGEN, 2005].

Στην εφαρμογή, όπως φαίνεται και από τις εξισώσεις της αντίστοιχης μεθοδολογίας, χρησιμοποιούνται οι συντελεστές μετατροπής «αναφοράς» των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό και θερμότητα (το αντίστροφο των αντίστοιχων αποδόσεων). Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζονται όλα τα δεδομένα και οι εκτιμήσεις αναφορικά με τις αποδόσεις «αναφοράς» που χρησιμοποιούνται. Οι τιμές «αναφοράς» για το κάθε

³² Εκφράζουν το «καθαρό» θερμιδικό περιεχόμενο του χρησιμοποιούμενου καυσίμου.

καύσιμο είναι οι βιβλιογραφικές τιμές [2007/74/EC] ενώ οι τιμές «αναφοράς» για την παραγωγή ηλεκτρισμού είναι η εκτιμώμενη τιμή. Οι απώλειες του δικτύου είναι ο μέσος όρος των βιβλιογραφικών τιμών που αναφέρονται παραπάνω. Η τιμή της απόδοσης «αναφοράς» για τη θερμότητα, είναι επίσης ο μέσος όρος των βιβλιογραφικών τιμών που αναφέρθηκαν παραπάνω [COGEN, 2005].

Πίνακας 4.4 Αποδόσεις και συντελεστές μετατροπής «αναφοράς». Δεδομένα & εκτιμήσεις

Έτος	Απόδοση «αναφοράς» λιγνίτη (%)	Απόδοση «αναφοράς» πετρελαίου ^a (%)	Απόδοση «αναφοράς» Φ.Α (%)	Συμμετοχή λιγνίτη στην παραγωγή ηλεκτρισμού (%)	Συμμετοχή πετρελαίου στην παραγωγή ηλεκτρισμού (%)	Συμμετοχή Φ.Α στη παραγωγή ηλεκτρισμού (%)	Απώλειες δικτύου (%)	Απόδοση «αναφοράς» για την παραγωγή ηλεκτρισμού (%)	Συντελεστής μετατροπής «αναφοράς» για τον ηλεκτρισμό	Απόδοση «αναφοράς» για τη θερμότητα (%)	Συντελεστής μετατροπής «αναφοράς» για τη θερμότητα
1991	37,3	39,7	50	80,33	19,67	0,00	4,5	37,8	2,6	83,5	1,2
1992	37,3	39,7	50	78,34	21,66	0,00	-/-	37,7	2,7	-/-	-/-
1993	37,3	39,7	50	79,99	20,01	0,00	-/-	37,8	2,6	-/-	-/-
1994	37,3	39,7	50	79,17	20,83	0,00	-/-	37,7	2,7	-/-	-/-
1995	37,3	39,7	50	80,82	19,18	0,00	-/-	37,7	2,7	-/-	-/-
1996	37,3	39,7	50	80,06	19,94	0,00	-/-	37,7	2,7	-/-	-/-
1997	37,3	39,7	50	80,63	19,37	0,00	-/-	38,6	2,6	-/-	-/-
1998	38,1	40,5	50,4	78,92	20,57	0,51	-/-	39,6	2,5	-/-	-/-
1999	38,8	41,2	50,8	78,92	17,73	3,34	-/-	40,8	2,5	-/-	-/-
2000	39,4	41,8	51,1	72,69	18,75	8,55	-/-	41,5	2,4	-/-	-/-
2001	39,9	42,3	51,4	71,93	17,16	10,91	-/-	41,9	2,4	-/-	-/-
2002	40,3	42,7	51,7	73,14	16,15	10,71	-/-	42,3	2,4	-/-	-/-
2003	40,7	43,1	51,9	71,73	16,84	11,44	-/-	42,9	2,3	-/-	-/-
2004	41,1	43,5	52,1	70,05	16,40	13,54	-/-	43,2	2,3	-/-	-/-
2005	41,4	43,8	52,3	71,73	15,00	13,27	-/-	43,3	2,3	-/-	-/-
2006	41,6	44	52,4	71,09	15,96	12,95	-/-	43,9	2,3	-/-	-/-
2007	41,8	44,2	52,5	67,33	16,87	15,80	-/-	43,9	2,3	-/-	-/-

5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ & ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1. Εισαγωγή

Στο τρέχον κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του Μοντέλου στους επιλεγμένους υπο-τομείς της Ελληνικής βιομηχανίας. Επιπρόσθετα, ερευνάται η αξιοπιστία του Μοντέλου. Κατά συνέπεια, πραγματοποιούνται επιπλέον αναλύσεις ευαισθησίας στα αποτελέσματα καθώς και συγκρίσεις αυτών με παρεμφερείς δείκτες. Επίσης, εξετάζεται η καταλληλότητα εφαρμογής του Μοντέλου για την παρακολούθηση της μεταβολής ενεργειακών δεικτών και την βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού. Τέλος, αναδεικνύονται τα προκύπτοντα ζητήματα ενεργειακής πολιτικής. Παρατίθενται προτάσεις που αφορούν:

- Σε άμεσες επεμβάσεις για την βελτίωση ενεργειακής απόδοσης στην τελική χρήση ενέργειας και την βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού με ΣΗΘ στη βιομηχανία
- Σε έμμεσες επεμβάσεις για την βελτίωση της αποτύπωση των εισροών – εκροών ενέργειας, μάζας και χρημάτων στους τομείς του Ελληνικού ενεργειακού συστήματος προς διευκόλυνση των ενεργειακών αναλυτών στη χρήση σύγχρονων και ευαίσθητων μεθοδολογικών προσεγγίσεων.

Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των παραπάνω ανά εφαρμοζόμενο άξονα του Μοντέλου.

5.2. Σύνθεση του Δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης και Αναλυτική Αποδόμηση του Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης: Αποτελέσματα

Από την εφαρμογή του πρώτου άξονα του Μοντέλου, εκτιμήθηκε η μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στους βιομηχανικούς υπο-τομείς των τροφίμων, ποτού & καπνού, σιδήρου & χάλυβα, μη σιδηρούχων μετάλλων, μη μεταλλικών ορυκτών και χαρτοποιίας, από το 1985 έως το 2002. Επιπρόσθετα και για την ίδια χρονική περίοδο, εκτιμήθηκε και η συνεισφορά του αποτελέσματος των μεταβολών της παραγωγικότητας, της δομής και της φυσικής ενεργειακής απόδοσης των παραπάνω υπο-τομέων στη μεταβολή της ενεργειακής τους κατανάλωσης.

Αρχικά, παρουσιάζεται και ερμηνεύεται η μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» κατά τη χρονική περίοδο 1985-2002, όπως εκτιμήθηκε από την μέθοδο Σύνθεσης Δεικτών. Οι ετήσιες τιμές του εκτιμώμενου δείκτη για τη συνολική

χρήση ενέργειας σε έναν υπο-τομέα ($PEE_{k,s,p}$), αντιπαρατίθενται με τις ετήσιες τιμές του «κύκλου παραγωγής» (business cycle) για τον κάθε εξεταζόμενο υπο-τομέα εκτός αυτού των μη σιδηρούχων μετάλλων³³. Αυτός εκφράζεται από τις οικονομικές απολαβές ενός υπο-τομέα (προστιθέμενη αξία) ή της φυσικής του παραγωγής αντίστοιχα (ποσότητα όλων των παραγόμενων προϊόντων). Η βελτίωση του «κύκλου παραγωγής» ενός υπο-τομέα (αύξηση της παραγωγής και των οικονομικών απολαβών του), είναι ενδεικτική της ικανότητας του υπο-τομέα να χρησιμοποιεί αποδοτικότερα τους εισρέοντες σε αυτόν πόρους (capacity use), άρα και τους ενεργειακούς. Η ισχύς των παραπάνω συνθηκών υποδηλώνουν την βελτίωση της Ειδικής Ενεργειακής Κατανάλωσης σε έναν υπο-τομέα. Ωστόσο, ο εκτιμώμενος δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης», είναι ένας μεικτός φυσικο-θερμοδυναμικός δείκτης και δεν εκφράζει αποκλειστικά την βελτίωση της ΕΕΚ των βιομηχανικών διεργασιών (technical energy efficiency). Η επιδείνωση ή βελτίωση του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» σε έναν υπο-τομέα, επιπλέον επηρεάζεται και από την τάση του υπο-τομέα για βιομηχανοποίηση ή αποβιομηχανοποίηση (και την συνεπαγόμενη αύξηση ή μείωση κατ'αντιστοιχία της ενεργειακής χρήσης) [Patterson M., 1996].

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της μεταβολής της παραγωγικότητας, της δομής και της φυσικής ενεργειακής απόδοσης για τους εξεταζόμενους υπο-τομείς στη μεταβολή της συνολικής τους ενεργειακής χρήσης, όπως αυτό εκτιμήθηκε από την εφαρμογή της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών για την ίδια χρονική περίοδο.

Πέραν των παραπάνω, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων, σε μεταβαλλόμενες τιμές της ΕΕΚ «αναφοράς» των επιμέρους προϊόντων και σε μεταβαλλόμενο έτος «αναφοράς». Οι επιπλέον αναλύσεις αφορούν στην ενδυνάμωση της αξιοπιστίας και της χρησιμότητας ενός μεθοδολογικού πλαισίου που χρησιμοποιεί βιβλιογραφικές τιμές ΕΕΚ «αναφοράς» οι οποίες προφανώς και διαφέρουν από τις πραγματικές τιμές ΕΕΚς ανάλογα με το επίπεδο ανάπτυξης της κάθε βιομηχανίας, σε επίπεδο υπό-τομέων αλλά και κρατών. Επιπρόσθετα, αναδεικνύεται η σημαντικότητα της κατάλληλης επιλογής του έτους «αναφοράς», καθώς οι τελικές εκτιμήσεις εξαρτώνται από τις τιμές των δεδομένων σε αυτό. Κατά συνέπεια, αυτό θα πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά ούτως ώστε όλα τα διαθέσιμα δεδομένα να περιγράφουν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.

³³ Ο δείκτης $PEE_{k,s,p}$ δεν έχει εκτιμηθεί στο εν λόγω υπο-τομέα, λόγω του χαμηλού «Ποσοστού Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης», C_0 , όπως έχει αναφερθεί στο Υπο-Κεφάλαιο 4.2. Αντ' αυτού αντιπαρατίθεται ο αντίστοιχος δείκτης για την κατανάλωση ηλεκτρισμού με τον κύκλο παραγωγής του υπο-τομέα.

Επιπρόσθετα, για λόγους αξιοπιστίας, στους υπο-τομείς που είναι διαθέσιμες οι οικονομικές τους απολαβές, εκτιμάται η οικονομική συνιστώσα της ενεργειακής απόδοσης, δηλ. ο δείκτης της «Ενεργειακής Έντασης»: αυτός είναι ο λόγος της πραγματικής «Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης» ενός υπο-τομέα και των οικονομικών απολαβών του (προστιθέμενη αξία). Η τάση της ενεργειακής έντασης (του πλέον χρησιμοποιούμενου δείκτη στην ενεργειακή ανάλυση) για έναν υπο-τομέα, είναι ενδεικτική των μεταβολών του αντίστοιχου δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης». Γι' αυτό και η μεταβολή της αντίστοιχης οικονομικής φύσεως ενεργειακής απόδοσης συγκρίνεται³⁴ με την εκτιμώμενη μεταβολή της φυσικής ενεργειακής απόδοσης στον κάθε υπο-τομέα. Οι συγκρινόμενοι δείκτες αφορούν στη συνολική χρήση ενέργειας.

Τέλος, αξιολογούνται η χρηστικότητα του μεθοδολογικού πλαισίου στο Ελληνικό ενεργειακό σύστημα και η αποτελεσματικότητα των υφιστάμενων νομοθετικών ρυθμίσεων σε σχέση με την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης στη βιομηχανία: κατ' αντιστοιχία, προτείνονται η λεπτομερέστερη καταγραφή των δεδομένων παραγωγής, ενέργειας και οικονομικών απολαβών και αναδεικνύονται κίνητρα για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης σε συγκεκριμένους υπο-τομείς.

5.2.1. Παρουσίαση και ανάλυση της μεταβολής του Δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης στους βιομηχανικούς υπο-τομείς της εφαρμογής

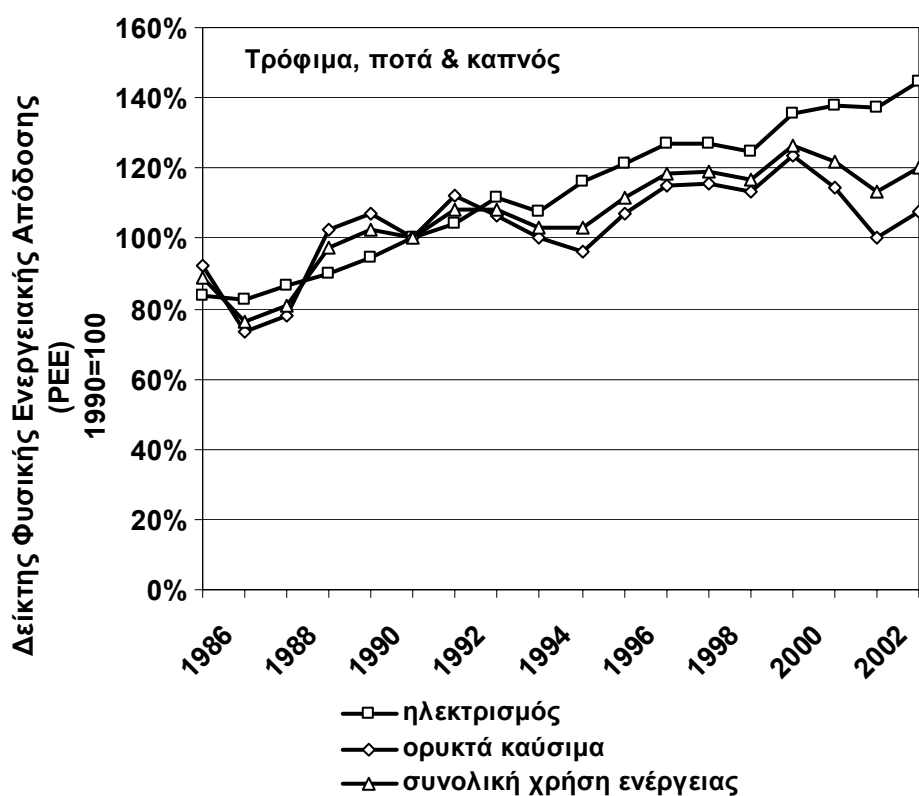
Τα αποτελέσματα της μεθόδου Σύνθεσης Δεικτών και η ερμηνεία τους περιγράφονται ανά βιομηχανικό υπο-τομέα. Για κάθε υπο-τομέα, παρατίθενται δύο διαγράμματα. Στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» που εκτιμήθηκε για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας για τον κάθε υπο-τομέα από το 1985 έως το 2002 (Διαγράμματα 5.1, 5.3, 5.5, 5.7 και 5.9). Η ενεργειακή απόδοση στον κάθε υπο-τομέα, βελτιώνεται όταν ο εκτιμώμενος δείκτης αυξάνεται: όταν αυτός μειώνεται, η ενεργειακή απόδοση επιδεινώνεται αντιστοίχως. Στο δεύτερο διάγραμμα, η μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας στον κάθε υπο-τομέα, συγκρίνεται με τη μεταβολή της παραγωγής και των οικονομικών απο-

³⁴ Η παραπάνω σύγκριση, δεν πραγματοποιείται για τους υπο-τομείς σιδήρου & χάλυβα και μη σιδηρούχων μετάλλων, γιατί οι τιμές προστιθέμενης αξίας καταγράφονται για τον σύνολο των δύο υπο-τομέων (δηλ. για τον υπο-τομέα των βασικών μετάλλων) και όχι για τον καθένα χωριστά.

λαβών, δείκτες που εκφράζουν τον «κύκλο παραγωγής», για τον ίδιο υπο-τομέα (Διαγράμματα 5.2, 5.4, 5.6, 5.8 και 5.10).

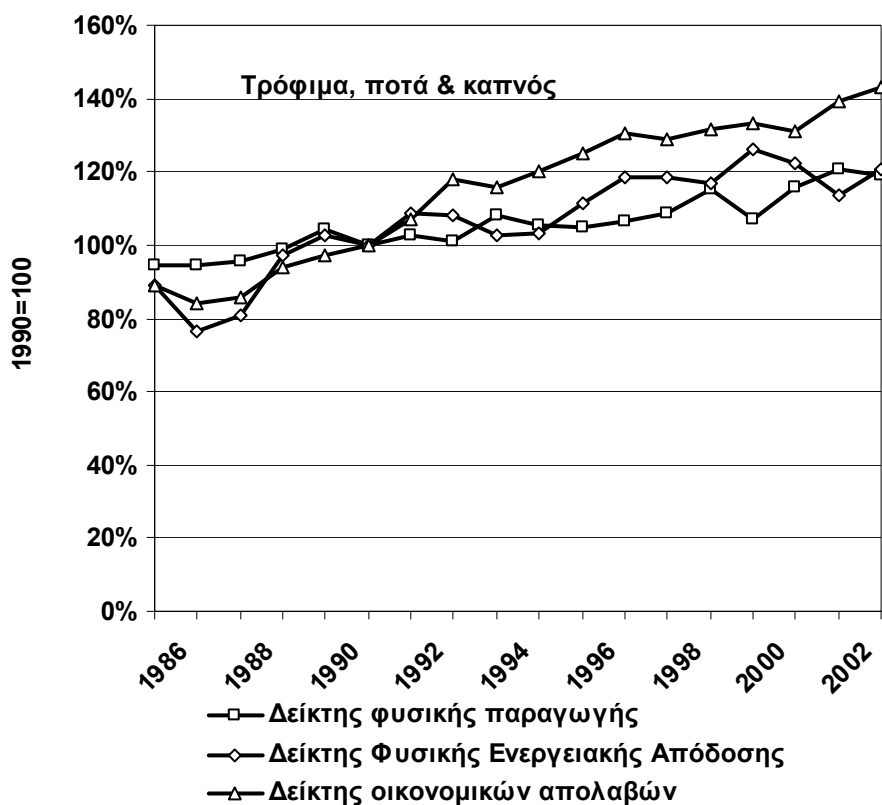
5.2.1.1. Τρόφιμα, ποτά & καπνός

Όπως φαίνεται από το Διάγραμμα 5.1, ο δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» επιδεινώθηκε από το 1985 έως το 2002. Ωστόσο, σε συγκεκριμένες περιόδους, π.χ., 1991-94 και 1999-2001, αυτός βελτιώνεται. Παρόλα αυτά, συγκριτικά με το έτος «αναφοράς» 1990, η ενεργειακή απόδοση επιδεινώθηκε κατά 45% για τη χρήση ηλεκτρισμού και 7% για τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Η επιδείνωση της ενεργειακής απόδοσης που αφορά στη συνολική χρήση ενέργειας του υπο-τομέα, είναι 20%· καθορίζεται κυρίως από τις μεταβολές του ίδιου δείκτη για τη χρήση ορυκτών καυσίμων, καθώς ο υπο-τομέας των τροφίμων εξαρτάται ενεργειακά κυρίως από αυτά.



Διάγραμμα 5.1 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, για την περίοδο 1985-2002.

Οι μεταβολές της ενεργειακής απόδοσης σχετίζονται με τις μεταβολές του «κύκλου παραγωγής» του υπο-τομέα. Όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5.2, από το 1993 και μετά, από τις παρατηρούμενες αυξομειώσεις του δείκτη παραγωγής του υπο-τομέα, οι οποίες συνεισφέρουν στην αύξηση ή μείωση κατ' αντιστοιχία, της ικανότητας του υπο-τομέα να βελτιώσει την ενεργειακή του απόδοση, αιτιολογείται η βελτίωση (μείωση του δείκτη) και επιδείνωση (αύξηση του δείκτη) της «Φυσική Ενεργειακή Απόδοση» για τη συνολική ενεργειακή χρήση.



Διάγραμμα 5.2 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας με τις μεταβολές των δεικτών φυσικής παραγωγής και οικονομικών απολαβών του υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού για την περίοδο 1985-2002.

Η ασυνέπεια μεταξύ των μεταβολών των παραπάνω δεικτών, από το 1985 έως το 1992, ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η παραγωγή των επιλεγμένων προϊόντων προέρχεται από διαφορετική βάση δεδο-

μένων³⁵. Επιπρόσθετα, δεν παρατηρείται ούτε η αναμενόμενη συνέπεια μεταξύ των μεταβολών του δείκτη παραγωγής και του δείκτη των οικονομικών απολαβών³⁶. Η διαφοροποίηση των δύο δεικτών επηρεάζεται από το ότι οι οικονομικές απολαβές αφορούν στο σύνολο της δραστηριότητας του τομέα, ενώ ο δείκτης παραγωγής έχει εκτιμηθεί με άθροιση της επιμέρους παραγωγής συγκεκριμένων και όχι όλων των προϊόντων του υπο-τομέα. Λόγω του παραπάνω γεγονότος και σε συνδυασμό με την τιμή του «Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Ενεργειακής Κατανάλωσης» 51% (για την συνολική χρήση ενέργειας), ενδέχεται η μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών να είναι ακατάλληλη προς εφαρμογή στον Ελληνικό υπο-τομέα τροφίμων³⁷. Ωστόσο, η τάση της μεταβολής του δείκτη «Ενεργειακής Έντασης» ταυτίζεται με την αντίστοιχη του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 5.16 του παρακάτω υποκεφαλαίου 5.2.4. Γενικά, ενδέχεται η μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης του εν λόγω υπο-τομέα, είτε αυτή εκφράζεται ως οικονομικός δείκτης είτε ως φυσικο-θερμοδυναμικός δείκτης, να επηρεάζεται από την εντατικοποίηση του υπο-τομέα και την συνεπαγόμενη αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρισμού και ορυκτών καυσίμων. Για την ακρίβεια, η αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρισμού θα μπορούσε να οφείλεται, στους αναθεωρημένους κανονισμούς υγιεινής και ασφάλειας των τροφίμων, ειδικότερα στον υπο-τομέα της μεταποίησης προϊόντων κρέατος, όπως έχει ήδη παρατηρηθεί σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης [Ramirez et al., 2006].

5.2.1.2. Σίδηρος & χάλυβας

Στην Ελλάδα στην παραγωγή του χάλυβα χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη σκραπ σιδήρου το οποίο και επεξεργάζεται αποκλειστικά μέσα σε ηλεκτρικούς κλιβάνους (electric arc furnaces). Οι δύο υψικάμινι (blast furnaces), οι οποίοι χρησιμοποιούνταν για την επεξεργασία του παλαιοσίδηρου (old iron) από τη δεκαετία του '50, έκλεισαν το 1981³⁸. Στο Διάγραμμα 5.3 διακρίνεται ότι η φυσική ενεργειακή απόδοση βελτιώνεται και επιδεικνύει ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση μετά το 1994. Το 2002, συγκριτικά με το έτος «αναφοράς», 1990, η φυσική ενεργειακή απόδοση για τη συνολι-

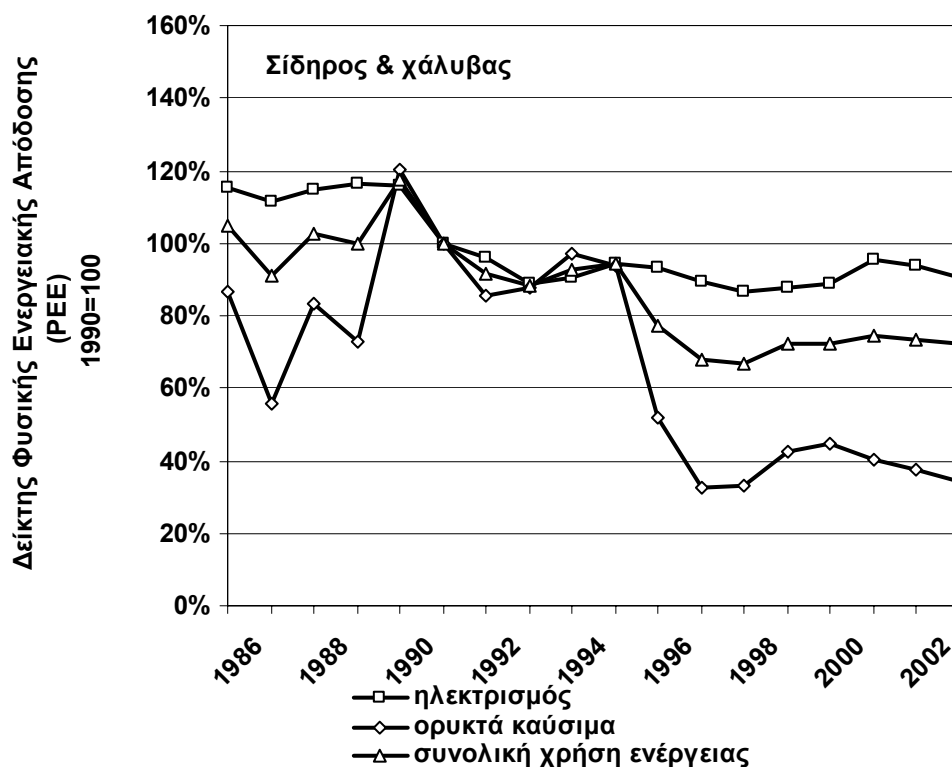
³⁵ Οι πίνακες ετήσιας παραγωγής και πώλησης προϊόντων (PRODCOM) τηρούνται στη στατιστική υπηρεσία από το 1993 και έπειτα. Για την χρονική περίοδο 1985-1992, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της στατιστικής υπηρεσίας των Ηνωμένων Εθνών.

³⁶ Και οι δύο δείκτες εκφράζουν τον «κύκλο παραγωγής» του υπο-τομέα.

³⁷ Λόγω ελλείπων και αναξιόπιστων δεδομένων παραγωγής.

³⁸ Επικοινωνία με τον αρμόδιο μηχανικό της χαλυβουργικής.

κή χρήση ενέργειας βελτιώθηκε κατά 28%. Η τάση της επηρεάζεται από την τάση του αντίστοιχου δείκτη που αφορά στη χρήση ηλεκτρισμού, αφού ο υπο-τομέας εξαρτάται ενεργειακά από αυτόν.

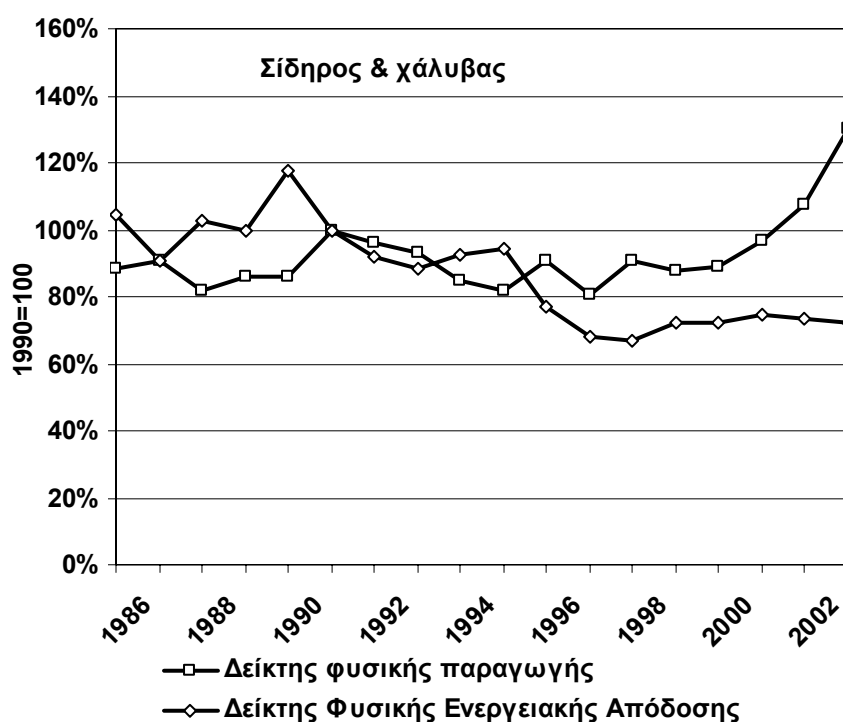


Διάγραμμα 5.3 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας στον υπο-τομέα σιδήρου & χάλυβα, για την περίοδο 1985-2002.

Επίσης, στο Διάγραμμα 5.4, διακρίνεται η τάση της ικανότητα του υπο-τομέα να χρησιμοποιεί αποδοτικότερα τους ενεργειακούς του πόρους (αύξηση του δείκτη παραγωγής). Η βελτίωση της φυσικής ενεργειακής απόδοσης συνδέεται άμεσα με τον εκσυγχρονισμό των βιομηχανικών μονάδων και αιτιολογείται έτσι η μείωση της ΕΕΚ των βιομηχανικών διεργασιών³⁹. Ωστόσο, για την διετία 1990-1992 και επίσης από το 1995 έως το 1996, ο δείκτης παραγωγής του υπο-τομέα μειώνεται και δεν επαρκεί για την αιτιολογία της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης για τις συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Αυτή περισσότερο σχετίζεται και αιτιολογείται από την μείωση στην κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων (Διάγραμμα 4.20) η οποία και αντισταθμίζει τη

³⁹ Εισροή Βέλτιστων Διαθέσιμων Τεχνολογιών (BAT), φούρνοι αναθέρμανσης Φ.Α (προσωπική επικοινωνία με τους αρμόδιους μηχανικούς της Χαλυβουργικής και της Sovel A.E). Στοιχεία σχετικά με τον εξοπλισμό των βιομηχανικών μονάδων είναι διαθέσιμα και στις ιστοσελίδες των βιομηχανιών.

μείωση της βιομηχανικής παραγωγής, όπως αυτή διαμορφώνεται από την ζήτηση της αγοράς. Η παρατηρούμενη μείωση στην κατανάλωση ενέργειας του υπο-τομέα ενδεχομένως να επηρεάζεται και από δομικές αλλαγές όπως π.χ. κλείσιμο⁴⁰ βιομηχανικών μονάδων ή μετακίνηση⁴¹ άλλων σε γειτονικές χώρες των Βαλκανίων. Στη δεύτερη περίπτωση ενδέχεται η κατανάλωση ενέργειας (ηλεκτρισμός και ορυκτά καύσιμα) να καταχωρείται στη χώρα που λειτουργεί η μονάδα ενώ η βιομηχανική παραγωγή να καταχωρείται στην Ελλάδα. Σε αυτήν την περίπτωση, υπερεκτιμάται η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.



Διάγραμμα 5.4 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας με τη μεταβολή του δείκτη φυσικής παραγωγής του υπο-τομέα σιδήρου & χάλυβα, για την περίοδο 1985-2002.

5.2.1.3. Μη σιδηρούχα μέταλλα

Η μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών σ' αυτόν τον υπο-τομέα, για λόγους που αναφέρθηκαν στο Υπο-Κεφάλαιο 4.4.1, πραγματοποιήθηκε μόνο για τη χρήση ηλεκτρισμού και για την χρονική περίοδο 1990-2002. Τα προϊόντα που συμμετέχουν στην ανάλυση

⁴⁰ Το 1991 χρεοκόπησε μια χαλυβουργική εταιρία και ξανάνοιξε το 1996 ως Sovel A.E.

⁴¹ Λειτουργούν μονάδες της Sovel A.E στη Βουλγαρία.

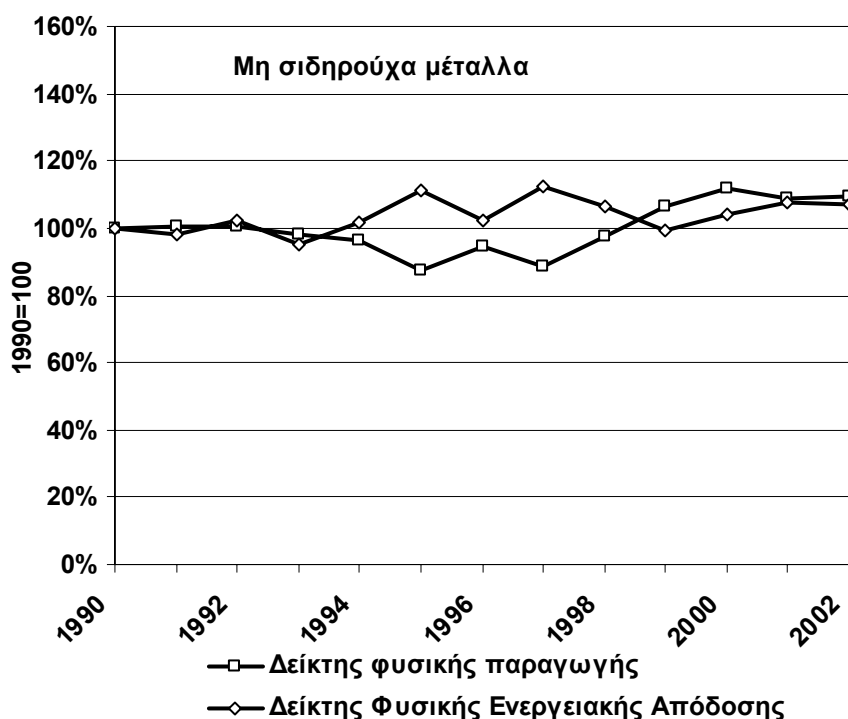
είναι πρωτογενές (παραγωγή αλουμινίου από αλουμίνα) και δευτερογενές αλουμίνιο (παραγωγή αλουμινίου από ανακύκλωση). Παρότι η χρήση σκραπ αλουμινίου ως πρώτη ύλη αυξάνεται, η δευτερογενής παραγωγή αλουμινίου δεν έχει υποκαταστήσει, ως διεργασία, την πρωτογενή παραγωγή αλουμινίου· αντ' αυτού αποτελεί μια επιπλέον βιομηχανική διεργασία για την παραγωγή ενός ακόμα βιομηχανικού προϊόντος.



Διάγραμμα 5.5 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, στον υπο-τομέα μη σιδηρούχων μετάλλων, για την περίοδο 1990-2002.

Η φυσική ενεργειακή απόδοση του υπο-τομέα το 2002, επιδεινώθηκε κατά 7% σε σχέση με το 1990 (Διάγραμμα 5.5). Οι ετήσιες μεταβολές της ενεργειακής απόδοσης συνάδουν με τις αντίστοιχες μεταβολές του δείκτη παραγωγής του υπο-τομέα (Διάγραμμα 5.6, αύξηση δείκτη παραγωγής, μείωση και βελτίωση του δείκτη ενεργειακής απόδοσης και αντίστροφα). Η συνολική επιδείνωση της ενεργειακής απόδοσης, σχετίζεται επίσης με την επιπλέον αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρισμού λόγω της ανακύκλωσης και παραγωγής δευτερογενούς αλουμινίου (recycling effect). Το αρνητικό αποτέλεσμα της ανακύκλωσης στη διαμόρφωση της ενεργειακής κατανάλωσης και απόδοσης, παρατηρείται όταν η παραγωγή ενός προϊόντος από ανακυκλώσιμες πρώτες ύλες δεν αντικαθιστά την προϋπάρχουσα βιομηχανική διαδικασία για την παραγωγή του ίδιου προϊόντος αλλά αντίθετα εισέρχεται στην αλυσίδα παραγωγής ως μια

νέα βιομηχανική διεργασία [Eichhammer W., et al., 1997]. Αυτό συμβαίνει και στη βιομηχανία αλουμινίου στην Ελλάδα.

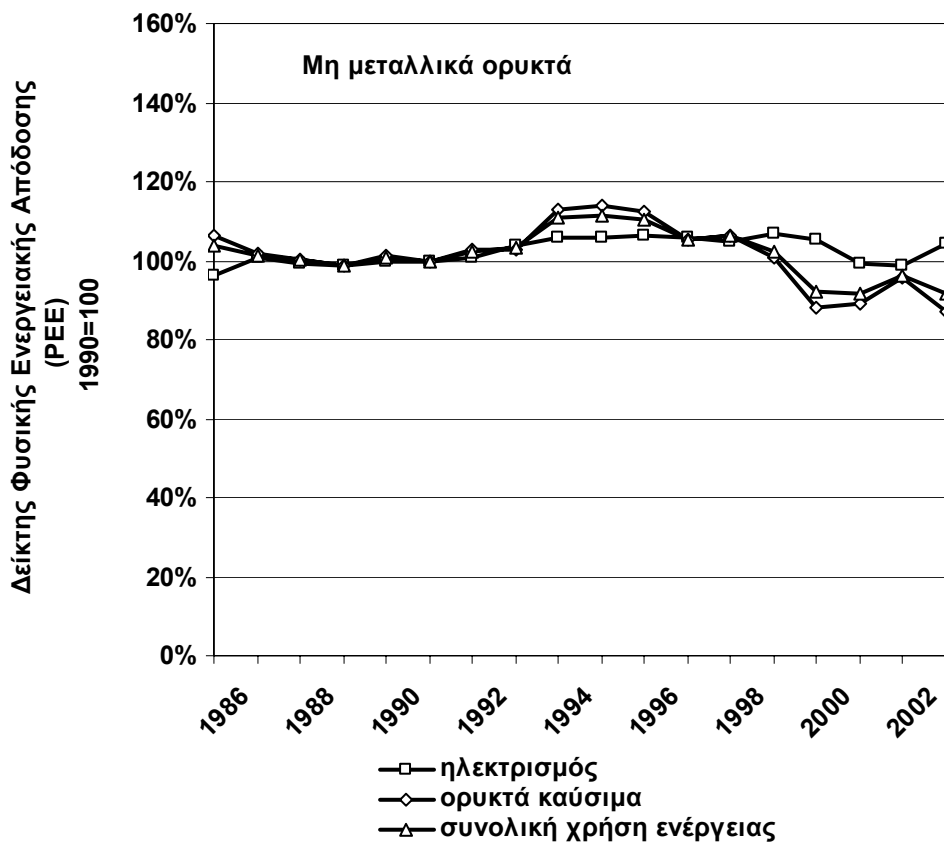


Διάγραμμα 5.6 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού με τις μεταβολές του δείκτη φυσικής παραγωγής του υπο-τομέα μη σιδηρούχων μετάλλων, για την περίοδο 1990-2002.

5.2.1.4. Μη μεταλλικά ορυκτά

Ο δείκτης «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ορυκτών καυσίμων και για τη συνολική χρήση ενέργειας το 2002, βελτιώθηκε συγκριτικά με το έτος «αναφοράς» 1990, κατά 13% και 9% αντίστοιχα. Ο ίδιος δείκτης που αφορά στην χρήση ηλεκτρισμού επιδεινώθηκε κατά 4% στην ίδια χρονική περίοδο (Διάγραμμα 5.7). Η τάση του δείκτη για τη συνολική χρήση ενέργειας, καθορίζεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από την τάση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων. Η εξάρτηση του υπο-τομέα σε αυτά υπερβαίνει κατά πολύ την εξάρτησή του από τον ηλεκτρισμό. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης που παρατηρείται, αποδίδεται στη μείωση της ΕΕΚ των αντίστοιχων βιομηχανικών διεργασιών. Οι αυξομειώσεις του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» είναι σε αντιστοιχία με τις αυξομειώσεις της ικανότητας του τομέα να

χρησιμοποιεί αποδοτικότερα τους ενεργειακούς του πόρους, με όποιο τρόπο και αν αποτυπώνεται αυτή (δείκτης φυσικής παραγωγής ή δείκτης οικονομικών απολαβών), από το 1988 έως το 2002 (Διάγραμμα 5.8). Για την χρονική περίοδο 1985-1988 και για το έτος 2002 παρά την παρατηρούμενη μείωση της παραγωγικότητας στον υποτομέα, οι αντίστοιχες οικονομικές απολαβές του αυξάνονται και αιτιολογείται η βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης για την χρήση ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας τα αντίστοιχα έτη. Μπορεί να ειπωθεί ότι τα έσοδα του υποτομέα επενδύονται στον εκσυγχρονισμό των μονάδων. Αναφορικά με την επιδείνωση του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού κατά 8% (συνολικά) και 4% (σε σχέση με το 1990), ενδεχομένως οι αντίστοιχες τεχνολογίες να μην έχουν εκσυγχρονιστεί λόγω της χαμηλής εξάρτησης του υπο-τομέα σε ηλεκτρική ενέργεια.



Διάγραμμα 5.7 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας στον υπο-τομέα μη μεταλλικών ορυκτών, για την περίοδο 1985-2002.



Διάγραμμα 5.8 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας με τις μεταβολές των δεικτών φυσικής παραγωγής και οικονομικών απολαβών του υπο-τομέα μη μεταλλικών ορυκτών, για την περίοδο 1985-2002.

5.2.1.5. Χαρτοποιία

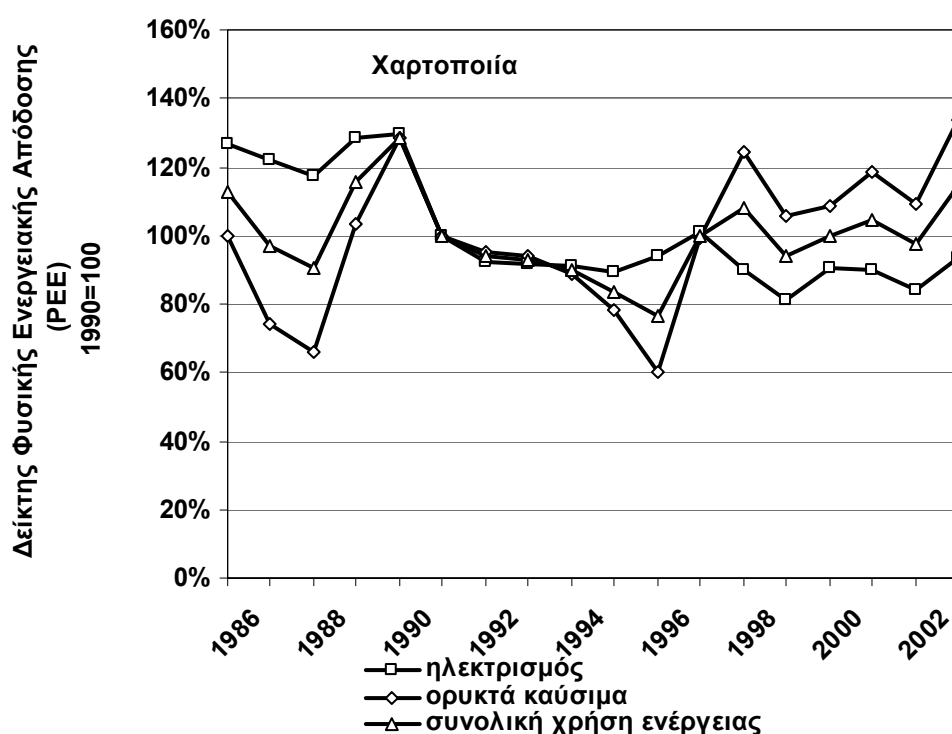
Ο υπο-τομέας της Χαρτοποιίας υπάγεται στη λεγόμενη «βαρεία βιομηχανία» και αυτό γιατί η παραγωγή της πρώτης ύλης του χημικού χαρτοπολτού, είναι ενεργοβόρα. Στην Ελλάδα, ο χημικός χαρτοπολτός εισάγεται⁴² γι' αυτό η χαρτοποιία αποτελεί τμήμα της «ελαφριάς βιομηχανίας». Ωστόσο, ένα ποσοστό του χαρτοπολτού που χρησιμοποιείται στην Ελληνική χαρτοποιία, είναι εγχώριο προϊόν ανακύκλωσης. Η συνεισφορά του προερχόμενου από ανακύκλωση χαρτοπολτού δεν είναι σταθερή στο χρόνο αλλά εξαρτάται από τις αυξομειώσεις της εμπορικής τιμής του χαρτοπολτού⁴³. Αν και η ετήσια παραγωγή του ανακυκλούμενου χαρτοπολτού, επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης, αυτή δεν είναι καταγεγραμμένη ούτε υπάρχει κάποια εκτίμηση αυτής από τους αρμόδιους της χαρτοβιομηχανίας: το αποτέλεσμα της ανακύκλω-

⁴² Χώρες εισαγωγής είναι το Μαρόκο, ο Καναδάς, η Ρωσία και οι Σκανδιναβικές χώρες.

⁴³ Όταν αυτή είναι χαμηλή, εισάγονται μεγαλύτερες ποσότητες.

σης του παλαιοχάρτου, στην κατανάλωση ηλεκτρισμού και ορυκτών καυσίμων δεν ήταν δυνατόν να αποσαφηνιστεί.

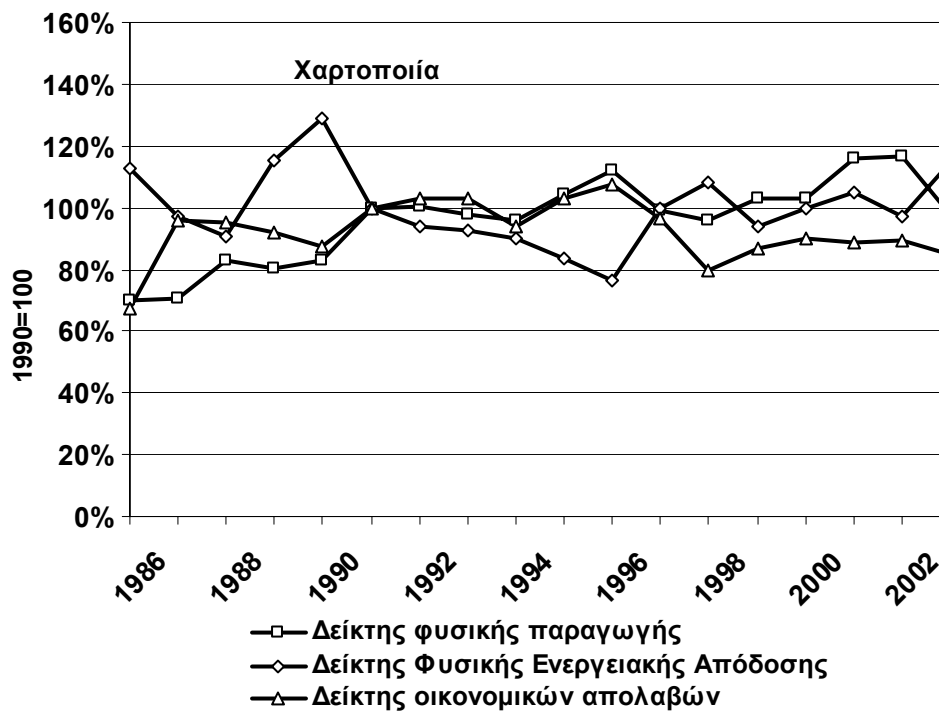
Η φυσική ενεργειακή απόδοση για τη χρήση ηλεκτρισμού βελτιώθηκε κατά 6% το 2002 σε σχέση με το έτος «αναφοράς» 1990. Αντίθετα, για την ίδια χρονική περίοδο, ο αντίστοιχος δείκτης για την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας επιδεινώθηκε κατά 34% και 15% αντίστοιχα. Ωστόσο, κατά την χρονική περίοδο 1989-1995, παρατηρείται σημαντική βελτίωση του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης», τόσο για τις τελικές μορφές ενέργειας όσο και για τη συνολική ενεργειακή χρήση (Διάγραμμα 5.9).



Διάγραμμα 5.9 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη χρήση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και τη συνολική χρήση ενέργειας στον υπο-τομέα χαρτοποιίας, για την περίοδο 1985-2002.

Οι παρατηρούμενες μεταβολές στην ενεργειακή απόδοση, είναι γενικότερα συμβατές με τις μεταβολές της παραγωγής και των οικονομικών απολαβών του υπο-τομέα. Συνάδουν με τις αντίστοιχες του δείκτη με εξαίρεση τις χρονικές περιόδους 1992-93 και 1999-2000. Ενδεχομένως, οι συγκεκριμένες μεταβολές να σχετίζονται με αντί-

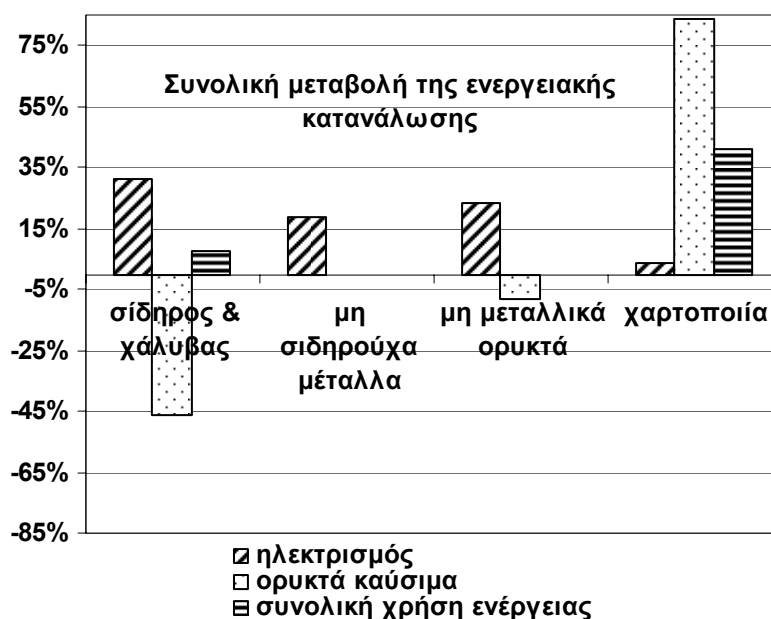
στοιχες αυξομειώσεις της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων οι οποίες όμως δεν μπορούν να αιτιολογηθούν.



Διάγραμμα 5.10 Σύγκριση της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τη συνολική χρήση ενέργειας με τις μεταβολές των δεικτών φυσικής παραγωγής και οικονομικών απολαβών του υπο-τομέα χαρτοποιίας, για την περίοδο 1985-2002.

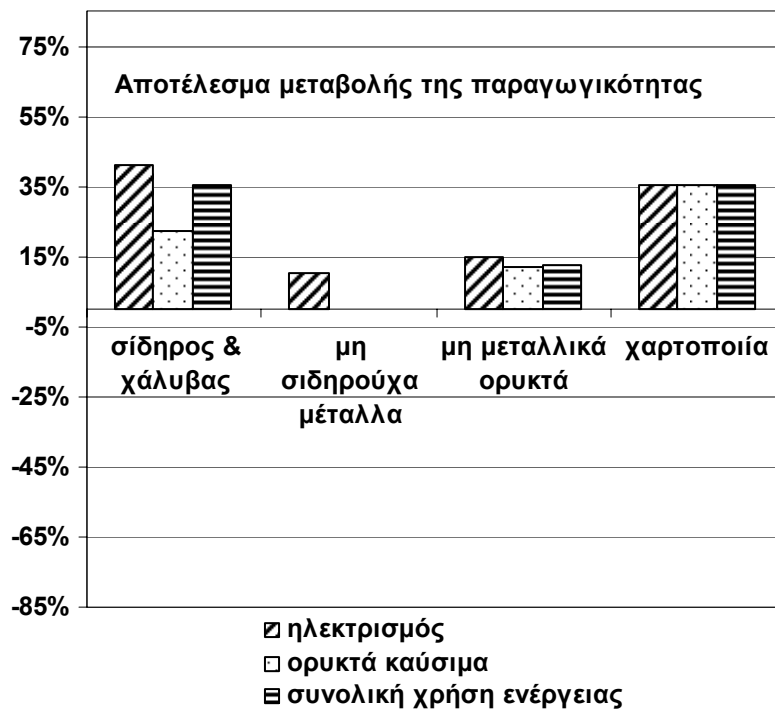
5.2.2. Παρουσίαση και ανάλυση της μεταβολής του Δείκτη Ενεργειακής Κατανάλωσης στους βιομηχανικούς υπο-τομείς εφαρμογής

Τα αποτελέσματα της Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών στην κατανάλωση ηλεκτρισμού, ορυκτών καυσίμων και συνολικής ενέργειας, στους υπο-τομείς σιδήρου & χάλυβα, μη σιδηρούχων μετάλλων⁴⁴, μη μεταλλικών ορυκτών και χαρτοποιίας, παρουσιάζονται στα διαγράμματα 5.11-5.14. Η Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών, όπως αναφέρεται στο Υπο-Κεφάλαιο 4.4.1, δεν εφαρμόστηκε στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού. Στο Διάγραμμα 5.11, παρουσιάζεται η εκτιμώμενη ποσοστιαία μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης του κάθε υπο-τομέα από το 1985 έως το 2002. Στα διαγράμματα 5.12, 5.13 και 5.14 παρουσιάζονται, οι εκτιμώμενες τιμές της ποσοστιαίας συνεισφοράς του αποτελέσματος της μεταβολής της παραγωγικότητας, της δομής και της φυσικής ενεργειακής απόδοσης του κάθε υπο-τομέα, στην παραπάνω μεταβολή της ενεργειακής του κατανάλωσης, αντίστοιχα. Σε όλα τα διαγράμματα, τα αποτελέσματα, παρουσιάζονται ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα.

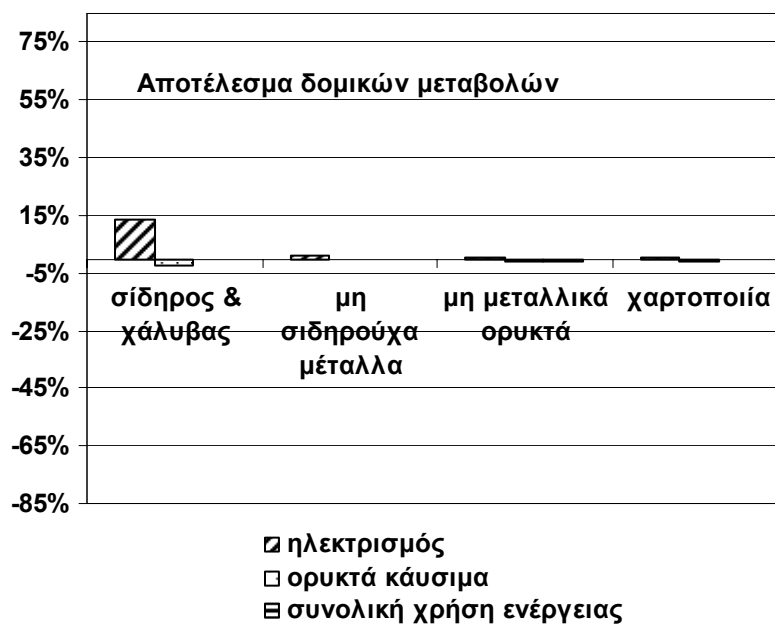


Διάγραμμα 5.11 Μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης, ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα, από το 1985 έως το 2002.

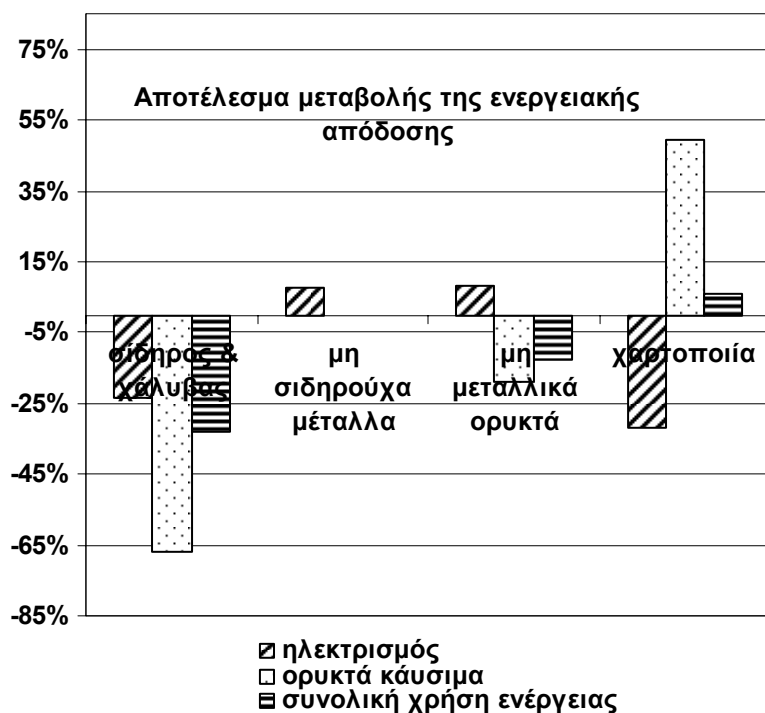
⁴⁴ Η Αναλυτική Αποδόμηση εφαρμόζεται για την χρονική περίοδο 1990-2002 και μόνο για τον ηλεκτρισμό.



Διάγραμμα 5.12 Συνεισφορά του αποτελέσματος της μεταβολής της παραγωγικότητας στη μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας, ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα, από το 1985 έως το 2002.



Διάγραμμα 5.13 Συνεισφορά του αποτελέσματος των δομικών μεταβολών στη μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας, ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα, από το 1985 έως το 2002.



Διάγραμμα 5.14 Συνεισφορά του αποτελέσματος της μεταβολής της ενεργειακής απόδοσης στη μεταβολή της κατανάλωσης ενέργειας, ανά μορφή ενέργειας και υπο-τομέα, από το 1985 έως το 2002.

Από τα παραπάνω διαγράμματα, διαφαίνεται ότι η συνολική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης του κάθε υπο-τομέα, καθορίζεται κυρίως από την εξέλιξη της παραγωγικότητας του και της ενεργειακής του απόδοσης. Παρακάτω, τα αποτελέσματα, ερμηνεύονται ανά υπο-τομέα.

5.2.2.1. Σίδηρος & χάλυβας

Στον υπο-τομέα του σιδήρου & χάλυβα, η συνεισφορά του αποτελέσματος της μεταβολής της παραγωγικότητας του στην μεταβολή της ενεργειακής του κατανάλωσης είναι υψηλή. Ωστόσο, η αναμενόμενη αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης του υπο-τομέα ως αποτέλεσμα της εντατικοποίησης της παραγωγής του, αναστέλλεται, ειδικότερα αναφορικά με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, λόγω της συνεισφοράς της ενεργειακής απόδοσης του υπο-τομέα, η οποία όπως προαναφέρθηκε βελτιώθηκε σημαντικά. Αξιοσημείωτες δομικές αλλαγές οι οποίες επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση, συνεισφέρουν μόνο στην αύξηση του καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού. Αυτές σχετίζονται με την ιδιαίτερα αυξημένη παραγωγή χάλυβα σε ηλεκτρι-

κούς κλιβάνους (86%) σε σχέση με την αύξηση της παραγωγής των υπόλοιπων προϊόντων (36%).

5.2.2.2. Μη σιδηρούχα μέταλλα

Στον υπο-τομέα των μη σιδηρούχων μετάλλων, η αύξηση στην κατανάλωση ηλεκτρισμού αποδίδεται στην εντατική παραγωγή πρωτογενούς και δευτερογενούς αλουμινίου. Η συνεισφορά κατά 1% των δομικών μεταβολών του υπο-τομέα, εκφράζει την αύξηση της συμμετοχής του δευτερογενούς αλουμινίου στο μείγμα των παραγόμενων προϊόντων, από το 1990 έως το 2002.

5.2.2.3. Μη μεταλλικά ορυκτά

Σε αυτόν τον υπο-τομέα, το αποτέλεσμα της αύξησης της παραγωγικότητας στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και συνολικής ενέργειας, αντισταθμίζεται από το αποτέλεσμα της βελτιωμένης ενεργειακής απόδοσης. Το αποτέλεσμα των δομικών αλλαγών του υπο-τομέα συνεισφέρει κατά 1% στη μείωση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων. Σχετικά με την κατανάλωση ηλεκτρισμού, η αύξηση της κατά 23% από το 1985 έως το 2002, αποδίδεται κατά 8% στην μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης του υπο-τομέα (αυτή επιδεινώνεται) και κατά 15% στην μεταβολή της παραγωγικότητας του τομέα.

5.2.2.4. Χαρτοποιία

Στον υπο-τομέα της χαρτοποιίας το θετικό αποτέλεσμα της παραγωγικότητας στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας είναι σημαντικό. Η επιπλέον κατανάλωση ηλεκτρισμού λόγω της αυξημένης παραγωγής, αποφεύγεται λόγω του αρνητικού αποτελέσματος της ενεργειακής απόδοσης, η οποία βελτιώνεται. Αναφορικά όμως με την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, η μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης συνεισφέρει κατά 50% στην αύξηση της, και μαζί με την συνεισφορά κατά 35% της μεταβολής στην παραγωγικότητα, τελικά αυτή αυξάνεται κατά 84%. Αλλαγές που αφορούν στη δομή του υπο-τομέα, απέτρεψαν μόνο κατά 1% την περαιτέρω αύξηση στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων.

5.2.3. Ανάλυση Ευαισθησίας

Προκειμένου να εξεταστεί η αξιοπιστία του μεθοδολογικού πλαισίου, εξετάζεται η ευαισθησία των αποτελεσμάτων σε διαφορετικές τιμές ΕΕΚς «αναφοράς» ($SECs_0$). Εκτιμήθηκαν νέες τιμές ΕΕΚς «αναφοράς», για όλα τα επιλεγμένα προϊόντα και η μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών εφαρμόστηκε ξανά σε όλους τους υπο-τομείς χρησιμοποιώντας τις νέες τιμές ΕΕΚς «αναφοράς». Η εκτίμηση των νέων τιμών ΕΕΚς «αναφοράς», έγινε με βάση τις παρακάτω παραδοχές:

- Στο έτος «αναφοράς» τα επιλεγμένα προϊόντα για τον κάθε υπο-τομέα είναι όλα τα προϊόντα που παράγει ο υπο-τομέας
- Τα δεδομένα της παραγωγής αυτών των προϊόντων είναι ακριβή
- Τα δεδομένα συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης για τον κάθε υπο-τομέα είναι ακριβή

Τότε, στο έτος «αναφοράς» τα δεδομένα περιγράφουν με ακρίβεια τον κάθε υπο-τομέα, και αν οι χρησιμοποιούμενες τιμές ΕΕΚς «αναφοράς» ήταν οι πραγματικές, τότε η εκτιμώμενη «Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας Αναφοράς» θα ήταν ίση με την πραγματική «Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας» (C_0 , = 100%). Όμως οι ΕΕΚς «αναφοράς» δεν είναι οι πραγματικές, και για να πληρείται η παραπάνω υπόθεση, οι ΕΕΚς «αναφοράς», αυξάνονται με βάση την ποσοστιαία συνεισφορά του κάθε προϊόντος στην συνολική παραγωγή του κάθε υπο-τομέα, τόσο ώστε η εκτιμώμενη «Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας Αναφοράς» να εξισωθεί τελικά με την πραγματική «Συνολική Κατανάλωση Ενέργεια». Οι νέες τιμές ΕΕΚς που εκτιμήθηκαν παρατίθενται στον Πίνακα III.2 του Παραρτήματος III. Η μέγιστη παρατηρούμενη μεταβολή που επέφεραν οι νέες τιμές ΕΕΚς στις τιμές του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» είναι της τάξεως 1%.

Επιπρόσθετα, εξετάζεται η ευαισθησία των αποτελεσμάτων σε μεταβαλλόμενες επιλογές του έτους «αναφοράς». Η επιλογή του έτους «αναφοράς» είναι σημαντική, καθώς τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την ακρίβεια των δεδομένων στο έτος αυτό. Αυτό λοιπόν θα πρέπει να περιγράφεται όσο το δυνατό ακριβέστερα από τα διαθέσιμα δεδομένα ενεργειακά και παραγωγής και όχι να επιλέγεται αποκλειστικά το έτος «αναφοράς» των βιβλιογραφικών τιμών ΕΕΚς. Η μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών εφαρμόζεται ξανά σε όλους τους υπο-τομείς, για τις μορφές ενέργειας ηλεκτρισμού και ορυκτά καύσιμα, με διαφορετικό έτος «αναφοράς» το 1995. Αυτό, είναι το έτος που εισρέουν οι τεχνολογίες των οποίων οι ΕΕΚς χρησιμοποιούνται ως «αναφορά». Στον

Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι τιμές του «Ποσοστού Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας», C_0 , για το 1990 και 1995, ενώ στον Πίνακα 5.2 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες εκτιμώμενες τιμές του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στα δύο έτη «αναφοράς», για όλους τους υπο-τομείς.

Πίνακας 5.1 Ποσοστό Κάλυψης πραγματικής Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας για το 1990 και το 1995.					
	Υπο-τομέας	C_0 (%)			
		Ηλεκτρισμός		Ορυκτά καύσιμα	
		1990	1995	1990	1995
1.	Τρόφιμα, ποτά & καπνός	61	51	45	42
2.	Σίδηρος & χάλυβας	72	77	67	130
3.	Μη σιδηρούχα μέταλλα	65	58	4	4
4.	Μη μεταλλικά ορυκτά	86	81	67	59
5.	Χαρτοποιία	72	77	78	130

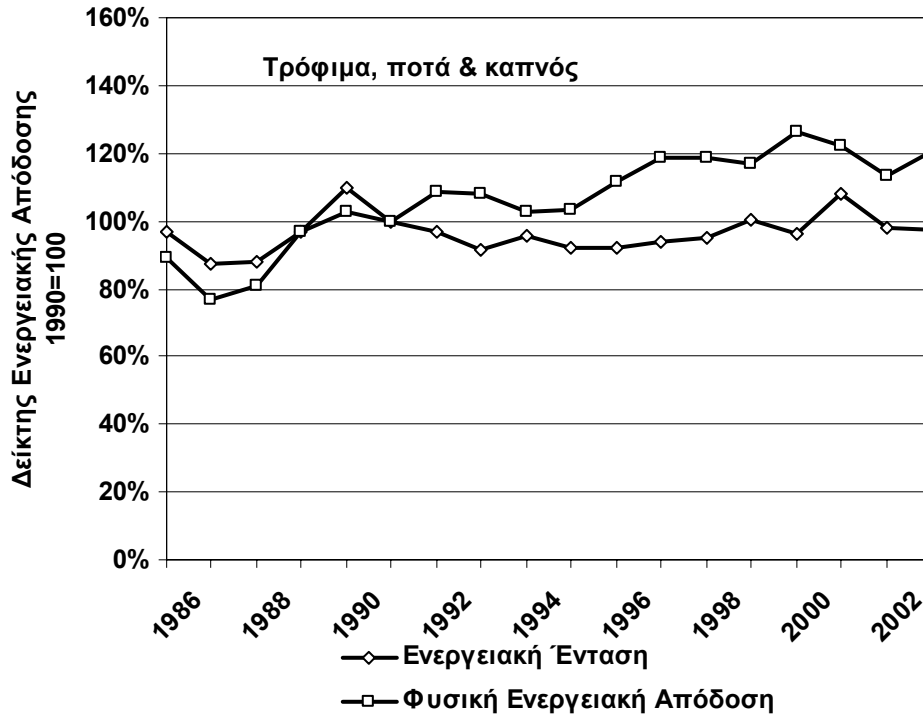
Πίνακας 5.2 Μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για την περίοδο 1985-2002, στα έτη «αναφοράς» 1990 και 1995.				
Υπο-τομέας	Ηλεκτρισμός		Ορυκτά καύσιμα	
	1990	1995	1990	1995
Τρόφιμα, ποτά & καπνός	61	50	15	14
Σίδηρος & χάλυβας	-25	-27	-52	-101
Μη σιδηρούχα μέταλλα	7	7		
Μη μεταλλικά ορυκτά	8	7	-19	-17
Χαρτοποιία	-33	-35	34	56

Όπως φαίνεται από τους παραπάνω πίνακες, οι μεταβολές στην τιμή του C_0 , από 5% έως 10% επιφέρουν αλλαγές στις τιμές των αποτελεσμάτων, από 1% έως 10% αντίστοιχα. Ωστόσο, σημαντικές μεταβολές στην τιμή του C_0 μεταξύ δύο ετών, της τάξης του 63% και 52% μεταβάλλουν τα αποτελέσματα κατά 49% και 22% αντίστοιχα. Οι παραπάνω, ασυμφωνίες, αφορούν στον δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων, στους υπο-τομείς σιδήρου & χάλυβα

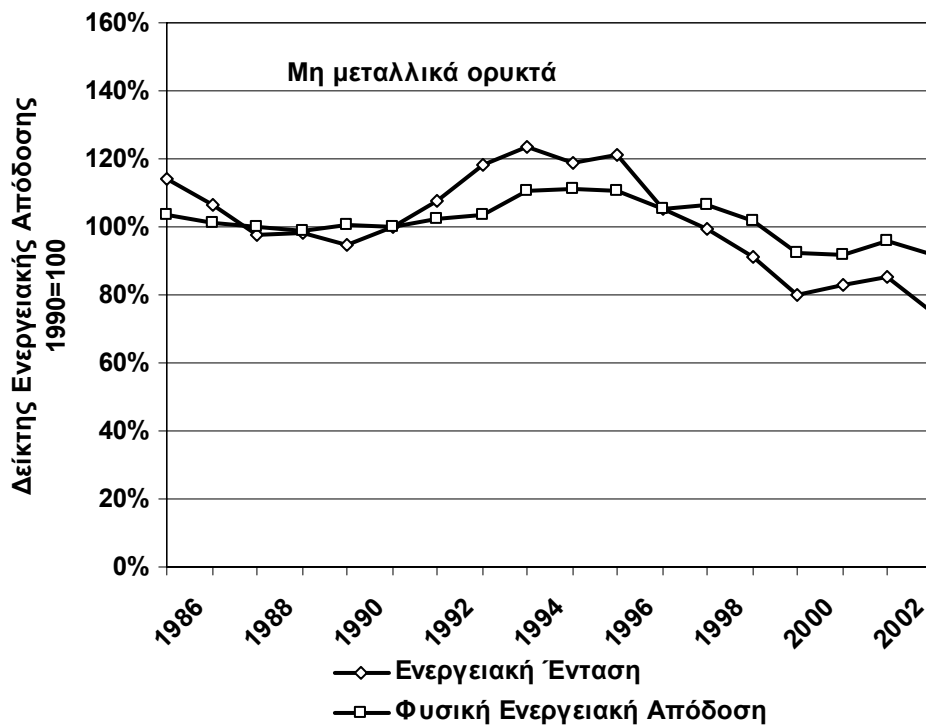
και χαρτοποιίας, στους οποίους το C_0 , για το 1995 είναι 130%. Στο ίδιο έτος, και για τους δύο υπο-τομείς, παρατηρείται απότομη μεταβολή (μείωση) στην κατανάλωση ορυκτών καυσίμων. Ξαφνική μεταβολή στην τάση των δεδομένων και τιμές του C_0 που υπερβαίνουν το 100%, αποτελούν ενδείξεις ότι τα έτη στα οποία παρατηρούνται αυτές οι ασυμφωνίες δεν είναι κατάλληλα ως έτη «αναφοράς».

5.2.4. Σύγκριση των δεικτών Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης και Ενεργειακής Έντασης

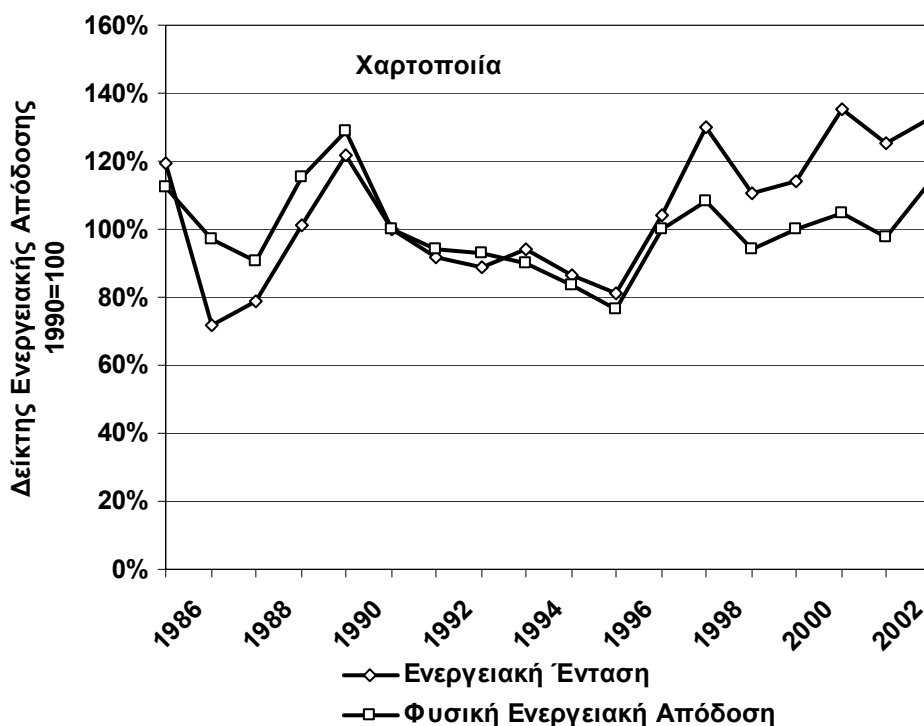
Στα παρακάτω Διαγράμματα 5.15, 5.16 και 5.17, συγκρίνεται ο δείκτης «Ενεργειακής Έντασης» με τον δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» για τους υπο-τομείς των τροφίμων, ποτού & καπνού, μη μεταλλικών ορυκτών και χαρτοποιίας. Η τάση του δείκτη της «Ενεργειακής Έντασης», είναι ενδεικτική της τάσης της ενεργειακής απόδοσης στον κάθε καταναλωτικό (υπο)-τομέα. Αυτή, βασίζεται στις οικονομικές απολαβές ενός (υπο)-τομέα, η μεταβολή των οποίων εξαρτάται μεν από την ποσότητα παραγωγής του κάθε υπο-τομέα, αλλά ο ρυθμός της εξέλιξης της είναι διαφορετικός, καθώς βασίζεται στην εμπορική αξία των πόρων που εισρέουν και εκρέουν σε έναν (υπο)-τομέα. Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, οι μεταβολές των δύο δεικτών έχουν την ίδια τάση σε όλους τους υπο-τομείς, παρ' ότι εκφράζουν διαφορετικούς τύπους ενεργειακής απόδοσης.



Διάγραμμα 5.15 Σύγκριση της «Ενεργειακής Έντασης» και της «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού, από το 1985 έως το 2002.



Διάγραμμα 5.16 Σύγκριση της «Ενεργειακής Έντασης» και της «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών, από το 1985 έως το 2002.



Διάγραμμα 5.17 Σύγκριση της «Ενεργειακής Έντασης» και της «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στον υπο-τομέα της χαρτοποιίας, από το 1985 έως το 2002.

5.2.5. Καταλληλότητα εφαρμογής του Μοντέλου για την παρακολούθηση της μεταβολής Ενεργειακών Δεικτών

Η καταλληλότητα του πρώτου άξονα του Μοντέλου για την παρακολούθηση της μεταβολής της ενεργειακής απόδοσης και κατανάλωσης, αφορά στην ευκολία της εφαρμογής του και στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του. Από την τρέχουσα εφαρμογή προέκυψε ότι αυτές σχετίζονται με:

- Την διαθεσιμότητα των απαιτούμενων δεδομένων
- Την απόκριση των χρησιμοποιούμενων μεθόδων στις ακανόνιστες διακυμάνσεις που παρατηρούνται στα δεδομένα

Η διαθεσιμότητα των δεδομένων, αφορά στη δυσκολία συγκέντρωσης πληθώρας αναλυτικών στοιχείων (π.χ. ΕΕΚ, ποσότητα παραγωγής για το κάθε προϊόν), τα οποία αποτιμώνται στο χαμηλότερο επίπεδο ανάλυσης των βιομηχανικών διεργασιών (end use) και γι' αυτό, συνήθως δεν είναι καταγεγραμμένα από τις αντίστοιχες στατιστικές

υπηρεσίες. Η έλλειψη όλων των απαραίτητων δεδομένων, καθιστά δύσκολή την εφαρμογή αναλυτικότερων και πιο ευαίσθητων μεθόδων για την παρακολούθηση της ενεργειακής απόδοσης και την αξιολόγηση των μέτρων πολιτικής που χαρακτηρίζουν την γενικότερη ανάπτυξης μιας χώρας. Για παράδειγμα, αν δεν είναι καταγεγραμμένα όλα τα παραγόμενα προϊόντα και οι ποσότητες παραγωγής τους, το «Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Κατανάλωσης Ενέργειας» C_0 , για την μέθοδο Συνάθροισης, είναι χαμηλό. Επιπλέον, οικονομικά δεδομένα δεν καταγράφονται παρά μόνο στο επίπεδο τομέων και κάποιων υπο-τομέων⁴⁵ και γι' αυτό δεν μπορεί να γίνει μια αντίστοιχη οικονομική Αναλυτική Αποδόμηση σε επίπεδο υπο-τομέα.

Επιπρόσθετα, στην παρούσα εφαρμογή, με τα ίδια δεδομένα εκτιμήθηκαν:

- Η μεταβολή του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» σε συγκεκριμένους υπο-τομείς με τη χρήση της μεθόδου Σύνθεσης
- Το αποτέλεσμα της μεταβολής του δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» στην ενεργειακή κατανάλωση του κάθε υπο-τομέα με τη χρήση της μεθόδου Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών, LMDI.

Η μεταβολή των δύο παραπάνω δεικτών κατά μια μονάδα μεταφράζεται σε αντίστοιχη μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης. Από την εφαρμογή των δύο μεθόδων, αναμένονταν η εκτίμηση ίδιων ή παραπλήσιων μεταβολών στην ενεργειακή απόδοση. Οι συνολικές μεταβολές της ενεργειακής απόδοσης που εκτιμήθηκαν από τις δύο μεθόδους, για κάθε υπο-τομέα, παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3

⁴⁵ Δεν είναι διαθέσιμες οι οικονομικές απολαβές του υπο-τομέα του σιδήρου & χάλυβα ή ενός μικρότερου υπο-τομέα των τροφίμων π.χ. του υπο-τομέα των γαλακτοκομικών προϊόντων.

Πίνακας 5.3 Συνολική μεταβολή της Ενεργειακής Απόδοσης από το 1985 έως το 2002, εκτιμώμενες από την μέθοδο Σύνθεσης Δεικτών και την LMDI.				
	Ηλεκτρισμός		Ορυκτά καύσιμα	
	LMDI	Μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών	LMDI	Μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών
Υπο-τομείς	Μεταβολή αποτελέσματος Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης (%)	Μεταβολή δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης (%)	Μεταβολή αποτελέσματος Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης (%)	Μεταβολή δείκτη Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης (%)
Σίδηρος & χάλυβας	-24	-25	-67	-52
Μη σιδηρούχα μέταλλα ^a	8	7		
Μη μεταλλικά ορυκτά	8	8	-19	-19
Χαρτοποιία	-32	-33	50	34

^a: από το 1990 έως το 2002

Αξιοσημείωτες διαφορές στη μεταβολή της ενεργειακής απόδοσης με βάση τις δύο μεθόδους παρατηρούνται στους υπο-τομείς του σιδήρου & χάλυβα και της χαρτοποιίας, για την χρήση ορυκτών καυσίμων. Οι αντίστοιχες ετήσιες διαφορές για τους δύο υπο-τομείς παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4 Ετήσιες μεταβολές της Ενεργειακής Απόδοσης (%) από το 1985 έως το 2002 για την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων εκτιμώμενες από την μέθοδο Σύνθεσης Δεικτών και την LMDI.

Έτος	Σίδηρος & χάλυβας			Χαρτοποιία		
	LMDI	Μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών	Διαφορά των μεταβολών της ενεργειακής απόδοσης (%)	LMDI	Μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών	Διαφορά των μεταβολών της ενεργειακής απόδοσης (%)
1986-1985	-36	-31	5	-25	-25	0
1987-1986	46	27	19	-12	-8	4
1988-1987	-13	-10	2	56	37	18
1989-1988	66	48	18	24	25	1
1990-1989	-19	-21	2	-22	-28	6
1991-1990	-14	-15	0	-7	-5	2
1992-1991	2	2	0	-1	-1	0
1993-1992	10	10	1	5	5	0
1994-1993	-4	-4	0	-13	-11	2
1995-1994	-47	-42	5	-24	-18	6
1996-1995	-36	-20	16	60	39	21
1997-1996	3	1	2	25	26	0
1998-1997	27	9	18	-16	-19	3
1999-1998	4	2	3	3	3	0
2000-1999	-11	-5	6	9	10	0
2001-2000	-6	-2	4	-8	-9	1
2002-2001	-10	-3	6	21	24	4
Συνολική μεταβολή (2002-1985)	-67	-52	14	50	34	16

Στους δύο αυτούς υπο-τομείς, η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων παρουσιάζει ακανόνιστες διακυμάνσεις στο χρόνο. Οι διαφορές στις εκτιμήσεις της φυσικής ενεργειακής απόδοσης οφείλονται στην διαφορετική απόκριση των μεθόδων στις παραπάνω διακυμάνσεις των δεδομένων. Η μέθοδος Σύνθεσης Δεικτών, ανάγοντας την εκτίμηση της «Συνολική Κατανάλωσης Ενέργειας Αναφοράς» ($E_{calc} = \sum m_{i,k} * SEC_{0,i}$) για το κάθε έτος στο έτος «αναφοράς», εξομαλύνει τις ετήσιες διακυμάνσεις διαιρώντας την παραπάνω ποσότητα με το «Ποσοστό Κάλυψης της πραγματικής Συνολικής Κατανάλωσης Ενέργειας Αναφοράς», C_0 . Γι' αυτό και όπως έχει ήδη ειπωθεί η επιλογή του καταλληλότερου έτους «αναφοράς» είναι σημαντική. Ωστόσο, στην εφαρμογή της LMDI, λόγω του μαθηματικού τύπου της μεθόδου, η παραπάνω ιδιότητα εξαλεί-

φεται. Το αποτέλεσμα της μεταβολής της φυσικής ενεργειακής απόδοσης στην ενεργειακή κατανάλωση ενός υπο-τομέα, μεταξύ των ετών t και T , εκτιμάται από την εξίσωση (5.1).

$$\Delta E_{eff,s,t-T} = \frac{E_{s,t} - E_{s,T}}{\ln(E_{s,t}/E_{s,T})} * \ln \left(\frac{\frac{E_{s,t}}{E_{ref,s,t}}}{\frac{E_{s,T}}{E_{ref,s,T}}} \right) = \frac{E_{s,t} - E_{s,T}}{\ln(E_{s,t}/E_{s,T})} * \ln \left(\frac{\frac{E_{s,t}}{E_{cal,s,t}}}{\frac{E_{s,T}}{E_{cal,s,T}}} \right) = \frac{E_{s,t} - E_{s,T}}{\ln(E_{s,t}/E_{s,T})} \ln \left(\frac{E_{cal,s,T} * E_{s,t}}{E_{cal,s,t} * E_{s,T}} \right) \quad (5.1)$$

Με βάση την παραπάνω εξίσωση, η παράμετρος C_0 , απαλείφεται και η επίδραση της παραμέτρου στην εξομάλυνση των διακυμάνσεων στα δεδομένα ακυρώνεται. Η εφαρμογή της μεθόδου LMDI, σε δεδομένα που παρουσιάζουν διακυμάνσεις έχει παρατηρηθεί ότι οδηγεί σε υπερεκτίμηση των μεταβολών της ενεργειακής απόδοσης και από άλλους ερευνητές [Ramirez A., et al., 2005].

Σύμφωνα με τα παραπάνω, σε ότι αφορά την αξιοπιστία του προτεινόμενου πλαισίου που αφορά στον πρώτο άξονα του Μοντέλου, με την συνδυαστική χρήση των μεθόδων Σύνθεσης και Αναλυτικής Αποδόμησης Δεικτών μπορεί να απομονωθεί το αποτέλεσμα των ακανόνιστων διακυμάνσεων των δεδομένων στη μεταβολή του σύνθετου δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης». Οι διακυμάνσεις αυτές σχετίζονται με την ανταπόκριση των τομέων κατανάλωσης στις απαιτήσεις της αγοράς και σε διεθνείς πιέσεις. Επιπρόσθετα, η εκτεταμένη χρήση των μεθόδων σε διαφορετικούς τομείς/χώρες, με διαφορετικά επίπεδα ανάπτυξης, αναδεικνύει τις αδυναμίες τους. Οι μέθοδοι, συνεχώς αναθεωρούνται και προσαρμόζονται ανάλογα. Ωστόσο, προϋπόθεση για την εύκολη χρήση του εν λόγω πλαισίου και γενικότερα για την ευρύτερη πραγματοποίηση ενδεδειγμένων ενεργειακών αναλύσεων σε κρατικό επίπεδο, είναι η διεύρυνση του συστήματος καταγραφής δεδομένων σε χαμηλότερα επίπεδα ανάλυσης.

5.2.6. Ζητήματα ενεργειακής πολιτικής

Σε ότι αφορά την εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης των εξεταζόμενων υποτομέων της Ελληνικής βιομηχανίας, στους περισσότερους υπο-τομείς, την βιομηχανική ύφεση της δεκαετίας του '80 την διαδέχθηκε η αύξηση της βιομηχανικής παραγωγής (ειδικότερα μετά τα μέσα της δεκαετίας του '90), και κατά συνέπεια αυξήθηκε

και η ενεργειακή ζήτηση. Σε όλους τους υπο-τομείς η ενεργειακή κατανάλωση, επιδεικνύει ανοδική τάση, με εξαίρεση την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων στον υποτομέα σιδήρου & χάλυβα.

Σε ότι αφορά την εξέλιξη της ενεργειακής απόδοσης, από την εφαρμογή προέκυψε ότι σημαντικές βελτιώσεις αυτής, οι οποίες σχετίζονται με τον εκσυγχρονισμό των βιομηχανικών εγκαταστάσεων και την ενσωμάτωση σύγχρονων τεχνολογιών, παρατηρήθηκαν κυρίως στους υπο-τομείς του σιδήρου & χάλυβα και μη μεταλλικών ορυκτών, οι οποίοι υπάγονται στη «βαρειά βιομηχανία». Από την άλλη, σε λιγότερο ενεργοβόρους υπο-τομείς, υπάρχουν δυνατότητες για περαιτέρω βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης.

Γενικότερα, ο διαφορετικός ρυθμός ενσωμάτωσης των τεχνολογικών εξελίξεων μεταξύ των υπο-τομέων της «βαρειάς» και «ελαφριάς» βιομηχανίας, έγκειται στο γεγονός ότι η πρώτη είναι περισσότερο ανταγωνιστική σε διεθνές επίπεδο, οι νέες τεχνολογίες εισάγονται ταυτόχρονα (τουλάχιστον μεταξύ των χωρών του Ο.Ο.Σ.Α) και αποτελούνται από μικρό αριθμό βιομηχανικών εγκαταστάσεων [Eichhammer W., et al., 1997]. Από την άλλη, η «ελαφριά» βιομηχανία αποτελείται από μεγαλύτερο αριθμό εγκαταστάσεων, διασκορπισμένων και με μεγάλο βαθμό ετερογένειας.

Ο εκσυγχρονισμός της «βαρειάς» βιομηχανίας είναι δεδομένος. Ωστόσο, η παγκόσμια τάση, σύμφωνα με την έκθεση του Διεθνούς Πρακτορείου Ενέργειας (I.E.A, 2004), είναι η αποβιομηχανοποίηση, είτε με την ενίσχυση των λιγότερο ενεργοβόρων βιομηχανικών υπο-τομέων (όπως π.χ. ο υπο-τομέας του εξοπλισμού ηλεκτρονικών συστημάτων) είτε με την μετάβαση σε λιγότερο ενεργοβόρους καταναλωτικούς τομείς (π.χ. ενίσχυση του τομέα των υπηρεσιών). Γι' αυτό και η ενεργειακή πολιτική θα μπορούσε να ενθαρρύνει τον εκσυγχρονισμό των βιομηχανικών εγκαταστάσεων, στην «ελαφριά» βιομηχανία, με κατάλληλες νομοθετικές ρυθμίσεις και οικονομικά κίνητρα. Ούτως η άλλως, όπως ανέδειξε και η παρούσα ανάλυση, οι οικονομικές απολαβές της «ελαφριάς» βιομηχανίας και συγκεκριμένα των τροφίμων, ποτού & καπνού, είναι σταθερά υψηλότερες και με ανοδική τάση συγκρινόμενες με αυτές του υπο-τομέα των βασικών μετάλλων. Επομένως, υφίσταται και το οικονομικό κίνητρο για περαιτέρω επενδύσεις για τον εκσυγχρονισμό του υπο-τομέα.

5.3. Σύνθεση Δεικτών Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας λόγω ΣΗΘ:

Αποτελέσματα

Από την εφαρμογή του δεύτερου άξονα του Μοντέλου, εκτιμήθηκαν οι δείκτες «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» ($PE\text{Sind}_{chp,k,s}$) στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού και «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» ($TPES\text{Ind}_{chp,k,s}$) για το σύνολο των τομέων κατανάλωσης ενέργειας, λόγω διείσδυσης της συμπαραγωγής στον υπο-τομέα των τροφίμων από το 1991 έως το 2007. Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε υπό την προϋπόθεση ότι υφίσταται η εγκατεστημένη ισχύς ΣΗΘ, ούτως ώστε για κάθε έτος, το σύνολο του ηλεκτρισμού ή της θερμότητας που καταναλώνεται στον υπο-τομέα, να παράγεται εξ' ολοκλήρου από αυτή.

Αρχικά, ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ στο επίπεδο του υπο-τομέα των τροφίμων, αναλύεται στις επιμέρους παραμέτρους που τον συνθέτουν και εξηγείται πλήρως η αναμενόμενη μεταβολή του σε όλες τις πιθανές μεταβολές των παραμέτρων που υπόκεινται αυτού.

Κατόπιν και σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, οι εκτιμώμενες τιμές του δείκτη για τον υπο-τομέα των τροφίμων, παρουσιάζονται και ερμηνεύονται ανά σενάριο. Επιπρόσθετα, και λόγω αλληλεπικάλυψης του αντίκτυπου της μεταβολής των παραμέτρων που καθορίζουν την μεταβολή του δείκτη, πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων. Σ' αυτήν, παρατηρείται η μεταβολή του δείκτη ανάλογα με την μεταβολή των παραμέτρων που τον επηρεάζουν, διατηρώντας τις υπόλοιπες σταθερές.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω της χρήσης της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ, εκτός του υπο-τομέα των τροφίμων σε σχέση με τις παραδοχές των σχετικών σεναρίων. Επιπρόσθετα παρουσιάζονται και οι βέλτιστες τιμές του εν λόγω δείκτη.

Τέλος, εξετάζεται η δυνατότητα χρησιμοποίησης του πλαισίου για την βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού με ΣΗΘ. Ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στο επίπεδο του βιομηχανικού υπο-τομέα, συνδέεται άμεσα με την αναμενόμενη μελλοντική ενεργειακή χρήση στον υπο-τομέα για τα ίδια σενάρια διείσδυσης της ΣΗΘ σ' αυτόν. Πραγματοποιείται μια πρόσθετη ανάλυση, στην οποία η μεθοδολογία εφαρμόζεται για ένα μελλοντικό διάστημα εικοσιπέντε ετών⁴⁶ στον υπο-τομέα των τροφίμων, στην οποία εξετάζεται η μεταβολή των προτεινόμενων δει-

⁴⁶ Όση είναι και η διάρκεια της άδειας λειτουργίας των σταθμών ΣΗΘ.

κτών, λαμβάνοντας περαιτέρω υπ' όψιν τη χρησιμοποίηση διαφορετικών τεχνολογιών ΣΗΘ και διαφορετικούς τρόπους διάθεσης της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ.

5.3.1. Παρουσίαση και ανάλυση της μεταβολής του Δείκτη «Πρωτογενούς Εξοικονόμησης Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτών & καπνού

Η τιμή του δείκτη «Πρωτογενούς Εξοικονόμησης Ενέργειας» αντιστοιχεί στο ποσοστό πρωτογενούς ενέργειας που εξοικονομείται σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα. Όταν η τιμή του δείκτη είναι αρνητική, τότε αντιστοιχεί στο ποσοστό πρωτογενούς ενέργειας που κατασπαταλείται. Η μεταβολή του δείκτη εξαρτάται από τις αντίστοιχες μεταβολές των παρακάτω παραμέτρων:

- Των θερμοδυναμικών αποδόσεων για την παραγωγή ηλεκτρισμού και συνολικής ενέργειας των τεχνολογιών ΣΗΘ (οι οποίες σχετίζονται από τον αντίστοιχο λόγο «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» και την ένταση λειτουργίας των σταθμών), και των θερμοδυναμικών αποδόσεων «αναφοράς» για χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Στην παρούσα εφαρμογή, οι θερμοδυναμικές αποδόσεις των τεχνολογιών ΣΗΘ είναι σταθερές για όλη την εξεταζόμενη περίοδο. Το ίδιο ισχύει και για την απόδοση «αναφοράς» για την μετατροπή των ορυκτών καυσίμων σε θερμότητα. Κατά συνέπεια, ο εκτιμώμενος δείκτης επηρεάζεται μόνο από τη μεταβολή της απόδοσης «αναφοράς» για τον ηλεκτρισμό που παράγεται χωριστά στους κεντρικούς θερμικούς σταθμούς. Όταν η απόδοση «αναφοράς» για τον ηλεκτρισμό βελτιώνεται (δηλ. όταν ο αντίστοιχος συντελεστής μετατροπής μειώνεται) τότε δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» επιδεινώνεται και αντιστρόφως.
- Του λόγου της επιπλέον ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής) που εισάγεται⁴⁷ στον υπο-τομέα (προερχόμενη από χωριστή παραγωγή) ή της περίσσειας⁴⁸ ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής) που παράγεται από ΣΗΘ, προς την αντίστοιχη συνολική ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ. Ο λόγος αυτός θα αποκαλείται στο εξής $R_{power,k,s}$ όταν αναφέρεται στο σενάριο «*power match*» και $R_{thermal,k,s}$ όταν αναφέρεται στο σενάριο

⁴⁷ Όταν οι αντίστοιχες παραγόμενες ποσότητες από ΣΗΘ, δεν επαρκούν για τις αντίστοιχες ενεργειακές ανάγκες του υπο-τομέα.

⁴⁸ Όταν οι αντίστοιχες παραγόμενες ποσότητες από ΣΗΘ, υπερβαίνουν τις αντίστοιχες ενεργειακές ανάγκες του υπο-τομέα.

«*thermal match*». Οι υπο-δείκτες k, s αναφέρονται σε συγκεκριμένο έτος και υπο-τομέα.

Η τιμή του λόγου (R) που αναφέρεται παραπάνω, καθορίζεται από το σενάριο αναφοράς («*power match*» ή «*thermal match*») και την σχέση του λόγου «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» (PHR_{chp}) της χρησιμοποιούμενης τεχνολογίας ΣΗΘ, με τον λόγο «καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα» του υπο-τομέα (PHR_s). Σ' έναν υπο-τομέα s , και κάθε έτος k , ο λόγος R , εκτιμάται από τις εξισώσεις (5.2) και (5.3) για τα σενάρια «*power match*» και «*thermal match*» αντίστοιχα.

$$R_{power,k,s} = \frac{PHR_{chp}}{PHR_{k,s}} - 1 \quad (5.2)$$

$$R_{thermal,k,s} = \frac{PHR_{k,s}}{PHR_{chp}} - 1 \quad (5.3)$$

Η μεταβολή του εκτιμώμενου δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» εξαρτάται από την σχέση του παραπάνω λόγου με το μηδέν (0). Διακρίνονται οι παρακάτω τρεις περιπτώσεις:

1η. $R_{power,k,s}$ ή $R_{thermal,k,s} > 0$: Στην περίπτωση αυτή, η παραγόμενη από ΣΗΘ ενέργεια (θερμότητα εάν πρόκειται για το «*power match*» ή ηλεκτρισμός αν πρόκειται για το «*thermal match*» σενάριο αντίστοιχα) δεν επαρκεί. Έτσι, επιπλέον ποσότητα της αντίστοιχης ενέργειας εισάγεται στον υπο-τομέα. Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του αντίστοιχου λόγου $R_{power,k,s}$ ή $R_{thermal,k,s}$, τόσο αυξάνεται και η ποσότητα της επιπλέον ενέργειας που εισάγεται στον υπο-τομέα και επιδεινώνεται η τιμή του δείκτη.

2η. $R_{power,k,s}$ ή $R_{thermal,k,s} < 0$: Σ' αυτήν την περίπτωση παράγεται περίσσεια ενέργειας από ΣΗΘ (θερμότητα εάν πρόκειται για το «*power match*» ή ηλεκτρισμός αν πρόκειται για το «*thermal match*» σενάριο αντίστοιχα). Η περίσσεια ενέργειας από ΣΗΘ, δεν χρησιμοποιείται στον εξεταζόμενο υπο-τομέα και αντιστοιχεί σε αντίστοιχη απώλεια πρωτογενούς ενέργειας για τον υπο-τομέα. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του αντίστοιχου λόγου $R_{power,k,s}$ ή $R_{thermal,k,s}$, τόσο μεγαλύτερη είναι η περίσσεια ποσότητα της παραγόμενης από ΣΗΘ ενέργειας και κατ' επέκταση η επιδείνωση του δείκτη.

3η. $R_{power,k,s}$ ή $R_{thermal,k,s} = 0$: Στην περίπτωση αυτή, η ποσότητα ηλεκτρισμού και θερμότητας που παράγεται από ΣΗΘ, για το κάθε σενάριο, είναι και η πραγματική ποσότητα ηλεκτρισμού και θερμότητας που καταναλώνεται στον υπο-τομέα s . Δεν χρειάζεται η εισαγωγή επιπλέον ενέργειας ούτε και παράγεται περίσσεια ενέργειας. Τότε επιτυγχάνεται το υψηλότερο ποσοστό εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας. Ωστόσο, η πλήρης ταύτιση των παραγόμενων ποσοτήτων ενέργειας με τις αντίστοιχες καταναλισκόμενες ποσότητες, είναι ιδανική περίπτωση.

Σε κάθε περίπτωση, σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας», αυτός είναι συνάρτηση των λόγων «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» των τεχνολογιών ΣΗΘ και «καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα» του υπο-τομέα s και των θερμοδυναμικών αποδόσεων των τεχνολογιών ΣΗΘ και «αναφοράς»⁴⁹ και μπορεί επίσης να εκτιμηθεί από τις εξισώσεις (5.4) και (5.5) ανάλογα με το σενάριο διεξόδου της ΣΗΘ.

«Power match» σενάριο:

$$PESind_{chp,k,s} = 1 - \frac{f_{chp,elec} + \Omega_{H,k} \cdot \frac{f_{ref,H}}{PHR_{k,s}} - \Omega_{H,k} \cdot \frac{f_{ref,H}}{PHR_{chp}}}{f_{ref,elec} + \frac{f_{ref,H}}{PHR_{k,s}}} \quad (5.4)$$

«Thermal match» σενάριο:

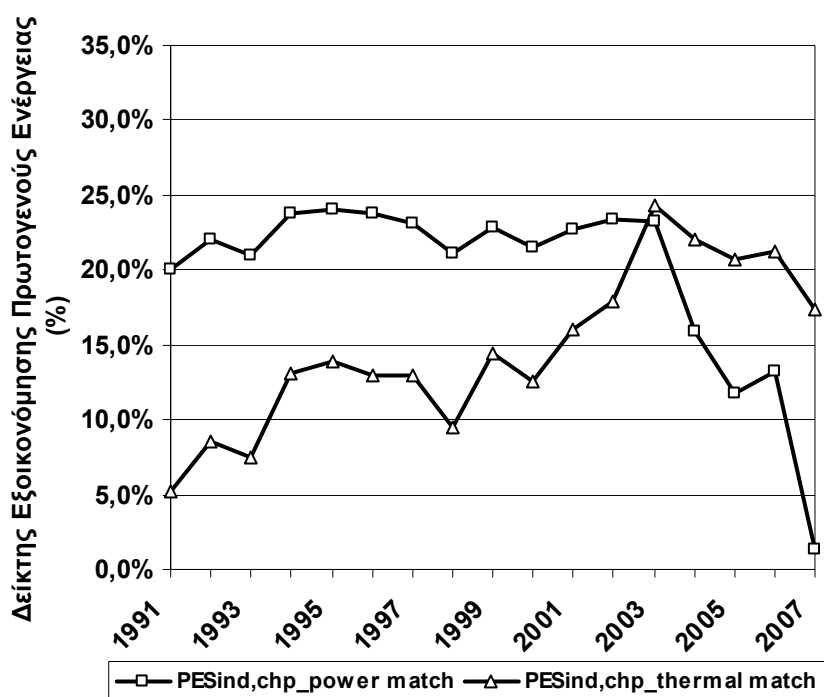
$$PESind_{chp,k,s} = 1 - \frac{f_{chp,H} + \Omega_{elc,k} \cdot PHR_{k,s} \cdot f_{ref,elc} - \Omega_{elc,k} \cdot PHR_{chp} \cdot f_{ref,elc}}{PHR_{k,s} \cdot f_{ref,elc} + f_{ref,H}} \quad (5.5)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις, $\Omega_{H,k}$ ή $\Omega_{elc,k}$ είναι η επιπλέον ποσότητα ηλεκτρισμού ή θερμότητας που εισάγεται στον υπο-τομέα και που προέρχεται από χωριστή παραγωγή όταν η ΣΗΘ δεν επαρκεί, προς την επιπλέον αντίστοιχη ποσότητα ενέργειας που χρειάζεται ο υπο-τομέας για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών. Όταν $R_{power,k,s} > 0$ ή $R_{thermal,k,s} > 0$, τότε $\Omega_{H,k} = 1$ ή $\Omega_{elc,k} = 1$. Στην περίπτωση που η ΣΗΘ καλύπτει πλήρως τις ενεργειακές ανάγκες του υπο-τομέα, $R_{power,k,s} \leq 0$ ή $R_{thermal,k,s} \leq 0$, τότε $\Omega_{H,k} = 0$ ή $\Omega_{elc,k} = 0$.

Τα αποτελέσματα της μεταβολής του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» ($PESind_{chp,k,s}$), στον βιομηχανικό υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, πα-

⁴⁹ Οι οποίες εκφράζονται από τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής f_{chp} και f_{ref}

ρουσιάζονται στο Διάγραμμα 5.18 και ερμηνεύονται σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, με τη βοήθεια του Πίνακα 5.5, ανά εξεταζόμενο σενάριο.



Διάγραμμα 5.18 Δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, από το 1991 έως το 2007, για τα σενάρια «*power match*» και «*thermal match*».

Στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού και αναφορικά με το σενάριο «*power match*», η ποσότητα της παραγόμενης θερμότητας από ΣΗΘ, δεν επαρκεί από το 1991 έως το 2002 ($R_{power,k,s} > 0$). Αντίθετα, από το 2003 έως το 2007, αυτή υπερβαίνει τις ανάγκες του υπο-τομέα σε θερμότητα ($R_{power,k,s} < 0$).

Σχετικά με το σενάριο «*thermal match*», περίσσεια ποσότητα ηλεκτρισμού από ΣΗΘ, παράγεται από το 1991 έως το 2002 ($R_{thermal,k,s} < 0$). Από το 2003 έως το 2007, επιπλέον ποσότητα ηλεκτρισμού εισάγεται στον υπο-τομέα, καθώς η αντίστοιχη παραγόμενη από ΣΗΘ ποσότητα δεν επαρκεί.

Το αποτέλεσμα της μεταβολής του συντελεστή μετατροπής ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό «αναφοράς» και των λόγων R στη μεταβολή του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» αλληλεπικαλύπτονται.

Πίνακας 5.5 Μεταβολή του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υποτομέα τροφίμων, ποτού & καπνού και οι αντίστοιχες μεταβολές των παραμέτρων που υπόκεινται αυτού 1991 έως το 2007.

Έτος	$f_{ref,elec}$	«Power match»		«Thermal match»	
		$PESind_{chp,k,s}$ (%)	$R_{power,k,s}^a$ (%)	$PESind_{chp,k,s}$ (%)	$R_{thermal,k,s}^a$ (%)
1991	2,6	20,1	97	5,2	-49
1992	2,7	22,0	85	8,5	-46
1993	2,6	21,0	84	7,5	-46
1994	2,7	23,8	62	13,1	-38
1995	2,7	24,1	59	13,9	-37
1996	2,7	23,7	63	12,9	-39
1997	2,6	23,1	57	12,9	-36
1998	2,5	21,1	67	9,5	-40
1999	2,5	22,9	45	14,4	-31
2000	2,4	21,5	47	12,6	-32
2001	2,4	22,7	33	16,1	-25
2002	2,4	23,4	26	17,9	-21
2003	2,3	23,2	-4	24,4	4
2004	2,3	15,9	-21	22,0	27
2005	2,3	11,7	-29	20,7	41
2006	2,3	13,3	-26	21,2	36
2007	2,3	1,3	-47	17,4	88

^a: (+), επιπλέον ενέργεια εισάγεται, (-), περίσσεια ενέργειας από ΣΗΘ κατασπαταλείται

Η τιμή του δείκτη, είναι θετική για όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο και για τα δύο εξεταζόμενα σενάρια: κατά συνέπεια, εάν ο σχεδιασμός της ΣΗΘ στον υποτομέα των τροφίμων, είχε πραγματοποιηθεί από το 1991, έτσι ώστε η ετήσια κατανάλωσή του σε ηλεκτρισμό ή θερμότητα να παράγεται εξ' ολοκλήρου από ΣΗΘ, θα εξοικονομούνταν οι αντίστοιχες ποσότητες πρωτογενούς ενέργειας. Ωστόσο, και για τα δύο σενάρια, στην περίπτωση που παράγεται περίσσεια ενέργειας από ΣΗΘ, για συγκεκριμένα έτη, η αντίστοιχη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για τον υποτομέα είναι μικρότερη του 10%⁵⁰.

⁵⁰ Η ΣΗΘ θεωρείται αποδοτική όταν η αντίστοιχη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας είναι μεγαλύτερη του 10% [EU Directive 2007/74/EC].

Αναλυτικότερα και σχετικά με το σενάριο «*power match*», η μεταβολή του δείκτη στις περισσότερες περιπτώσεις συμβαδίζει με τις αντίστοιχες μεταβολές του λόγου $R_{power,k,s}$. Ο δείκτης βελτιώνεται, όσο οι αντίστοιχες ποσότητες της επιπλέον θερμότητας που εισάγεται στον υπο-τομέα, ή της περίσσειας θερμότητας που κατασπαταλείται, μειώνονται (μείωση της απόλυτης τιμής του αντίστοιχου λόγου $R_{power,k,s}$ στον Πίνακα 5.5). Ωστόσο, τα έτη 1993 και 1997, το αποτέλεσμα της μεταβολής του συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» για τον ηλεκτρισμό, υπερτερεί του αποτελέσματος της μεταβολής του αντίστοιχου λόγου $R_{power,k,s}$ στη μεταβολή του δείκτη. Σ' αυτά τα έτη, αν και η τιμή του λόγου $R_{power,k,s}$ μειώνεται (άρα και η αντίστοιχη επιπλέον ποσότητα θερμότητας που εισάγεται στον υπο-τομέα), ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» επιδεινώνεται λόγω της αντίστοιχης μείωσης στην τιμή του συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» για τον ηλεκτρισμό (η οποία μεταφράζεται σε αποδοτικότερη μετατροπή των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό στους κεντρικούς θερμικούς σταθμούς). Επιπλέον, από το 1994 έως το 1996, οι τιμές του συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» για τον ηλεκτρισμό (2,7), αντιστοιχούν στον χαμηλότερο αντίστοιχο βαθμό θερμοδυναμικής απόδοσης. Γι' αυτό, την παραπάνω χρονική περίοδο, οι τιμές του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας», είναι υψηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές του για τη χρονική περίοδο 1997-2002, παρά της γενικότερης τάσης προς μείωση των τιμών του λόγου $R_{power,k,s}$ που παρατηρείται από το 1997 έως το 2002. Η μεγαλύτερη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, παρατηρείται το 1995 (τιμή του αντίστοιχου δείκτη, $PESind_{chp,1995,s}$: 24,1%). Γενικότερα, ο δείκτης παρουσιάζει τάση προς επιδείνωση, καθώς οι θερμικές ανάγκες του υπο-τομέα τροφίμων μειώνονται στο χρόνο ενώ αυξάνεται η κατανάλωση ηλεκτρισμού και αντίστοιχα η περίσσεια της παραγόμενης από ΣΗΘ θερμότητας.

Στο σενάριο «*thermal match*», ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» βελτιώνεται όσο μειώνεται η ποσότητα της περίσσειας ηλεκτρισμού από ΣΗΘ, η οποία αφορά σε αντίστοιχη απώλεια πρωτογενούς ενέργειας για τον υπο-τομέα των τροφίμων (μείωση της απόλυτης τιμής του λόγου $R_{thermal,k,s}$). Σε αντίθεση με το προηγούμενο σενάριο, όταν παράγεται περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας από ΣΗΘ (αντίστοιχη τιμή του λόγου $R_{thermal,k,s} < 0$), η μεταβολή της υπερिशχύει της μεταβολής του αντίστοιχου συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» στην τελική διαμόρφωση του δείκτη. Η βέλτιστη τιμή του δείκτη, παρατηρείται το έτος 2003 ($PESind_{CHP,2003,s}$: 24,4%). Το συγκεκριμένο έτος, δεν αντιστοιχεί σε απώλειες πρωτογενούς ενέργειας και ταυτόχρονα η επιπλέον ποσότητα ηλεκτρισμού που απαιτείται για την κάλυψη

των αναγκών του υπο-τομέα και προέρχεται από χωριστή παραγωγή είναι η μικρότερη της εξεταζόμενης χρονοσειράς ($R_{thermal,2003,s}$: 4%, Πίνακας 5.5). Ωστόσο, από το 2003 και έπειτα ο δείκτης επιδεινώνεται καθώς ο παραγόμενος από ΣΗΘ ηλεκτρισμός μειώνεται σε αντιστοιχία με τη μείωση των αναγκών σε θερμότητα του υπο-τομέα τροφίμων. Κατά συνέπεια, δεν καλύπτονται οι ολοένα και αυξανόμενες ανάγκες σε ηλεκτρισμό του υπο-τομέα τροφίμων από τη ΣΗΘ.

5.3.2. Παρουσίαση και ανάλυση του Δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ

Ο δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας», αφορά στην συνολική πρωτογενή ενέργεια που εξοικονομείται όταν οι πλεονάζουσες ποσότητες ενέργειας από την ΣΗΘ του υπο-τομέα τροφίμων διατίθενται προς κατανάλωση σε άλλους (υπο)-τομείς της οικονομίας. Κατά συνέπεια, εκτιμάται μόνο για τα έτη που οι τιμές του αντίστοιχου λόγου R για το κάθε σενάριο είναι αρνητικές.

Οι τιμές του δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας», $TPES_{indchp,k,s}$, καθορίζονται από τις αντίστοιχες θερμοδυναμικές αποδόσεις των τεχνολογιών ΣΗΘ και «αναφοράς» και από το ποσοστό της συνολικής ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘ και χρησιμοποιείται στον υπο-τομέα των τροφίμων και εκτός αυτού.

Οι ετήσιες τιμές των αντίστοιχων λόγων R για το κάθε σενάριο, εκφράζουν το μεγαλύτερο ποσοστό της αντίστοιχης ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτός του υπο-τομέα των τροφίμων. Εάν το ποσοστό αυτό ορίζεται ως X , τότε:

α). Για το σενάριο «*power match*», για τις τιμές του ποσοστού ηλεκτρισμού από ΣΗΘ που χρησιμοποιείται εκτός του υπο-τομέα ισχύει ότι, $0 \leq X_{H,k} \leq -R_{power,k,s}$.

β). Αντίστοιχα για το σενάριο «*thermal match*», ισχύει ότι $0 \leq X_{elc,k} \leq -R_{thermal,k,s}$.

Οι ετήσιες νέες απώλειες πρωτογενούς ενέργειας για το κάθε σενάριο (R'), ανάλογα με τη διάθεση της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ εκτός του εξεταζόμενου υπο-τομέα, εκτιμώνται με βάση τις ακόλουθες εξισώσεις.

$$R'_{power,k,s} = \frac{PHR_{chp}}{PHR_{k,s}} - 1 + X_{H,k} \quad (5.6)$$

$$R'_{thermal,k,s} = \frac{PHR_{k,s}}{PHR_{chp}} - 1 + X_{elc,k} \quad (5.7)$$

Όσο υψηλότερη είναι η τιμή του αντίστοιχου ποσοστού X , τόσο μειώνονται οι αντίστοιχες απώλειες πρωτογενούς ενέργειας και βελτιώνεται η τιμή του δείκτη. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού, και αναφορικά με το σενάριο «*power match*» ισχύει ότι $X_{H,k} = 0$ και $R'_{power,k,s} = R_{power,k,s}$. Για το σενάριο «*thermal match*» ισχύει ότι $X_{el,k} = 20\%$ και $R'_{thermal,k,s} \neq R_{thermal,k,s}$.

Οι τιμές των ποσοστών Y και Z των εξισώσεων (3.24) και (3.25) που αναφέρονται στην περιγραφή της μεθοδολογίας (Υπο-Κεφάλαιο 3.3.1) εκτιμώνται με βάση το ποσοστό X και τις τιμές των λόγων R και R' . Για το σενάριο «*power match*» ισχύει ότι $Y_{H,k} = X_{H,k} / -R_{power,k,s}$ και $Z_{H,k} = 1 + R'_{power,k,s}$ ενώ για το σενάριο «*thermal match*» ισχύει ότι $Y_{EL,k} = X_{EL,k} / -R_{thermal,k,s}$ και $Z_{EL,k} = 1 + R'_{thermal,k,s}$. Όταν το ποσοστό X , είναι ίσο με τη μέγιστη τιμή του, τότε τα αντίστοιχα ποσοστά Y και Z ισούνται με τη μονάδα και τελικά χρησιμοποιείται όλη η αντίστοιχη ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ.

Οι τιμές του δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» και οι αντίστοιχες τιμές των λόγων R' και των ποσοστών Z , παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6, για το κάθε σενάριο.

Για το σενάριο «*power match*» οι τιμές των δύο δεικτών $TPESind_{chp,k,s}$ και $PESind_{chp,k,s}$ είναι ίδιες γιατί η περίσσεια θερμότητας που παράγεται από ΣΗΘ από το 2003 έως το 2007, δεν χρησιμοποιείται.

Για το σενάριο «*thermal match*» οι τιμές του δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» κυμαίνονται μεταξύ 17% το έτος 1991 έως και 26% το έτος 2002 κατά το οποίο τελικά χρησιμοποιείται το 99% του παραγόμενου από ΣΗΘ ηλεκτρισμού.

Πίνακας 5.6 Μεταβολή του δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω διείσδυσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού και οι αντίστοιχες μεταβολές των παραμέτρων που υπόκεινται αυτού από το 1991 έως το 2007.

Έτος	$f_{ref,elec}$	«Power match»			«Thermal match»		
		$TPESind_{chp,k,s}$ (%)	$R'_{power,k,s}$ (%)	$Z_{H,k}$ (%)	$TPESind_{chp,k,s}$ (%)	$R'_{thermal,k,s}$ (%)	$Z_{elec,k}$ (%)
1991	2,6	-	-	-	17	-29	71
1992	2,7	-	-	-	20	-26	74
1993	2,6	-	-	-	19	-26	74
1994	2,7	-	-	-	23	-18	82
1995	2,7	-	-	-	24	-17	83
1996	2,7	-	-	-	23	-19	81
1997	2,6	-	-	-	23	-16	84
1998	2,5	-	-	-	20	-20	80
1999	2,5	-	-	-	24	-11	89
2000	2,4	-	-	-	22	-12	88
2001	2,4	-	-	-	25	-5	95
2002	2,4	-	-	-	26	-1	99
2003	2,3	23,2	-4	96	-	-	-
2004	2,3	15,9	-21	79	-	-	-
2005	2,3	11,7	-29	71	-	-	-
2006	2,3	13,3	-26	74	-	-	-
2007	2,3	1,3	-47	53	-	-	-

5.3.3. Ανάλυση Ευαισθησίας

Αρχικά, εξετάζεται η μεταβολή του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού ως αποτέλεσμα της μεταβολής μόνο των τιμών του λόγου R . Ο δείκτης επανεκτιμήθηκε, για σταθερή τιμή του συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» για τον ηλεκτρισμό, ίση με 2,3, η οποία αντιστοιχεί στη βέλτιστη θερμοδυναμική απόδοση για την ηλεκτροπαραγωγή σε όλη την εξεταζόμενη χρονική περίοδο 1991 – 2007. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.7 και είναι σαφές ότι οι τιμές του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέρ-

γεια» μεταβάλλονται αντίστοιχα με τις αυξομειώσεις του λόγου R για το κάθε σενάριο όπως περιγράφηκε στο παραπάνω Υπο-Κεφάλαιο 5.3.1. Συγκεκριμένα, ο δείκτης επιδεινώνεται όταν αυξάνονται οι απώλειες ενέργειας στη ΣΗΘ ή όταν η ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ δεν επαρκεί και χρησιμοποιούνται βοηθητικά λέβητες παραγωγής θερμότητας ή ο ηλεκτρισμός του δικτύου, ανάλογα με το σενάριο.

Πίνακας 5.7 Δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, υπό σταθερό συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρισμό					
Έτος	$f_{ref,elec}$	«Power match»		«Thermal match»	
		$PE\text{Sind}_{chp,k,s}$ (%)	$R_{power,k,s}^a$ (%)	$PE\text{Sind}_{chp,k,s}$ (%)	$R_{thermal,k,s}^a$ (%)
1991	2,3	16,7	97	1,1	-49
1992	2,3	17,4	85	3,1	-46
1993	2,3	17,4	84	3,3	-46
1994	2,3	18,9	62	7,5	-38
1995	2,3	19,1	59	8,3	-37
1996	2,3	18,8	63	7,3	-39
1997	2,3	19,3	57	8,6	-36
1998	2,3	18,6	67	6,6	-40
1999	2,3	20,2	45	11,4	-31
2000	2,3	20,1	47	11,1	-32
2001	2,3	21,3	33	14,6	-25
2002	2,3	21,9	26	16,3	-21
2003	2,3	23,2	-4	24,4	4
2004	2,3	15,9	-21	22,0	27
2005	2,3	11,7	-29	20,7	41
2006	2,3	13,3	-26	21,2	36
2007	2,3	1,3	-47	17,4	88

^a: (+), επιπλέον ενέργεια εισάγεται, (-), περίσσεια ενέργειας από ΣΗΘ κατασπαταλείται

Επιπρόσθετα, η ευαισθησία του δείκτη είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των απωλειών ενέργειας συγκριτικά με την περίπτωση που η επιπλέον ενέργεια προέρχεται από χωριστή παραγωγή. Συγκεκριμένα, από το 1991 έως το 2002, για το σενάριο «power match», η ποσότητα επιπλέον θερμότητας που προέρχεται από χωριστή παραγωγή (αντίστοιχη τιμή του λόγου $R > 0$) μειώνεται κατά 71% και ο δείκτης βελτιώ-

νεται μόνο κατά 5,2%. Αντίθετα, για το σενάριο «*thermal match*» και για την ίδια χρονική περίοδο, οι απώλειες πρωτογενούς ενέργειας μειώνονται κατά 28% και ο δείκτης βελτιώνεται κατά 18,9%.

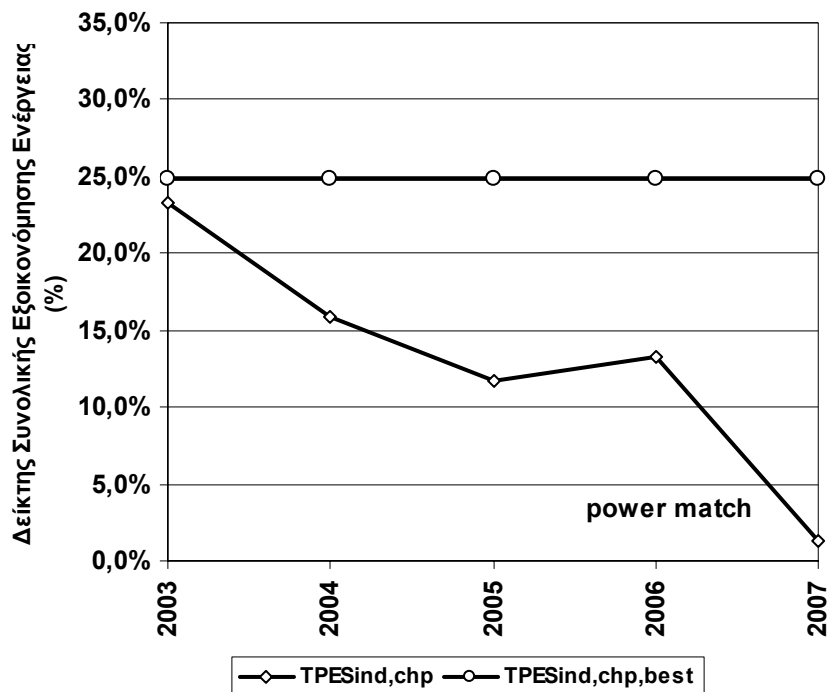
Στη συνέχεια, εξετάζεται η μεταβολή του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στο επίπεδο του υπο-τομέα τροφίμων, ως αποτέλεσμα μόνο της μεταβολής των θερμοδυναμικών αποδόσεων. Εάν για κάθε έτος, οι παραγόμενες ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας από ΣΗΘ, ταυτίζονται με την ζήτηση σε ηλεκτρισμό και θερμότητα στον υπο-τομέα των τροφίμων, τότε αφού δεν παράγεται ούτε και εισάγεται επιπλέον ενέργεια οι τιμές του λόγου R είναι μηδέν. Υπό την παραπάνω παραδοχή επανεκτιμήθηκε ο δείκτης «Πρωτογενούς Εξοικονόμησης Ενέργειας» στον υπο-τομέα των τροφίμων και εξετάστηκε η ευαισθησία του στις μεταβολές των συντελεστών μετατροπής «αναφοράς»⁵¹ για τον ηλεκτρισμό. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.9, ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας», μεταβάλλεται μεταξύ 1% και 2% όταν ο συντελεστής μετατροπής «αναφοράς» για τον ηλεκτρισμό μεταβάλλεται κατά 0.1 της μονάδας. Επιπρόσθετα, οι τιμές του δείκτη, υπό την προϋπόθεση ότι οι αντίστοιχες τιμές του λόγου R είναι μηδέν είναι οι βέλτιστες δυνατές για το κάθε έτος. Στην περίπτωση αυτή, ο δείκτης «Εξοικονόμησης πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ, ισούται με τον δείκτη «Σχετικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ, που προτείνεται για την αξιολόγηση της ΣΗΘ από την Ευρωπαϊκή νομοθεσία και εκτιμάται από την εξίσωση (2.10) του Υπο-Κεφαλαίου 2.2.2.2.

⁵¹ Οι αντίστοιχοι για την μετατροπή των ορυκτών καυσίμων σε θερμότητα και για τις τεχνολογίες ΣΗΘ, παραμένουν σταθερές.

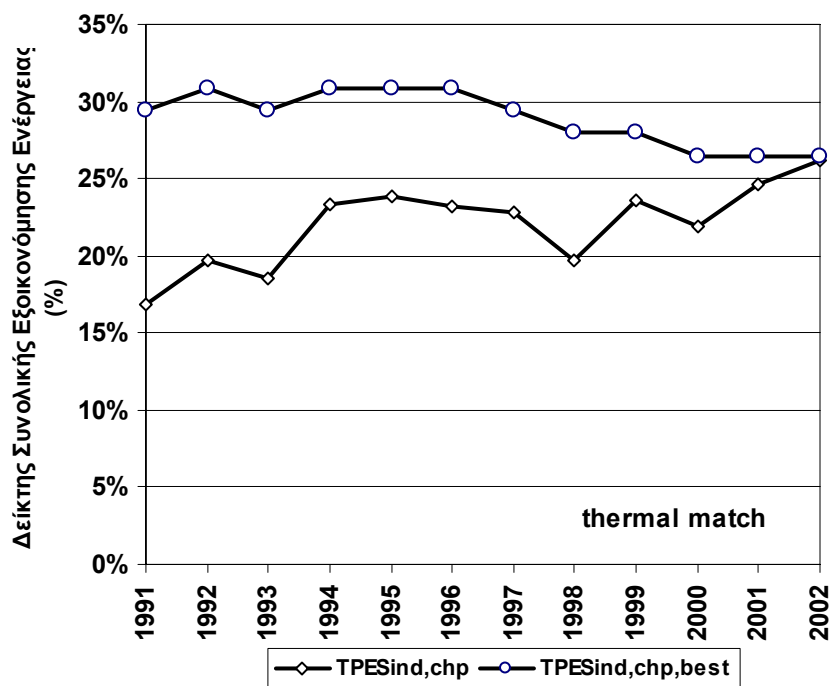
Πίνακας 5.8 Μεταβολή του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας», όταν δεν εισάγεται ούτε παράγεται επιπλέον ενέργεια (R ή $R' = 0$) από το 1991 έως το 2007.

Έτος	$f_{ref,elec}$	$PE\text{Sind}_{chp,k,s}$ (%)
1991	2,6	29
1992	2,7	31
1993	2,6	29
1994	2,7	31
1995	2,7	31
1996	2,7	31
1997	2,6	29
1998	2,5	28
1999	2,5	28
2000	2,4	26
2001	2,4	26
2002	2,4	26
2003	2,3	25
2004	2,3	25
2005	2,3	25
2006	2,3	25
2007	2,3	25

Τέλος, εκτιμάται η τιμή του δείκτη «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω διείσδυσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα των τροφίμων, όταν τελικά χρησιμοποιείται όλη η περίσσεια ενέργειας από ΣΗΘ και για τα συγκεκριμένα έτη δηλ. όταν η τιμή του αντίστοιχου λόγου R για το κάθε σενάριο είναι αρνητική και το ποσοστό Z είναι μονάδα. Τα αποτελέσματα, παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 5.19 και 5.20 για το σενάριο «*power match*» και «*thermal match*» αντίστοιχα. Σύμφωνα, με αυτά, ο δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» βελτιώνεται από 2% το 2003 έως και 24% το 2007, για το «*power match*» σενάριο, όταν τελικά χρησιμοποιείται όλη η περίσσεια θερμότητας από ΣΗΘ και εκτός του υπο-τομέα τροφίμων. Η αντίστοιχη βελτίωση του δείκτη για το «*thermal match*» σενάριο, είναι από 13% το 1991 έως και 0,3% το 2002. Η βέλτιστη τιμή του δείκτη, ισούται και σ' αυτήν την περίπτωση, με την τιμή του δείκτη «Σχετικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» λόγω ΣΗΘ (εξίσωση (2.10), Υπο-Κεφάλαιο 2.2.2.2).



Διάγραμμα 5.19 Δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» και βέλτιστη τιμή του δείκτη, λόγω διεύθυνσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού σύμφωνα με το «*power match*» σενάριο.



Διάγραμμα 5.20 Δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» και βέλτιστη τιμή του δείκτη, λόγω διεύθυνσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα των τροφίμων, ποτού & καπνού σύμφωνα με το «*thermal match*» σενάριο.

5.3.4. Καταλληλότητα εφαρμογής του Μοντέλου στη βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού της βιομηχανίας με ΣΗΘ

Στο τρέχον Υπο-Κεφάλαιο, εξετάζεται η δυνατότητα και ευκολία εφαρμογής του δεύτερου άξονα του Μοντέλου για την εκτίμηση των μελλοντικών ετησίων μεταβολών της εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα, όταν ο σχεδιασμός της ΣΗΘ προβλέπει την πλήρη κάλυψη των μελλοντικών του αναγκών σε ηλεκτρισμό ή θερμότητα.

Σύμφωνα με την ανάλυση του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στο επίπεδο βιομηχανικού υπο-τομέα, αυτός σχετίζεται με:

- Το τεχνολογικό επίπεδο «αναφοράς» για την μετατροπή των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό και θερμότητα, που εκφράζεται με τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής «αναφοράς» ($f_{ref,elec}, f_{ref,H}$).
- Το τεχνολογικό επίπεδο της ΣΗΘ και τον τρόπο λειτουργίας των σταθμών που διαμορφώνουν τον λόγο «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» και τους αντίστοιχους συντελεστές μετατροπής ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό και θερμότητα ($PHR_{chp}, f_{chp,elec}, f_{chp,H}$).
- Τις ποσότητες ηλεκτρισμού και θερμότητας που καταναλώνονται σ' έναν υπο-τομέα και εκφράζονται για το κάθε έτος με τον αντίστοιχο λόγο τους ($PHR_{k,s}$).

Η τάση της ετήσιας κατανάλωσης ηλεκτρισμού και θερμότητας ενός υπο-τομέα, σχετίζεται με τον ετήσιο ρυθμό μεταβολής (αύξησης ή μείωσης) της αντίστοιχης ενεργειακής κατανάλωσης. Κατά συνέπεια, οι ετήσιες τιμές του λόγου «καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα», $PHR_{k,s}$, εκφράζονται ως συνάρτηση της τιμής του παραπάνω λόγου στο πρώτο έτος λειτουργίας των σταθμών ΣΗΘ, $PHR_{1,s}$, και του ετήσιου ρυθμού μεταβολής στην κατανάλωση ηλεκτρισμού και θερμότητας. Υπό την προϋπόθεση, ότι ο παραπάνω ρυθμός είναι σταθερός και ίσος με $r_{elec,s}$ για την κατανάλωση ηλεκτρισμού και $r_{H,s}$ για την κατανάλωση θερμότητας, οι εξισώσεις (5.2), (5.3), (5.6) και (5.7) εκφράζονται και με τις παρακάτω εξισώσεις (5.8) έως (5.11) με τις οποίες προβλέπεται η τάση της μεταβολής του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» για κάθε μελλοντικό έτος, από το 1^ο έτος λειτουργίας των σταθμών ΣΗΘ.

$$R_{power,k,s} = \frac{PHR_{chp}}{PHR_{1,s}} \cdot \left(\frac{r_{H,s}}{r_{elc,s}} \right)^{k-1} - 1 \quad (5.8)$$

$$R_{thermal,k,s} = \frac{PHR_{1,s}}{PHR_{chp}} \cdot \left(\frac{r_{elc,s}}{r_{H,s}} \right)^{k-1} - 1 \quad (5.9)$$

$$R'_{power,k,s} = \frac{PHR_{chp}}{PHR_{1,s}} \cdot \left(\frac{r_{H,s}}{r_{elc,s}} \right)^{k-1} - 1 + X_{H,k} \quad (5.10)$$

$$R'_{thermal,k,s} = \frac{PHR_{1,s}}{PHR_{chp}} \cdot \left(\frac{r_{elc,s}}{r_{H,s}} \right)^{k-1} - 1 + X_{elc,k} \quad (5.11)$$

Ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» ανταποκρίνεται στη μεταβολή των παραπάνω λόγων $R_{power,k,s}$ ή $R_{thermal,k,s}$, και $R'_{power,k,s}$ ή $R'_{thermal,k,s}$, όπως έχει ήδη εξηγηθεί στο Υπο-Κεφάλαιο 5.3.1.

Επιπρόσθετα, όταν οι μελλοντικές ανάγκες του υπο-τομέα σε θερμότητα ή ηλεκτρισμού δεν καλύπτονται πλήρως από την ΣΗΘ και χρειάζεται συνεχώς η εισαγωγή επιπλέον αντίστοιχης ενέργεια δηλ. όταν η τιμή των αντίστοιχων λόγων $R_{power,k,s}$ ή $R_{thermal,k,s}$ είναι θετική και με αυξητική τάση, τότε η ποσότητα εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας μειώνεται στο χρόνο. Η χειρότερη πιθανή τιμή του δείκτη είναι μηδέν (0), δηλ. σε καμία περίπτωση δεν κατασπαταλείται πρωτογενής ενέργεια.

Ανάλογα με τις τιμές των αντίστοιχων λόγων R , η τιμή του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» μπορεί να εκτιμηθεί από το πρώτο έτος λειτουργίας των σταθμών ΣΗΘ και για κάθε μελλοντικό έτος k , όταν η ενεργειακή κατανάλωση ενός βιομηχανικού υπο-τομέα μεταβάλλεται με σταθερό ρυθμό, από τις εξισώσεις (5.12) και (5.13) για κάθε σενάριο.

«Power match»

$$PESind_{chp,k,s} = 1 - \frac{f_{chp,elc} + \Omega_{H,k} \frac{f_{ref,H}}{\left(PHR_{1,s} \cdot \left(\frac{r_{elc,s}}{r_{H,s}} \right)^{k-1} \right)} - \Omega_{H,k} \frac{f_{ref,H}}{PHR_{chp}}}{f_{ref,elc} + \frac{f_{ref,H}}{\left(PHR_{1,s} \cdot \left(\frac{r_{elc,s}}{r_{H,s}} \right)^{k-1} \right)}} \quad (5.12)$$

«*Thermal match*»

$$PESind_{chp,k,s} = 1 - \frac{f_{chp,H} + \Omega_{elc,k} \left(PHR_{1,s} \left(\frac{r_{elc,s}}{r_{H,s}} \right)^{k-1} \right) \cdot f_{ref,elc} - \Omega_{elc,k} \cdot PHR_{chp} \cdot f_{ref,elc}}{\left(PHR_{1,s} \cdot \left(\frac{r_{elc,s}}{r_{H,s}} \right)^{k-1} \right) \cdot f_{ref,elc} + f_{ref,H}} \quad (5.13)$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι εξισώσεις (5.8) έως (5.13), χρησιμοποιήθηκαν για να εξεταστεί η τάση και να εκτιμηθούν οι τιμές του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα των τροφίμων, για ένα διάστημα εικοσιπέντε ετών (25) από το πρώτο έτος λειτουργίας των σταθμών ΣΗΘ, όταν ο σχεδιασμός της ΣΗΘ προβλέπει την πλήρη κάλυψη των ετήσιων αναγκών σε ηλεκτρισμό ή θερμότητα του υπο-τομέα για την εξεταζόμενη 25ετία (δηλ. σύμφωνα με τα σενάρια «*power match*» και «*thermal match*») και οι σταθμοί ΣΗΘ θα λειτουργούν στη μέγιστη ένταση. Στην περίπτωση που παράγεται περίσσεια ποσότητα ενέργειας από ΣΗΘ, εκτιμάται και ο δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Ενέργειας» για την περίπτωση που χρησιμοποιείται όλη η περίσσεια ποσότητα ενέργειας. Στην παρούσα ανάλυση αξιολογείται περαιτέρω και η χρήση διαφορετικών τεχνολογιών ΣΗΘ. Συγκεκριμένα, πέραν της χρήσης των αμμοστρόβιλων, εκτιμάται η εν δυνάμει εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και από τη χρήση αεριοστρόβιλων (gas turbines). Ο λόγος «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα», PHR_{chp} , και η θερμοδυναμική απόδοση για τη συνολική παραγωγή ενέργειας των αεριοστρόβιλων, $\eta_{chp,tot}$, όταν αυτοί λειτουργούν στην μέγιστη ένταση, είναι 0,8 και 80% αντίστοιχα. Οι τιμές των συντελεστών μετατροπής της συνολικά παραγόμενης ενέργειας, του ηλεκτρισμού και της θερμότητας των αεριοστρόβιλων είναι $f_{chp,tot}$: 1,3, $f_{chp,elc}$: 2,8, και $f_{chp,H}$: 2,3 αντίστοιχα.

Πρώτο έτος λειτουργίας των σταθμών ΣΗΘ ορίζεται το 2007. Ο δείκτης παρακολουθείται έως και το 2031. Η τιμή του λόγου «καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα», $PHR_{1,s}$, για το 2007 δίνεται στον Πίνακα 4.3 (Υπό-Κεφάλαιο 4.1.2). Ο ετήσιος ρυθμός μεταβολής της κατανάλωσης ηλεκτρισμού $r_{elc,s}$, και θερμότητας, $r_{H,s}$ στον υπο-τομέα, θεωρείται σταθερός και ίσος με τον αντίστοιχο μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής τους που εκτιμήθηκε για την χρονική περίοδο 1991-2007 και επίσης παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3. Η απόδοση «αναφοράς» για τον η-

λεκτρισμό είναι σταθερή και ίση με την βέλτιστη τιμή της για την χρονική περίοδο 1991-2007 (τιμή του αντίστοιχου συντελεστή μετατροπής $f_{ref,elc}$, ίση με 2,3). Η τιμή του αντίστοιχου συντελεστή μετατροπής «αναφοράς» για τη μετατροπή των ορυκτών καυσίμων σε θερμότητα, $f_{ref,H}$, είναι ίση με 1,2.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής παρουσιάζονται στους Πίνακες 5.8 και 5.9. Σύμφωνα με αυτά προέκυψε ότι:

Εάν ο σχεδιασμός της ΣΗΘ προβλέπει την πλήρη κάλυψη της κατανάλωσης ηλεκτρισμού στον υπο-τομέα για την εξεταζόμενη 25ετία (*power match*), τότε θα παράγεται περίσσεια ποσότητα θερμότητας η οποία θα αυξάνεται συνεχώς ($R_{power,k,s} < 0$), καθώς η τάση της κατανάλωσης θερμότητας στον υπο-τομέα μειώνεται ($r_H = -1\%$). Κατά συνέπεια, ο δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» θα επιδεινώνεται.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ατμοστρόβιλοι στους σταθμούς ΣΗΘ, θα εξοικονομηθεί πρωτογενής ενέργεια μόνο κατά το πρώτο έτος λειτουργίας των σταθμών ίση με 1%. Από το δεύτερο έτος λειτουργίας αυτών και μετά, παρατηρείται αύξηση των αντίστοιχων απωλειών πρωτογενούς ενέργειας ($R_{power,2008,s} = -51\%$) και οι τιμές του δείκτη είναι αρνητικές.

Εάν χρησιμοποιηθούν αεριοστρόβιλοι, οι οποίοι έχουν υψηλότερο λόγο «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα», θα παράγεται μικρότερη ποσότητα περίσσειας θερμότητας από ΣΗΘ. Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας θα είναι μεγαλύτερη. Συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή του δείκτη, κατά το πρώτο έτος λειτουργίας των σταθμών θα είναι 21%. Ωστόσο, ο δείκτης θα έχει αρνητικές τιμές από το δωδέκατο έτος λειτουργίας των σταθμών και μετά ($R_{thermal,2018,s} = -67\%$).

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται όλη η περίσσεια της παραγόμενης θερμότητας και εκτός του υπο-τομέα τροφίμων, τότε εκτιμάται ο δείκτης «Συνολικής Εξοικονόμησης Ενέργειας». Οι τιμές του δείκτη είναι σταθερές για όλη την εξεταζόμενη 25ετία, αφού οι αντίστοιχες θερμοδυναμικές αποδόσεις διατηρούνται σταθερές και για κάθε έτος χρησιμοποιείται όλη η παραγόμενη από ΣΗΘ θερμότητα. Αυτές είναι 25% όταν χρησιμοποιούνται ατμοστρόβιλοι. Η τιμή του δείκτη βελτιώνεται στα 26% όταν χρησιμοποιούνται αεριοστρόβιλοι, λόγω της αποδοτικότερης μετατροπής των ορυκτών καυσίμων σε ηλεκτρισμό συγκριτικά με τη χρήση ατμοστροβίλων.

Εάν, ο σχεδιασμός της ΣΗΘ προβλέπει την πλήρη κάλυψη της κατανάλωσης θερμότητας στον υπο-τομέα για την εξεταζόμενη 25ετία (*thermal match*), τότε ο παραγόμενος από ΣΗΘ ηλεκτρισμός δεν θα επαρκεί για τις ανάγκες του υπο-τομέα. Όλο

και περισσότερος ηλεκτρισμός θα χρειάζεται να εισαχθεί στον υπο-τομέα ($R_{thermal,k,s} > 0$), καθώς η τάση της κατανάλωσης του αυξάνεται ($r_{elc} = 8\%$), επομένως και η τιμή του δείκτη θα επιδεινώνεται. Ωστόσο, η ενσωμάτωση της ΣΗΘ σύμφωνα με αυτό το σενάριο, θα επιφέρει μόνο εξοικονόμηση και σε καμία περίπτωση κατασπατάληση ενέργειας. Εάν χρησιμοποιηθούν ατμοστρόβιλοι, θα εξοικονομηθούν ποσότητες πρωτογενούς ενέργειας από 17% έως και 3% από το 2007 έως και το 2031 αντίστοιχα. Η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας θα είναι μεγαλύτερη εάν χρησιμοποιηθούν αεριοστρόβιλοι, καθώς θα παράγεται περισσότερος ηλεκτρισμός από ΣΗΘ, λόγω του υψηλότερου λόγου «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» της συγκεκριμένης τεχνολογίας. Οι τιμές του δείκτη θα είναι 24% και 4% από το 2007 έως το 2031 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.9 Δείκτες «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, και «Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» από το 2007 έως το 2031.

<i>Power match</i> – Η περίσσεια θερμότητας δεν χρησιμοποιείται ST: $PHR_{chp}: 0,5, f_{chp,tot}: 1,2, f_{chp,elec}: 3,5, f_{chp,H}: 1,8$				<i>Power match</i> – Χρησιμοποιείται όλη η περίσσεια θερμότητας ST: $PHR_{chp}: 0,5, f_{chp,tot}: 1,2, f_{chp,elec}: 3,5, f_{chp,H}: 1,8$			
k_{best}	$PESind_{chp,k,s}$ (%)	k_{neg}	$PESind_{chp,k,s}$ (%)	k	$TPESind_{chp,k,s}$ (%)	k	$TPESind_{chp,k,s}$ (%)
1 st	1	2 nd (a)	-2	1 st	25	25 th	25
<i>Power match</i> – Η περίσσεια θερμότητας δεν χρησιμοποιείται GT: $PHR_{chp}: 0,8, f_{chp,tot}: 1,3, f_{chp,elec}: 2,8, f_{chp,H}: 2,3$				<i>Power match</i> – Χρησιμοποιείται όλη η περίσσεια θερμότητας GT: $PHR_{chp}: 0,8, f_{chp,tot}: 1,3, f_{chp,elec}: 2,8, f_{chp,H}: 2,3$			
k_{best}	$PESind_{chp,k,s}$ (%)	k_{neg}	$PESind_{chp,k,s}$ (%)	k	$TPESind_{chp,k,s}$ (%)	k	$TPESind_{chp,k,s}$ (%)
1 st	21	12 th (a)	-1	1 st	26	25 th	26

^a: πρώτο έτος στο οποίο παρατηρείται αρνητική τιμή του δείκτη

Πίνακας 5.10 Δείκτης «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού από το 2007 έως το 2031.

<i>Thermal match</i> – Δεν παράγεται περίσσεια ποσότητα ηλεκτρισμού ST: $PHR_{chp}: 0,5, f_{chp,tot}: 1,2, f_{chp,elec}: 3,5, f_{chp,H}: 1,8$				<i>Thermal match</i> – Δεν παράγεται περίσσεια ποσότητα ηλεκτρισμού GT: $PHR_{chp}: 0,8, f_{chp,tot}: 1,3, f_{chp,elec}: 2,8, f_{chp,H}: 2,3$			
k_{best}	$PESind_{chp,k,s}$ (%)	k_{worst}	$PESind_{chp,k,s}$ (%)	k_{best}	$PESind_{chp,k,s}$ (%)	k_{worst}	$PESind_{chp,k,s}$ (%)
1 st	17	25 th	3	1 st	24	25 th	4

Το προτεινόμενο πλαίσιο που αφορά στον δεύτερο άξονα του Μοντέλου, μπορεί να εφαρμοστεί με ευκολία για τον ενεργειακό σχεδιασμό με ΣΗΘ σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα. Επιπλέον, μπορούν να ενσωματωθούν σε αυτό, διαφορετικά σενάρια αναφορικά με τη διάθεση της περίσσειας ενέργειας και τη χρήση διαφορετικών τεχνολογιών ΣΗΘ και να αξιολογηθούν ως προς την βέλτιστη χρήση των ενεργειακών πόρων. Το πλαίσιο, μπορεί επίσης να εφαρμοστεί σε επίπεδο βιομηχανικής μονάδας αλλά και σε επίπεδο καταναλωτικού τομέα, όταν η κατανάλωση ηλεκτρισμού και θερμότητας στην κάθε περίπτωση είναι γνωστή ή μπορεί να εκτιμηθεί.

Από την εφαρμογή προέκυψε ότι το βέλτιστο σενάριο διείσδυσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα των τροφίμων, είναι το σενάριο «*power match*», όταν όμως χρησιμοποιείται όλη η περίσσεια θερμότητας. Επιπλέον, η τεχνολογία ΣΗΘ της οποίας τα τεχνικά χαρακτηριστικά προσαρμόζονται καλύτερα στις ενεργειακές ανάγκες του υπο-τομέα τροφίμων και επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας είναι οι αεριοστρόβιλοι. Η χρήση όμως της περίσσειας θερμότητας από ΣΗΘ, είναι πολύπλοκη διαδικασία γιατί η αποθήκευσή της είναι δύσκολη και είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται άμεσα. Αυτή θα μπορούσε ενδεχομένως να διατεθεί μέσω δικτύου για την κάλυψη των αναγκών σε θερμότητα πλησίον εγκαταστάσεων διαφορετικού καταναλωτικού τομέα, π.χ. για την τηλεθέρμανση πλησίον οικισμών.

Πέραν των περιβαλλοντικών οφελών από την εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας από ΣΗΘ, η βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων πόρων διασφαλίζει και την οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης για το κάθε σενάριο. Η υφιστάμενη νομοθεσία μπορεί να διαμορφωθεί αναλόγως, με την αύξηση του ποσοστού της πλεονάζουσας ποσότητας ηλεκτρισμού από ΣΗΘ που μπορεί να διατεθεί στο δίκτυο και επιπρόσθετα με τη διαμόρφωση των κατάλληλων οικονομικών κινήτρων προς διευκόλυνση των αυτοπαραγωγών (π.χ. κατάλληλη διαμόρφωση τιμολογίων ενέργειας).

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διατριβή εξετάστηκαν:

- Οι βασικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την Σύνθεση και Αποδόμηση ενεργειακών δεικτών.
- Οι χρησιμοποιούμενοι δείκτες και οι αντίστοιχες μεθοδολογίες για την παρακολούθηση και ανάλυση της ενεργειακής απόδοσης και της ενεργειακής κατανάλωσης στη βιομηχανία.
- Τα βασικά ζητήματα που αφορούν στην Κατανεμημένη Παραγωγή και διαμορφώνουν τις προϋποθέσεις για την ενσωμάτωσή της στο υφιστάμενο ενεργειακό σύστημα.
- Το ερευνητικό πλαίσιο που αφορά στην Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας και συγκεκριμένα στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των αντίστοιχων επενδύσεων.
- Η εξέλιξη της ενεργειακής κατανάλωσης και της παραγωγής ηλεκτρισμού στην Ελλάδα και ιδιαίτερα στον βιομηχανικό τομέα, και το πλαίσιο της εθνικής ενεργειακής πολιτικής.

Από τα συμπεράσματα της βιβλιογραφικής έρευνας προέκυψε ότι υφίσταται η ανάγκη παρακολούθησης του ενεργειακού συστήματος όσον αφορά στη συμμόρφωσή του με την ενεργειακή πολιτική και την προσαρμογή του στις τεχνολογικές εξελίξεις. Αυτό προϋποθέτει την επιλογή των κατάλληλων δεικτών και μεθόδων για τον σχηματισμό και την αποτίμηση σύνθετων ενεργειακών δεικτών και την ανάδειξη των παραμέτρων που υπόκεινται των μεταβολών τους. Επιπρόσθετα απαιτείται στρατηγική για την ενσωμάτωση της Κατανεμημένης Παραγωγής. Συγκεκριμένα για την Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, η περαιτέρω διείσδυση της προϋποθέτει κατάλληλο πλαίσιο σχεδιασμού όσον αφορά στη διαστασιολόγηση των αντίστοιχων σταθμών, στην επιλογή των τεχνολογιών, στο χρησιμοποιούμενο καύσιμο και στη βέλτιστη χρήση των πόρων.

Στην παρούσα διατριβή, αναπτύχθηκε ένα Δυναμικό Μοντέλο Αναλυτικής Αποδόμησης για την παρακολούθηση και ερμηνεία της μεταβολής ενεργειακών δεικτών λόγω της εισροής καινοτόμων τεχνολογιών στην τελική ενεργειακή χρήση και στην προμήθεια ενέργειας στη βιομηχανία. Το Μοντέλο βασίζεται σε δύο (2) άξονες:

A). Ο πρώτος άξονας αφορά στην ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου, για τον σχηματισμό και την παρακολούθηση ενός σύνθετου δείκτη «Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης» και την ανάλυση της διαμόρφωσης της ενεργειακής χρήσης στην Ελληνική βιομηχανία.

B). Ο δεύτερος άξονας αφορά στην ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας λόγω της διείσδυσης της Συμπαγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας στη βιομηχανία και την χρησιμοποίηση του στη βελτιστοποίηση του ενεργειακού σχεδιασμού.

Οι δύο άξονες του Μοντέλου εφαρμόστηκαν σε συγκεκριμένους υπο-τομείς της Ελληνικής βιομηχανίας. Από τη εφαρμογή τους προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα που αφορούν:

- Στις εκτιμήσεις των μεταβολών των ενεργειακών δεικτών που σχηματίστηκαν.
- Στην αξιοπιστία του Μοντέλου και την καταλληλότητα εφαρμογής του στο Ελληνικό (και σε οποιοδήποτε) ενεργειακό σύστημα.
- Στα ζητήματα ενεργειακής πολιτικής και τις αντίστοιχες προτάσεις.

Συγκεκριμένα από την εφαρμογή του πρώτου άξονα του Μοντέλου προέκυψε ότι:

- Η φυσική ενεργειακή απόδοση για την συνολική χρήση ενέργειας, στους υπο-τομείς σιδήρου & χάλυβα και μη μεταλλικών ορυκτών βελτιώθηκε το 2002, κατά 28% και 9% αντίστοιχα σε σχέση με το 1990. Αναφορικά με τη χρήση των τελικών μορφών ενέργειας στον υπο-τομέα του σιδήρου & χάλυβα, η φυσική ενεργειακή απόδοση βελτιώθηκε για τη χρήση ηλεκτρισμού αλλά και ορυκτών καυσίμων ενώ στον υπο-τομέα των μη μεταλλικών ορυκτών, η φυσική ενεργειακή απόδοση που σχετίζεται με τη χρήση ηλεκτρισμού επιδεινώθηκε κατά 4%.
- Αντίθετα η φυσική ενεργειακή απόδοση για τη συνολική χρήση ενέργειας, στους υπο-τομείς τροφίμων, ποτού & καπνού και χαρτοποιίας επιδεινώθηκε το 2002 κατά 20% και 15% αντίστοιχα, σε σχέση με το 1990. Στον υπο-τομέα των τροφίμων ο αντίστοιχος δείκτης, επιδεινώθηκε τόσο για τη χρήση ηλεκτρισμού όσο και για τη χρήση ορυκτών καυσίμων. Ωστόσο, στον υπο-τομέα της χαρτοποιίας, η φυσική ενεργειακή απόδοση που σχετίζεται με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας βελτιώθηκε κατά 6%.
- Τέλος, αναφορικά με τη χρήση ηλεκτρισμού στον υπο-τομέα μη σιδηρούχων μετάλλων, η φυσική ενεργειακή απόδοση επιδεινώθηκε το 2002, κατά 7% σε σχέση με το 1990.

- Το αποτέλεσμα της αύξησης της παραγωγικότητας των υπο-τομέων σιδήρου & χάλυβα και μη μεταλλικών ορυκτών στη μεταβολή της ενεργειακής τους χρήσης, αντισταθμίστηκε από την βελτίωση της φυσικής ενεργειακής τους απόδοσης, και αποφεύχθηκε η περαιτέρω αύξηση της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης.
- Αντίθετα, λόγω της αύξησης της παραγωγικότητας στον υπο-τομέα της χαρτοποιίας σε συνδυασμό με την επιδείνωση της φυσικής ενεργειακής τους απόδοσης, η συνολική ενεργειακή χρήση του υπο-τομέα αυξήθηκε κατά 41%.
- Στον υπο-τομέα των μη σιδηρούχων μετάλλων, λόγω της αυξανόμενης παραγωγής του δευτερογενούς αλλά και του πρωτογενούς αλουμινίου, η κατανάλωση ηλεκτρισμού αυξήθηκε κατά 27%.
- Αναφορικά με τις παρατηρούμενες δομικές αλλαγές, η αυξανόμενη χρήση ανακυκλούμενων πρώτων υλών (σκραπ) σε ηλεκτρικούς κλιβάνους, οδήγησε σε αύξηση της κατανάλωση ηλεκτρισμού στον ευρύτερο υπο-τομέα των βασικών μετάλλων.

Όσον αφορά την αξιοπιστία και την καταλληλότητα εφαρμογής του Μοντέλου από το συγκεκριμένο στάδιο της εφαρμογής προέκυψε ότι αυτές εξαρτώνται από:

- Την διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία των δεδομένων.
- Την αποτελεσματικότητα των χρησιμοποιούμενων μεθόδων στην επεξεργασία δεδομένων που παρουσιάζουν απότομες ετήσιες μεταβολές.
- Την κατάλληλη επιλογή του έτους «αναφοράς» της ανάλυσης.

Από την εφαρμογή του δεύτερου άξονα του Μοντέλου αναδείχθηκαν οι παράμετροι που υπόκεινται της εξοικονόμησης (ή της απώλειας) πρωτογενούς ενέργειας όταν η διεύθυνση της ΣΗΘ προβλέπει την πλήρη κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ή θερμική ενέργεια ενός βιομηχανικού υπο-τομέα, δηλ. όταν ο σχεδιασμός της ΣΗΘ γίνεται με βάση τα σενάρια «Αντιστοίχισης Ισχύος» (*power match*) ή «Αντιστοίχισης Θερμότητας» (*thermal match*) αντίστοιχα.

Υπό την προϋπόθεση, ότι τα συστήματα ΣΗΘ λειτουργούν σε πλήρες φορτίο, και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά (θερμοδυναμικές αποδόσεις και λόγος του «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα») παραμένουν σταθερά και ίσα με τις μέγιστες τιμές τους, η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας επηρεάζεται από τις μεταβολές των ακόλουθων παραμέτρων:

- Των θερμοδυναμικών αποδόσεων των τεχνολογιών «αναφοράς». Όσο βελτιώνεται η τιμή τους συγκριτικά με την αντίστοιχη των τεχνολογιών ΣΗΘ, η εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας λόγω ΣΗΘ μειώνεται.

- Της τιμής του λόγου της επιπλέον ενέργειας (θερμότητα ή ηλεκτρισμό) που εισάγεται στον υπο-τομέα ή της περίσσειας αντίστοιχης ποσότητας ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘ, προς την αντίστοιχη συνολική ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ. Συγκεκριμένα όταν τιμή του παραπάνω λόγου είναι θετική, τότε αυτός εκφράζει τις επιπλέον ποσότητες ενέργειας (θερμότητα ή ηλεκτρισμό) που εισάγονται στον υπο-τομέα και παράγονται ξεχωριστά σε συμβατικούς θερμικούς σταθμούς και λέβητες. Η αύξηση της τιμής του παραπάνω λόγου έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας. Αντίθετα όταν η τιμή του παραπάνω λόγου είναι αρνητική, αυτός εκφράζει τις απώλειες ενέργειας λόγω ΣΗΘ. Η αύξηση των απωλειών ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την επιδείνωση του δείκτη «Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας» στο επίπεδο βιομηχανικού υπο-τομέα. Στον δείκτη ενδέχεται να παρατηρηθούν και αρνητικές τιμές που αντιστοιχούν σε κατασπατάληση πρωτογενούς ενέργειας λόγω «κακού» σχεδιασμού της ΣΗΘ.

- Η μέγιστη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας σε επίπεδο υπο-τομέα διασφαλίζεται με την προσαρμογή των τεχνικών χαρακτηρισμών της ΣΗΘ με τις ενεργειακές ανάγκες του υπο-τομέα. Αυτό προϋποθέτει την βέλτιστη δυνατή προσέγγιση του λόγου «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» της ΣΗΘ στον λόγο «καταναλισκόμενου ηλεκτρισμού προς καταναλισκόμενη θερμότητα» του υπο-τομέα. Όταν οι δύο λόγοι είναι ίσοι, τότε δεν υφίστανται απώλειες ενέργειας. Ο λόγος του «παραγόμενου ηλεκτρισμού προς παραγόμενη θερμότητα» είναι τεχνικό χαρακτηριστικό των συστημάτων ΣΗΘ και κυμαίνεται σε συγκεκριμένο εύρος τιμών για την κάθε τεχνολογία. Επομένως, το ζητούμενο είναι η επιλογή της καταλληλότερης τεχνολογίας ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες του υπο-τομέα.

- Η μείωση των απωλειών ενέργειας, έγκειται στη διαχείριση της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ. Όταν εξασφαλίζεται η δυνατότητα χρήσης των πλεονάζουσων ποσοτήτων ενέργειας από ΣΗΘ εκτός του εξεταζόμενου υπο-τομέα, οι ενεργειακοί πόροι χρησιμοποιούνται αποδοτικότερα και σε συνολικό επίπεδο εξοικονομείται πρωτογενής ενέργεια.

- Από τις αναλύσεις ευαισθησίας προέκυψε ότι ο δείκτης είναι περισσότερο ευαίσθητος στις μεταβολές των απωλειών ενέργειας συγκριτικά με τις μεταβολές των πρόσθετων ενεργειακών αναγκών του υπο-τομέα που καλύπτονται από χωριστή παραγωγή θερμότητας ή ηλεκτρισμού.

Από την εφαρμογή προέκυψε επίσης ότι ενδείκνυται η χρήση του Μοντέλου στην αξιολόγηση σεναρίων μελλοντικής διείσδυσης της ΣΗΘ στη βιομηχανία, υπό την προϋπόθεση ότι έχουν οριστεί οι παρακάτω παράμετροι:

- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συστημάτων ΣΗΘ.
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των τεχνολογιών «αναφοράς».
- Ο μέσος ρυθμός μεταβολής των ενεργειακών αναγκών ενός βιομηχανικού υποτομέα.

Επιπρόσθετα, μπορούν με ευκολία να ενσωματωθούν στο Μοντέλο και επιπλέον παράμετροι όπως η χρήση διαφορετικών τεχνολογιών, εναλλακτικοί τρόποι διαχείρισης της περίσσειας ενέργειας και η ισχύουσα νομοθεσία. Κατά συνέπεια, αποτελεί ένα ολοκληρωμένο και χρηστικό εργαλείο ενεργειακού σχεδιασμού.

Συγκεκριμένα, από την εφαρμογή του για την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων διείσδυσης της ΣΗΘ στον υπο-τομέα τροφίμων, ποτού & καπνού, για την 25ετία 2007 – 2031, προέκυψε ότι:

- Δεδομένης της μείωσης των αναγκών του υπο-τομέα σε θερμική ενέργεια, εάν δεν χρησιμοποιείται η περίσσεια της παραγόμενης θερμότητας, τότε στο «*power match*» σενάριο, είτε χρησιμοποιούνται ατμοστρόβιλοι είτε αεριοστρόβιλοι, η παραγωγή περίσσειας θερμικής ενέργειας από ΣΗΘ θα αυξάνεται και τελικά θα προκύψουν απώλειες πρωτογενούς ενέργειας στο επίπεδο υπο-τομέα (αρνητικές τιμές του δείκτη). Στην περίπτωση όμως που χρησιμοποιείται όλη η πλεονάζουσα θερμική ενέργεια εκτός του υπο-τομέα, τότε εξοικονομείται συνολικά από 25% έως και 26% πρωτογενούς ενέργειας με τη χρήση ατμοστρόβιλων και αεριοστρόβιλων αντίστοιχα. Η χρήση όμως της περίσσειας θερμότητας, προϋποθέτει μεταξύ άλλων την εγγύτητα των υφιστάμενων εγκαταστάσεων σε κατοικημένες περιοχές, την κατάλληλη χωροθέτηση της ΣΗΘ, την ανάπτυξη δικτύου τηλεθέρμανσης κ.ά.
- Στην περίπτωση που ο σχεδιασμός της ΣΗΘ, προβλέπεται σύμφωνα με το «*thermal match*» σενάριο, τότε μεγαλύτερη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση των αεριοστρόβιλων. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 24% κατά το πρώτο έτος λειτουργίας της ΣΗΘ και μειώνονται σταδιακά, λόγω της αύξησης της ηλεκτρικής ενέργειας που εισάγεται στον υπο-τομέα, έως και 4% στο τέλος της εξεταζόμενης εικοσιπενταετίας.

Τέλος από τη εφαρμογή του Μοντέλου προέκυψε ότι ο ευρύτερος τομέας της «βαρειάς» βιομηχανίας στην Ελλάδα προσαρμόζεται στις τεχνολογικές εξελίξεις που α-

φορούν στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των τελικών ενεργειακών χρήσεων. Δεν παρατηρήθηκε όμως η ίδια τάση στον ευρύτερο τομέα της «ελαφριάς» βιομηχανίας. Ο εκσυγχρονισμός της «ελαφριάς» βιομηχανίας, η οποία και συνεισφέρει ουσιαστικά στις συνολικές απολαβές του βιομηχανικού τομέα, θα πρέπει να ενθαρρυνθεί με τη διαμόρφωση του κατάλληλου ρυθμιστικού πλαισίου που θα αφορά για παράδειγμα στην θέσπιση και τήρηση συγκεκριμένων τεχνικών προδιαγραφών αλλά και στην οικονομική ενίσχυση των επενδύσεων. Αναφορικά με τη ΣΗΘ, η διασφάλιση της οικονομικής αποδοτικότητας των αντίστοιχων επενδύσεων συνδέεται με τη διαμόρφωση των προϋποθέσεων για την βέλτιστη χρήση των διαθέσιμων πόρων, όπως για παράδειγμα δυνατότητα πώλησης και κατάλληλη τιμολόγηση του παραγόμενου ηλεκτρισμού, οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη δικτύου τηλεθέρμανσης κ.ά.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Ackermann T., Andersson G., Soder L., 2001. Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research* 57, 195-204.
- [2]. Agoris D., Tigas K., Giannakidis G., Siakkis F., Vassoa S., Vassilakos N., Kiliass V., Damassiotis M., 2004. An analysis of the Greek energy system in view of the Kyoto commitments. *Energy Policy*, 32, 2019-2033.
- [3]. Albrecht J., Francois D., Schoors K., 2002. A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals. *Energy Policy*, 30, 727-736.
- [4]. Alcantára V., Duarte R., 2004. Comparison of energy intensities in European Union countries. Results of a structural decomposition analysis. *Energy Policy*, 32, 177-189.
- [5]. Alvarez-Farizo B., Hanley N., 2002. Using conjoint analysis to quantify public preferences over the environmental impacts of wind farms. An example from Spain. *Energy Policy* 30, 107-116.
- [6]. Ang B.W., Liu N., 2007. Handling zero values in the logarithmic mean Divisia index decomposition approach. *Energy Policy*, 35, 238-246.
- [7]. Ang B.W., Liu N., 2007. Negative-value problems of the logarithmic mean Divisia index decomposition approach. *Energy Policy*, 35, 739-742.
- [8]. Ang B.W., 2006. "Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy- GDP ratio to composite efficiency index" *Energy policy*, 34, 574-582.
- [9]. Ang, B.W., 2004. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy*, 32, 1131-1139.
- [10]. Ang B.W., Liu F.L., Chung H. S., 2004. A generalized Fisher index approach to energy decomposition analysis. *Energy Economics*, 26 (5), 757-763.
- [11]. Ang, B.W., Liu F. L., Chew E. P., 2003. Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis. *Energy Policy*, 31, 1561-1566.
- [12]. Ang B.W., Choi Ki H., 2003. Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures : ratio and difference. *Energy Economics*, 25, 615-624.
- [13]. Ang, B.W., 1999. Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of the climate change? *Energy policy* 27, 943 – 946.

- [14]. Ang, B.W., Zhang, F. Q, Choi, Ki.H, 1998. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*, 23, 489-495.
- [15]. Ang, B.W., 1995. Multilevel decomposition of industrial energy consumption, *Energy Economics*, 17, 39-51.
- [16]. Afgan H.N., Carvalho G.M., Hovanov V.N., 2000. Energy system assessment with sustainability indicators. *Energy Policy*, 28, 603-612.
- [17]. Asian Pacific Energy Research Centre. Energy efficiency indicators. A study of energy efficiency indicators in APEC economies. Tokyo, 2001. See also: <http://www.ieej.or.jp/cgi-bin/aperc/namazu.cgi?query=energy+efficiency+indicators>
- [18]. Aticol U., Guven H., 2003. Impact of cogeneration on integrated resource planning of Turkey. *Energy*, 28, 1259-1277.
- [19]. Bakos C.G., Tsioliaridou E., Potolias G., 2008. Techno-economic assessment and strategic analysis of heat and power co-generation (CHP) from biomass in Greece. *Biomass and Bioenergy*, 32, 558-567.
- [20]. Bernard T., J., Cote B., 2005. The measurement of the energy intensity of manufacturing industries: a principal component analysis. *Energy Policy*, 33,221-233.
- [21]. Biezma V. M., San Cristobal J.R., 2006. Investment criteria for the selection of cogeneration plants – a state of the art review. *Applied Thermal Engineering*, 26, 583-588.
- [22]. Bosseboeuf D., Chateau B., Lapillone B., 1997. Cross-country comparison on energy efficiency indicators: the on going European method towards a common methodology. *Energy policy*, 25 (7-9), 763-682.
- [23]. Bosseboeuf D., Cecile R., 1997. The need to link energy efficiency indicators to related policies. A practical experience based on 20 years of facts and trends in France (1973-1993) *Energy policy*, 25 (7-9), 813-823.
- [24]. Brundtland Report, United Nations World Commission on Environment and Development, WCED. *Our Common Future*, 1987. Oxford University Press, ISBN 0-19-282080-X.
- [25]. Cardona E., Piacentino A., 2005. Cogeneration: a regulatory framework toward growth. *Energy Policy*, 33, 100-2111.
- [26]. Cavallaro F., Ciraolo L., 2005. A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island. *Energy Policy*, 33, 235-244.

- [27]. Chicco G., Mancarella P., 2008. Assessment of the greenhouse gas emissions from cogeneration and trigeneration systems. Part I: Models and indicators. *Energy*, 3, 410-417.
- [28]. Christodoulakis M., N., Calyvitis M., S., Lalas P., D., Pasmatsoglou S., 2000. Forecasting energy consumption and energy related CO₂ emissions in Greece: An evaluation of the consequences of the Community Support Framework II and natural gas penetration. *Energy Economics*, 22, 395-422.
- [29]. CIRED, 1999. Report of CIRED working group No 4 on Dispersed Generation. Congrès International des Réseaux Electriques de Distribution, see also: http://www.cired.be/page_technicalcontent.htm
- [30]. Cleveland C., Ruth M., 1998. Indicators of dematerialization and materials intensity of use, *Journal of Industrial Ecology* 2 (3), 15-50.
- [31]. Climate Change. The Hellenic Action Plan for the Abatement of CO₂ and other Greenhouse Gas Emissions, See also: <http://www.minenv.gr/1/11/113/11308/e1130800.html>
- [32]. COGEN, 2005. Joint statement of the CHP directive. COGEN Europe, 5 August 2005. <http://www.cogeneurope.eu/2005/09/joint-statement-on-the-chp-directive-2005/>.
- [33]. COGEN, 2001. The future of CHP in the European market – the European cogeneration study. COGEN Europe, final publishable summary, May 2001.
- [34]. Conde Lázaro E., Ramos Millán A., Reina Peral P., 2006. Analysis of cogeneration in the present energy framework. *Fuel Processing Technology*, 87, 163-168.
- [35]. Confederation of European Paper Industries, www.cepi.org.
- [36]. Diakoulaki D., Mandaraka M., 2007. Decomposition Analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU manufacturing sector. *Energy economics*, 2007, 29, 636-664.
- [37]. Diakoulaki D., Mavrotas G., Orkopoulos D., Papayanakis L., 2006. A bottom-up decomposition analysis of energy related CO₂ emissions in Greece. *Energy*, 31, 2638-2651.
- [38]. Dincer Ibrahim, 1997. Energy and GDP analysis of OECD countries. *Energy Conversion & Management*, 38 (7), 685-696.
- [39]. Dondi P., Bayoumi D., Haederli Ch., Jualian D., Suter M., 2002. Network integration of distributed power generation, *Journal of power sources*, 106, 1-9.

- [40]. Ekins Paul, 2004. Step changes for decarbonising the energy system: research needs for renewables, energy efficiency and nuclear power. *Energy Policy*, 32, 1891-1904.
- [41]. Energy white paper, UK, 2003. "Our energy future- creating a low carbon economy". Department of Trade and Industry, United Kingdom, February 2003, see also:
<http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.berr.gov.uk/energy/sources/renewables/explained/intro/page14237.html>.
- [42]. EPRI, 2003. Electricity Sector Framework for the Future: Summary. Electric Power Research Institute, August 6, 2003, see also:
http://www.rwbeck.com/Files/PED%20Resources/ESFF_summary.pdf.
- [43]. EUDOCOGEN project, 2001. The European educational tool on cogeneration, EUDOCOGEN project, 2nd edition December 2001, see also:
www.cogen.org/projects/eudocogen.htm.
- [44]. EU Directive, 2004/8/EC. The promotion of cogeneration based on a useful heat demand in the internal energy market. Directive 2004/8/EC of 11 February 2004 from the European Parliament and of the Council, and amending Directive 92/42/EC. L 52/50 Official Journal of the European Union EN, 21 February 2004.
- [45]. EU Decision, 2007/74/EC. Commission decision of 21 December 2006, establishing harmonized reference values for separate production of electricity and heat in application of Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the council, Official Journal of the European Union, 2007/74/EC.
- [46]. EU Directive, 2001/77/EC. The promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market. Directive 2001/77/EC of 27 September 2001 from the European Parliament and of the Council. L 283/33 Official Journal of the European Union EN, 27 September 2001.
- [47]. European Union Energy Outlook to 2020, 1999. The European Commission, DG Transport and Energy, Report, November 1999.
- [48]. Farla J.C.M, 2000. Physical Indicators on energy efficiency. Phd Thesis. Department of Science, Technology and Society, Faculty of Chemistry, Utrecht University, The Netherlands.
- [49]. Farla J.C.M, Blok K., 2000. The use of physical indicators for the monitoring of energy intensity developments in the Netherlands, 1980-1995. *Energy*, 25, 609-638.

- [50]. Farla J.C.M, Guelenaere R., Blok K., 1998. Energy efficiency and structural change in the Netherlands, 1980-1990. *Energy Economics*, 20, 1-28.
- [51]. Farla J.C.M, Blok K., Schipper L., 1997. Energy efficiency developments in the pulp and paper industry. A cross-country comparison using physical production data. *Energy Policy*, 25(7-9), 745-758.
- [52]. Fawkes S.D, Jacques J.K., 1986. Optimum sizing of investment in CHP plant for beverage – related processing industries. *Communications on energy: Energy policy*.
- [53]. Frangopoulos A.Ch., Dimopoulos G., 2004. Effect of reliability considerations on the optimal synthesis, design and operation of a cogeneration system. *Energy*, 29, 309-329.
- [54]. Frangopoulos A.Ch., Karydogiannis E., Karalis G., 1994. Cogeneration of Heat and Power. Greek Centre of Productivity, SAVE program, in Greek, also available at:
<http://hachp.gr/uploads/fckeditor/sith.pdf?phpMyAdmin=618d7b47d9d2ca854060fc9577668ec2>
- [55]. Freeman S.L., Niefer M.J., Roop J.M., 1997. Measuring industrial energy efficiency: practical issues and problems. *Energy Policy*, 25 (7-9), 703-714.
- [56]. Gagnon L., Belanger C., Uchiyama Y., 2002. Life – cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. *Energy Policy* 30, 1267-1278.
- [57]. Geiz D., Kutzmark T., 1998. Developing Sustainable communities the future is now. *Public Management Magazine*. International City/County Management Association, Washington D.C.
- [58]. Godin B., 2002. The emergence of S&T indicators: why did governments supplement statistics with indicators. *Research Policy*, 1398, 1-13.
- [59]. Golove W.H., Schipper L.J., 1997. Restraining carbon emissions: measuring industrial energy use and efficiency in the USA. *Energy Policy*, 25; 7-9, 803-812.
- [60]. Greek Aluminum Association, see also:
<http://www.aluminium.org.gr/SingleCgAllObj.asp?lg=el>
- [61]. Greek Mining Enterprises Association, see also:
http://66.165.120.21/index_gr.asp
- [62]. Greek Ministry of Environment, Energy and Climate Change, www.ypeka.gr
- [63]. Greek PRODCOMS, www.statistics.gr

- [64]. Green Paper, 2000. Commission of the European Communities. Green Paper Towards a European Strategy for the security of energy supply. Brussels 29.11.2000. COM(2000)769final
- [65]. Greening A. L., Davis B. W., Schipper L., Khrusch M., 1997. Comparison of six decomposition methods: application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries. *Energy economics*, 19, 375-390.
- [66]. Haas R., 1997. Energy efficiency indicators in the residential sector. What do we know and what has been ensured? *Energy Policy*, 25, 789-802.
- [67]. Halyvourgiki steel plant, see also:
<http://www.halyvourgiki.gr/english/index.html>
- [68]. Haralambopoulos D., 1993. Environmental cost/benefit due to Combined Heat and Power penetration in Greece (in Greek). *Cogeneration of Heat and Power. The Way Forward. Proceedings of a European Conference, Athens, Greece, 3-5 November, 1993.*
- [69]. He K., Huo H., Zhang Q., He D., An F., Wang M., Walsh M.P., 2005. Oil consumption and CO₂ emissions in China's road transport: current status, future trends and policy implications. *Energy Policy*, 33, 1499-1507.
- [70]. Hellenic Sugar Industry S. A, http://www.ebz.gr/profile_en.htm.
- [71]. Hendriks C., Blok K., 1996. Regulation for Combined Heat and Power in the European Union. *Energy Conversion & Management*, 37(6-8), 729-734.
- [72]. Hinnells M. Combined heat and power in industry and buildings, 2008. *Energy Policy*, 36, 4522-4526.
- [73]. Hoekstra R., Van der Berg J., 2003. Comparing structural and index decomposition analysis. *Energy Economics*, 25, 39-64.
- [74]. Iatridis Minas, Zoidis Grigoris, 2006. Centre for Renewable Energy Sources (CRES). Energy efficiency policy and measures in Greece 2006. Monitoring of Energy Efficiency in EU 15 and Norway (ODYSSE – MURE). January 2006, see also: http://www.odyssee-indicators.org/Publication/PDF/nr_grc_2006.pdf
- [75]. Iatridis Minas, Zoidis Grigoris, 2004. Centre for Renewable Energy Sources (CRES). Energy Efficiency in Greece 1990-2002. Monitoring energy efficiency in Europe. A report based on ODYSSEE – MURE data bases and supported by the SAVE programme. October 2004.
- [76]. Integrated Pollution Prevention and Control, 2005. Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries. Final draft.

- European Commission Directorate – General JRC. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies (Seville). Sustainability in Industry, Energy and Transport. European IPPC Bureau. June 2005.
- [77]. International Atomic Energy Agency (IAEA), 2005. Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies. Vienna: ISBN: 92-0-116204-9.
- [78]. International Energy Agency, 2004. Oil Crises & Climate Changes. 30 years of energy use in IEA countries. IEA / OECD, 2004. See also: http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1260
- [79]. International Energy Agency, 2002. Distributed Generation in Liberalized Electricity Markets. IEA, Paris, 2002
- [80]. International Energy Agency, 1998. Energy Policy in IEA countries-Greece. IEA / OECD, review, 1998.
- [81]. Isic Rev.3 International Standard Industrial Classification of all Economies, Activities, Revision3, also available at: <http://unstats.un.org/unsd/cr/registry/regcst.asp?Cl=2>
- [82]. Katsigiannis A.P., Papadopoulos P.D., 2005. A general technoeconomic and environmental procedure for assessment of small-scale cogeneration scheme installations: Application to a local industry operating in Thrace, Greece, using micro-turbines. Energy Conversion and Management, 46, 3150-3174.
- [83]. Lapillone B. and W. Eichhammer, September 2004. Energy efficiency trends in industry in the EU 15. Assessment based on Odyssee indicators.
- [84]. Liaskas K., Mavrotas G., Mandaraka M., Diakoulaki D., 2000. Decomposition of industrial CO₂ emissions: The case of European Union. Energy Economics, 22, 383-394.
- [85]. Lipošćak M., Afgan H. N., Duić N., da Graça Carvalho M., 2006. Sustainability assessment of cogeneration sector development in Croatia. Energy, 31, 2276-2284.
- [86]. Lončar D., Duić N., Bogdan Ž., 2009. An analysis of the legal and market framework for the cogeneration sector in Croatia. Energy, 34, 134-143.
- [87]. Longerman S., Ruitenbeek J., et al., 1996. "Selection and Modelling of Sustainability Indicators for the Fraiser River Basin: Final report" Occasional Paper Series, Environment Canada, State of the Environmental Directorate and Pacific Yukon Region.

- [88]. Law 3734/09, Government Gazette 8/28.01.2009 (in Greek).
- [89]. Law 3468/06, Government Gazette 129/27.06.2006 (in Greek).
- [90]. Law 3299/04, Government Gazette 261/23.12.2004 (in Greek).
- [91]. Lund H., Andersen A. N., 2005. Optimal designs of small CHP plants in a market with fluctuating electricity prices. *Energy Conversion and Management*, 46, 893-904.
- [92]. Lund H., Münster E., 2003. Modelling of energy systems with a high percentage of CHP and wind power. *Renewable Energy*, 28, 2179-2193.
- [93]. Lund H., Hvelplund F., Ingermann K., Kask Ü., 2000. Estonian energy system. Proposals for the implementation of a cogeneration strategy. *Energy Policy*, 28, 729-736.
- [94]. Martin N., Worrell E., Schipper L., Blok K., 1994. International comparisons of energy efficiency, LBL, Berkeley, California, USA.
- [95]. Milborrow D., 1998. Renewables and the real world; in: *Wind Power Monthly*, 14, 38-45.
- [96]. Nanduri M., Nyboer J., Jaccard M., 2002. Aggregating physical intensity indicators: results of applying the composite indicator approach to the Canadian industrial sector. *Energy Policy*, 30, 151-163.
- [97]. Nasheim J., Svein, Ertesvag S., Ivar., 2007. Efficiencies and indicators defined to promote combined heat and power. *Energy Conversion & Management*, 48, 1004-1015.
- [98]. Neelis M., Ramirez-Ramirez A., Patel M., Farla J., Boonekamp P., Blok K., 2007. Energy efficiency developments in the Dutch energy-intensive manufacturing industry, 1980-2003. *Energy Policy*, 35, 6112-6131.
- [99]. Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004. "Physical indicators as a basis for estimating energy efficiency developments in the Dutch industry", Copernicus Institute, Utrecht University.
- [100]. Newman Harold. The mineral industry of Greece. United States Geological Survey. See also: <http://www.usgs.gov>
- [101]. Nyboer J., Olivier J., Paper A., 1996. Development of energy intensity indicators for Canadian industry 1990-1995. Canadian industrial energy end-use data and analysis centre, Burnaby B.C.
- [102]. ODYSSEE, 1999. Aggregate energy efficiency indicators in ODYSSEE for industry, see also: <http://www.odyssee-indicators.org>.

- [103]. Onut S., Soner S., 2007. Analysis of energy use and efficiency in Turkish manufacturing sector SMEs. *Energy Conversion & Management*, 48, 384-394.
- [104]. Ozawa L., Sheinbaum C., Martin N., Worrell E., Price L., 2002. Energy use and CO₂ emissions in Mexico's iron and steel industry. *Energy* 27, 225-239.
- [105]. Paepe De M., Mertens D., 2007. Combined heat and power in a liberalized energy market. *Energy Conversion & Management*, 48, 2542-2555.
- [106]. Papadopoulos D.P., Katsigiannis A.P., 2002. Biomass energy surveying and techno-economic assessment of suitable CHP system installations. *Biomass and Bioenergy*, 22, 105-124.
- [107]. Patterson M., 1996. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 24 (5), 377-390.
- [108]. Pepermans G., Driesen J., Haeseldonckx D., Belmans R., D'haeseleer W., 2005. Distributed generation: definition, benefits and issues. *Energy Policy*, 33, 787-798.
- [109]. Phylipsen G.J.M., Blok k., Worrell E., 1998. Handbook on international comparisons of energy efficiency in the manufacturing industry. Department of Science, Technology and Society, Faculty of Chemistry, Utrecht University, The Netherlands.
- [110]. Phylipsen G.J.M., Blok K., Worrel E., 1997. International comparisons of energy efficiency – Methodologies for the manufacturing industry. *Energy Policy*, 25 (7-9), 715-725.
- [111]. Rafiqul I., Weber C., Lehmann B., Voss A., 2005. Energy efficiency improvements in ammonia production-perspectives and uncertainties. *Energy* 30, 2487-2502
- [112]. Ramirez C.A., Blok K., Neelis M., Patel M., 2006. Adding apples and oranges: The monitoring of energy efficiency in the Dutch food industry. *Energy policy*, 34, 1720-1735.
- [113]. Ramirez C.A., Patel M., Blok K., 2005. The non – energy intensive manufacturing sector. An energy analysis relating to the Netherlands.. *Energy*, 30, 749-767.
- [114]. Ramirez C.A., 2005. Monitoring energy efficiency in the Food Industry. Phd Thesis. Department of Science, Technology and Sosciety, Faculty of Chemistry, Utrecht University, The Netherlands.

- [115]. Reijnders L., 1998. The factor X debate: Setting targets for eco-efficiency, *Journal of Industrial Ecology* 2 (1), 13-22.
- [116]. Roca Jordi, 2002. The IPAT formula and its limitations. *Energy Economics*, 42, 1-2.
- [117]. Ross M., Hwang R., 1992. A model for long-term industrial energy forecasting. US Department of Energy, Washington D.C.
- [118]. Schipper L., Fridtjof Unander, Celine Marie – Lilliu, 2000. The IEA energy indicators effort; increasing the understanding of the energy/emissions link. COP 6, IEA-AIE, The Hague.
- [119]. Shipper L., Haas R., 1997. The political relevance of energy and CO2 indicators – An introduction. *Energy policy*, 25, 639-649.
- [120]. Sinton J.E., Levine M.D., 1994. Changing energy intensity in the Chinese industry. *Energy Policy* 22, 239-252.
- [121]. Sovel S. A., steel plant, see also:
<http://www.sidenor.gr/PlainText.aspx?MenuTxtId=81&lang=GR>
- [122]. Theofylaktos Ch., 2007. Growth in the pipeline – the potential for cogeneration in Greece. *Cogeneration & on site power production*, 8, (3). In greek, available at:
http://www.cospp.com/display_article/296030/122/ARCHI/none/none/1/Growth-in-the-pipeline---the-potential-for-cogeneration-in-Greece/.
- [123]. The Greek manufacturing sub-sector; estimations for 2003 and expectations for 2004. Results of the 3rd annual sampling research carried out by ICAP and the Hellenic Federation of Enterprises, June 2004, available at
<http://www.fgi.org.gr/uploads/largefiles/sevIcap04.pdf>.
- [124]. Valentine A, Spangenberg H.J., 2000. A guide to community sustainability indicators. *Environmental impact assessment review* 20, 381-392.
- [125]. Verbruggen A., 2008. The merit of cogeneration: Measuring and rewarding performance. *Energy Policy*, 36, 3069-3076.
- [126]. Voorspools R., K., Brouwers A., Els., D' haeselleer D., W., 2000. Energy content and indirect greenhouse gas emissions embedded in 'emission-free' power plants: results from the Low Countries. *Applied Energy*, vol., 67, 307-330.
- [127]. Walz R., 2000. Development of Environmental Indicator Systems: Experiences from Germany. *Environmental Management*, 25, 613-623.

- [128]. Wang C., Chen J., Zou J., 2005. Decomposition of energy – related CO₂ emission in China: 1957 -2000. *Energy*, 30, 73 -83.
- [129]. Williams R.H., Larson E.D., Ross M.H., 1987. Materials, affluence and industrial energy use. *Annual Review of Energy* 12, 99-144
- [130]. Worrell Ernst, 2004. Industrial energy use, Status and Trends. *Encyclopaedia of energy*, 3.
- [131]. Worrell E., Price L., Martin N., Farla J., Schaeffer R., 1997. Energy intensity in the iron and steel industry: A comparison of Physical and Economic Indicators, *Energy Policy*, 25, 727-744.
- [132]. Worrell E., 1994. Potentials for improved use of industrial energy and materials. PhD thesis. Department of Science, Technology and Society, Faculty of Chemistry, Utrecht University, The Netherlands.
- [133]. Zhang F., Q., Ang B., W., 2001. Methodological issues in cross-country / region decomposition of energy and environment indicators. *Energy Economics*, 23, 179-190.
- [134]. Zhang F.Q., Ang B.W., 2000. A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25, 1149-1176.
- [135]. 60-Industry Database. Groningen Growth and Development Centre. October 2005, see also: <http://www.ggdc.net>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

Α.Ε.Π: Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Δ.Ε.Η: Δημόσια Εταιρία Ηλεκτρισμού

ΕΕΚ: Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση

Κ.Α.Π.Ε: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

ΚΠ: Κατανεμημένη Παραγωγή

ΜΕΚ: Μηχανές Εσωτερικής Καύσης

Ο.Ο.Σ.Α: Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης

Σ.Ε.Β: Σύνδεσμος Επιχειρήσεων και Βιομηχανιών

ΣΗΘ: Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας

ΦΑ: Φυσικό Αέριο

B.A.T: Best Available Technologies

CEPI: Confederation of European Paper Industries

CIREN: Congrès International des Réseaux Electriques de Distribution

COGEN: European Association for the Promotion of Cogeneration

CRES: Centre of Renewable Energy Sources

DoE: Department of Energy

EC: European Commission

E.P.R.I: Electric Power Research Institute

EU: European Union

EUDOCOGEN: The European Educational Tool on Cogeneration

I.A.E.A: International Atomic Energy Agency

I.E.A: International Energy Agency

LMDI: Logarithmic Mean Divisia Index

O.E.C.D: Organization of Economic Cooperation and Development

PRODCOM: Πίνακες ετήσιας παραγωγής και πώλησης προϊόντων

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Σύμβολα:

C : Ποσοστό κάλυψης της συνολικής ενεργειακής κατανάλωση

E : Συνολική ενεργειακή κατανάλωση, (TJ)

E_{ref} : Συνολική ενεργειακή κατανάλωση «αναφοράς», (TJ)

E_{calc} : Εκτιμώμενη συνολική ενεργειακή κατανάλωση, (TJ)

EL : Κατανάλωση ηλεκτρισμού, (TJ)

F : Ορυκτά καύσιμα, (TJ)

f : Συντελεστής μετατροπής ($1/\eta$)

GT : Αεριοστρόβιλος

H : Κατανάλωση θερμικής ενέργειας, (TJ)

m : Παραγωγή συγκεκριμένου προϊόντος σε φυσικές μονάδες, (tones, ltr κτλ.)

PE : Πρωτογενής ενέργεια, (TJ)

PEE : Δείκτης Φυσικής Ενεργειακής Απόδοσης, (%)

PES : Ποσότητα εξοικονομούμενης πρωτογενούς ενέργειας, (TJ)

$PESind$: Δείκτης Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας, (%)

PHR : Λόγος παραγόμενου (ή καταναλισκόμενου) ηλεκτρισμού προς (παραγόμενη ή καταναλισκόμενη) θερμότητα

R : Ο λόγος της επιπλέον ενέργειας που εισάγεται σε έναν βιομηχανικό υπο-τομέα (προερχόμενη από χωριστή παραγωγή) ή της περίσσειας αντίστοιχης ποσότητας ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘ, προς την αντίστοιχη συνολική ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ, (%)

R' : Ο λόγος της περίσσειας ποσότητας ενέργειας που παράγεται από ΣΗΘ και δεν χρησιμοποιείται, προς την αντίστοιχη συνολική ενέργεια που παράγεται από ΣΗΘ, (%)

r : Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής της κατανάλωσης ενέργειας, (%)

$RPES$: Δείκτης Σχετικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας, (%)

SEC_0 : Ειδική Ενεργειακή Κατανάλωση «αναφοράς» ή ΕΕΚ «αναφοράς»,

(MJ/tonne, MJ/hl, MJ/kl, MJ/1000pieces, GJ/tonne, GJ/1000pieces)

ST: Ατμοστρόβιλος

TPESind: Δείκτης Συνολικής Εξοικονόμησης Πρωτογενούς Ενέργειας (%)

X: Ποσοστό της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ που χρησιμοποιείται εκτός του βιομηχανικού υπο-τομέα σε σχέση με την συνολικά παραγόμενη αντίστοιχη ενέργεια από ΣΗΘ, (%)

Y: Ποσοστό της περίσσειας ενέργειας από ΣΗΘ που χρησιμοποιείται εκτός του βιομηχανικού υπο-τομέα, (%)

Σύμβολα με Ελληνικούς Χαρακτήρες:

ΔΕ: Μεταβολή της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενός βιομηχανικού υπο-τομέα μεταξύ δύο (2) ετών, (TJ)

η: Συντελεστής απόδοσης των τεχνολογιών, (%)

Ω: Ποσοστό, της επιπλέον ενέργειας από χωριστή παραγωγή που εισάγεται στον υπο-τομέα προς την επιπλέον ενέργεια που απαιτείται (%)

Δείκτες:

ACT: Παραγωγικότητα

best: Βέλτιστη τιμή

chp: Συμπααραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας

EFF: Απόδοση

elc: Ηλεκτρισμός

Est: Εκτιμώμενη

excess: Περίσσεια ενέργειας παραγόμενη από ΣΗΘ

ffls: Ορυκτά καύσιμα.

H: Θερμική ενέργεια

i: Προϊόν, π.χ. αλουμίνιο

j: Μορφή ενέργειας

k: Τυχαίο έτος

neg: Αρνητική τιμή

p: Συνολική χρήση ενέργειας

ref: Κατάσταση «αναφοράς»

s: Βιομηχανικός υπο-τομέας

STR: Δομή

SP: Χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού ή θερμότητας

t – T: Χρονική περίοδος μεταξύ των ετών *t* και *T*

t – 1: Χρονική περίοδος μεταξύ δύο συνεχόμενων ετών

tot: Συνολικός

worst: worst value

0: Έτος «αναφοράς»

1: 1^ο έτος της ανάλυσης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

Πίνακας ΙΙΙ.1 Προϊόντα και αντίστοιχες βιβλιογραφικές τιμές Ειδικής Ενεργειακής Κατανάλωσης (ΕΕΚς) «αναφορές», που χρησιμοποιήθηκαν στην Ανάλυση Σύνθεσης και την Αναλυτική Αποδόμηση Δεικτών.

Προϊόν /ομάδα προϊόντων	Κωδικός στατιστικής καταγραφής (PRODCOM) για το κάθε προϊόν και βιβλιογραφικές πηγές της φυσικής ετήσιας παραγωγής τους	ΕΕΚ για τη χρήση ηλεκτρισμού (MJ / physical unit)	ΕΕΚ, για τη χρήση ορυκτών καυσίμων (MJ / physical unit)	Βιβλιογραφικές πηγές των τιμών ΕΕΚ
Τρόφιμα, ποτά & καπνός				
Μοσχάρι & αρνί	1511114000 + 1511119000 + 1511120000 + 1511150000 + 1511170000 + 1511190000	341 (MJ/tonne)	547 (MJ/tonne)	Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^a
Χοιρινό	1511133000 + 1511135000 + 1511139000 + 1511149000	465 (MJ/tonne)	932 (MJ/tonne)	-/-
Πουλερικά	1512111300 + 1512115300 + 1512117000 + 1512121300 + 1512125300 + 1512127500	1008 (MJ/tonne)	576 (MJ/tonne)	-/-
Μεταποιημένο κρέας (αλλαντικά)	1513111000 + 1513113000 + 1513115000 + 1513117000 + 1513121500 + 1513123300 + 1513123500 + 1513124300 + 1513124500 + 1513125900 + 1513126000 + 1513129000	754 (MJ/tonne)	3950 (MJ/tonne)	-/-
Επεξεργασμένα και μεταποιημένα κατάλοιπα κρέατος	Εκτιμώμενη ποσότητα με βάση τις καταγραφές των PRODCOMS	2034 (MJ/tonne)	1042 (MJ/tonne)	-/-
Βούτυρο	1551303000 + 1551305000	457 (MJ/tonne)	1285 (MJ/tonne)	-/-
Τυρί	15551403000 + 151405000 +	1206 (MJ/tonne)	2113 (MJ/tonne)	-/-
Γάλα, γιαούρτι και λοιπά προϊόντα ζύμωσης	1551113000 + 1551114000 + 1551115000 + 1551120000 + 1551524300 + 1551524500	241 (MJ/tonne)	524 (MJ/tonne)	-/-
Καπνιστό ψάρι	1520135900 + 1520137000	1200(MJ/tonne)	2077(MJ/tonne)	-/-
Προπαρασκευασμένα προϊόντα ή προϊόντα που διατηρούνται στη συντήρηση	1520133000 + 1520141300 + 1520141400 + 1520141500 + 1520141600 + 1520143000	482(MJ/tonne)	1062(MJ/tonne)	-/-
Πατάτες	1531110000	572 ^b (MJ/tonne)		-/-
Χυμός ντομάτας	1532102400	125 (MJ/tonne)	4789 (MJ/tonne)	-/-
Μη συμπυκνωμένοι χυμοί	1532101500 + 1532102100 + 1532102200 + 1532102300 + 1532102600 + 1532102900 + 1532103000 + 1532104000	250 (MJ/tonne)	900 (MJ/tonne)	-/-
Κατεψυγμένα λαχανικά	1533110000 + 1533210000	738 (MJ/tonne)	1800 (MJ/tonne)	-/-
Λαχανικά τουρσί	1533150000	361 (MJ/tonne)	1280 (MJ/tonne)	-/-
Κέτσαπ	1587123000	380 (MJ/tonne)	1800 (MJ/tonne)	-/-
Μαρμελάδες	1533223000 + 1533229000	490 (MJ/tonne)	1500 (MJ/tonne)	-/-
Ξηροί καρποί	1533233000 + 1533239000 + 1533251000 + 1533252000	1500 (MJ/tonne)	4500 (MJ/tonne)	-/-
Παρθένο & μεταποιημένο ελαιόλαδο	1541123000 + 1542113100	373 (MJ/tonne)	-	Integrated Pollution Prevention and Control, June 2005 ^c
Καλαμποκάλευρο	1562221300	1000 (MJ/tonne)	2331 (MJ/tonne)	Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^a
Μεταποιημένη ζάχαρη	1583123000	555 (MJ/tonne)	5320 (MJ/tonne)	-/-

Πίνακας III.1(συνέχεια)				
Προϊόν / ομάδα προϊόντων	Κωδικός στατιστικής καταγραφής (PRODCOM) για το κάθε προϊόν και βιβλιογραφικές πηγές της φυσικής ετήσιας παραγωγής τους	EEK για τη χρήση ηλεκτρισμού (MJ / physical unit)	EEK, για τη χρήση ορυκτών καυσίμων (MJ / physical unit)	Βιβλιογραφικές πηγές των τιμών EEK
Ζαχαρότευτλα	1583200000	5 (MJ/tonne)	1820 (MJ/tonne)	Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^b
Ζωοτροφές για κατοικίδια	15721033B + 1572106000	475 ^b (MJ/tonne)		-/-
Ζωοτροφές για κτηνοτροφικές μονάδες	15711033B + 15711035B + 15711037B + 15711039B	2306 ^b (MJ/tonne)		-/-
Καφές	1586115000	518 (MJ/tonne)	1997 (MJ/tonne)	-/-
Μπύρα	159610000	20 (MJ/hl)	153 (MJ/hl)	-/-
Εμφιαλωμένο νερό	1598113000	133 (MJ/kl)	199 (MJ/kl)	-/-
Μεταλλικό νερό & αναψυκτικά	1598115000 + 1598123000	120 (MJ/kl)	360 (MJ/kl)	-/-
Τσιγάρα	1600115000	4,29 (MJ/1000 stucks)	5,64 (MJ/1000 stucks)	-/-
Μπισκότα	1581120000	4581 ^b (MJ/tonne)		-/-
Άλευρα	15611210000 + 1561122000	420 (MJ/tonne)	30 (MJ/tonne)	-/-
Σούπες & κύβοι	1589110000	7659 ^b (MJ/tonne)		-/-
Ζυμαρικά	1585113000 + 1585115000	648 (MJ/tonne)	2 (MJ/tonne)	-/-
Σιδηρός & χάλυβας				
Ακατέργαστο ατσάλι (επεξεργασμένο σε ηλεκτρικούς φούρνους)	Iron and Steel Statistical Yearbook ^a	1,72 (GJ/tonne)	0,47 (GJ/tonne)	Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^b
Μεταποιημένα προϊόντα σε ρολό, θερμού ατσαλιού	Iron and Steel Statistical Yearbook ^a	0,4 (GJ/tonne)	1,80 (GJ/tonne)	-/-
Μεταποιημένα προϊόντα σε ρολό, ψυχρού ατσαλιού	Iron and Steel Statistical Yearbook ^a	0,5(GJ/tonne)	1,10 (GJ/tonne)	-/-
Μη σιδηρούχα μέταλλα				
Πρωτογενές αλουμίνιο	1. United States Geological Survey ^d 2. Greek mining enterprises association ^e 3. Greek aluminum association ^f	51,4 (GJ/tonne)	3,70 (GJ/tonne)	Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^a
Δευτερογενές αλουμίνιο	1. United States Geological Survey ^d 2. Greek mining enterprises association ^e 3. Greek aluminum association ^f	0,6 (GJ/tonne)	5,70 (GJ/tonne)	-/-
Μη μεταλλικά ορυκτά				
Τσιμέντο «Portland»	2651123000	0,19 (GJ/tonne)	0,63 (GJ/tonne)	Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^a
«Κλίνκερ» τσιμέντου	2651110000	0,25 (GJ/tonne)	1,46 (GJ/tonne)	-/-
Κεραμίδια	2640125000	0,29 (GJ/1000 pieces)	7,02 (GJ/1000 pieces)	-/-
Οικοδομικά τούβλα αργίλου	2640111000	0,19 (GJ/1000 pieces)	4,67 (GJ/1000 pieces)	-/-
Χαρτοποιία				
Χαρτί εφημερίδας	United Nations Production Statistics ^a CEPI ^g (for years 2001-02)	1,40 (GJ/tonne)	2,50 (GJ/tonne)	Farla J., Blok K., Schipper L., 1997; Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^a

Πίνακας III.1 (συνέχεια)				
Προϊόν / ομάδα προϊόντων	Κωδικός στατιστικής καταγραφής (PRODCOM) για το κάθε προϊόν και βιβλιογραφικές πηγές της φυσικής ετήσιας παραγωγής τους	EEK για τη χρήση ηλεκτρισμού (MJ / physical unit)	EEK, για τη χρήση ορυκτών καυσίμων (MJ / physical unit)	Βιβλιογραφικές πηγές των τιμών EEK
Άλλο είδος χαρτιού για γραφή και εκτυπώσεις	211253700 + 2123130000 United Nations Production Statistics ^a CEPI ^g (for years 2001-02)	2 (GJ/tonne)	7 (GJ/tonne)	Farla J., Blok K., Schipper L., 1997; Neelis M., Ramirez A., Patel M., 2004 ^a
Χαρτί για οικιακή χρήση & χαρτί υγείας	2112215500 + 2122111000 + 2122113500 + 2122115000 + 21221230A United Nations Production Statistics ^a CEPI ^g (for years 2001-02)	2,4 (GJ/tonne)	5 (GJ/tonne)	-//-
Χαρτί συσκευασίας & χαρτοκιβώτια	2112301000 + 2112305000 + 2112306000 + 2112308500 + 2112254000 + 2112240000+ 2112535700 + 2112563500 + 2112565900 + 2112575000 + 2121110000 + 2121123000 + 2121125000 + 2121130000 + 2121140000 + 2121153000 + 2121155000 United Nations Production Statistics ^a CEPI ^g (for years 2001-02)	1,5 (GJ/tonne)	5 (GJ/tonne)	-//-

^a: Copernicus Institute, Energy and Environment group, Utrecht University

^b: οι τιμές EEKs για τον ηλεκτρισμό και τα ορυκτά καύσιμα, προέρχονται από συγκεκριμένες βιομηχανικές μονάδες και δεν δημοσιεύονται για λόγους εχεμύθειας. Αντ' αυτών, δημοσιεύεται η πρωτογενής ενέργεια που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της μονάδας του κάθε προϊόντος

^c Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries

^d The mineral industry of Greece by Harold Newman, <http://www.usgs.gov>

^e http://66.165.120.21/index_gr.asp

^f <http://www.aluminum.org.gr/SingleCgAllObj.asp?lg=el>

^g Confederation of European Paper Industries, www.cepi.org

Πίνακας III.2 Εκτιμώμενες τιμές ΕΕΚς που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ευαισθησίας		
Προϊόν / ομάδα προϊόντων	ΕΕΚ, για τη χρήση ηλεκτρισμού (MJ / physical unit)	ΕΕΚ, για τη χρήση ορυκτών καυσίμων (MJ / physical unit)
Τρόφιμα, ποτά & καπνός		
Μοσχάρι & αρνί	551,82 (MJ/tonne)	1196,85 (MJ/tonne)
Χοιρινό	752,48 (MJ/tonne)	2077,22 (MJ/tonne)
Πουλερικά	1631,19 (MJ/tonne)	1283,78 (MJ/tonne)
Μεταποιημένο κρέας (αλλαντικά)	1220,16 (MJ/tonne)	8803,68 (MJ/tonne)
Επεξεργασμένα και μεταποιημένα κατάλοιπα κρέατος	1364,01 (MJ/tonne)	8365,50 (MJ/tonne)
Βούτυρο	739,54 (MJ/tonne)	2863,98 (MJ/tonne)
Τυρί	1951,61 (MJ/tonne)	4709,41 (MJ/tonne)
Γάλα, γιαούρτι και λοιπά προϊόντα ζύμωσης	390 (MJ/tonne)	1167,88 (MJ/tonne)
Καπνιστό ψάρι	1941,90 (MJ/tonne)	4629,17 (MJ/tonne)
Προπαρασκευασμένα προϊόντα ή προϊόντα που διατηρούνται στη συντήρηση	779,99 (MJ/tonne)	2366,96 (MJ/tonne)
Πατάτες	1257,38 (MJ/tonne)	7979,03 (MJ/tonne)
Χυμός ντομάτας	202,28 (MJ/tonne)	10673,62 (MJ/tonne)
Μη συμπυκνωμένοι χυμοί	404,56 (MJ/tonne)	2005,90 (MJ/tonne)
Κατεψυγμένα λαχανικά	1194,27 (MJ/tonne)	4011,80 (MJ/tonne)
Λαχανικά τουρσί	584,19 (MJ/tonne)	2852,84 (MJ/tonne)
Κέτσαπ	614,93 (MJ/tonne)	3788,92 (MJ/tonne)
Μαρμελάδες	792,94 (MJ/tonne)	3343,17 (MJ/tonne)
Ξηροί καρποί	2427,37 (MJ/tonne)	10029,50 (MJ/tonne)
Παρθένο & μεταποιημένο ελαιόλαδο	603,61 (MJ/tonne)	-
Καλαμποκάλευρο	1618,25 (MJ/tonne)	5195,28 (MJ/tonne)
Μεταποιημένη ζάχαρη	898,13 (MJ/tonne)	11857,10 (MJ/tonne)
Ζαχαρότευτλα	8,09 (MJ/tonne)	4056,38 (MJ/tonne)
Ζωοτροφές για κατοικίδια	61,49 (MJ/tonne)	4947,89 (MJ/tonne)
Ζωοτροφές για κτηνοτροφικές μονάδες	242,74 (MJ/tonne)	617,37 (MJ/tonne)
Καφές	838,25 (MJ/tonne)	4450,87 (MJ/tonne)
Μπύρα	32,36 (MJ/hl)	341 (MJ/hl)
Εμφιαλωμένο νερό	215,23 (MJ/kl)	443,53 (MJ/kl)
Μεταλλικό νερό & αναψυκτικά	194,19 (MJ/kl)	802,36 (MJ/kl)
Τσιγάρα	6,94 (MJ/1000 sticks)	12,57 (MJ/1000 sticks)
Μπισκότα	1097,17 (MJ/tonne)	6441,17 (MJ/tonne)
Άλευρα	679,66 (MJ/tonne)	66,86 (MJ/tonne)
Σούπες & κύβοι	2993,76 (MJ/tonne)	6753,20 (MJ/tonne)
Ζυμαρικά	1048,62 (MJ/tonne)	4,46 (MJ/tonne)
Σίδηρος & χάλυβας		
Ακατέργαστο ατσάλι (επεξεργασμένο σε ηλεκτρικούς φούρνους)	2,39 (GJ/tonne)	0,70 (GJ/tonne)
Μεταποιημένα προϊόντα σε ρολό, θερμού ατσαλιού	0,56 (GJ/tonne)	2,67 (GJ/tonne)
Μεταποιημένα προϊόντα σε ρολό, ψυχρού ατσαλιού	0,70 (GJ/tonne)	1,63 (GJ/tonne)
Μη σιδηρούχα μέταλλα		
Πρωτογενές αλουμίνιο	79,55 (GJ/tonne)	3,70 (GJ/tonne)

Πίνακας III.2 (συνέχεια πίνακα)		
Προϊόν / ομάδα προϊόντων	Προϊόν / ομάδα προϊόντων	Προϊόν / ομάδα προϊόντων
Δευτερογενές αλουμίνιο	0,93 (GJ/tonne)	5,70 (GJ/tonne)
Μη μεταλλικά ορυκτά	Μη μεταλλικά ορυκτά	Μη μεταλλικά ορυκτά
Τσιμέντο «Portland»	0.22 (GJ/tonne)	0.95 (GJ/tonne)
«Κλίνκερ» τσιμέντου	0.29 (GJ/tonne)	2.19 (GJ/tonne)
Κεραμίδια	0.34 (GJ/1000 pieces)	10.54 (GJ/1000 pieces)
Οικοδομικά τούβλα αργίλου	0.22 (GJ/1000 pieces)	7.01 (GJ/1000 pieces)
Χαρτοποιία		
Χαρτί εφημερίδας	1.93 (GJ/tonne)	3.20 (GJ/tonne)
Άλλο είδος χαρτιού για γραφή και εκτυπώσεις	2.76 (GJ/tonne)	8.96 (GJ/tonne)
Χαρτί για οικιακή χρήση & χαρτί υγείας	3.32 (GJ/tonne)	6.40 (GJ/tonne)
Χαρτί συσκευασίας & χαρτοκιβώτια	2.07 (GJ/tonne)	6.40 (GJ/tonne)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΠΕΡΙΟΔΙΚΑ ΜΕ ΚΡΙΤΕΣ

1. Salta, M., Haralambopoulos, D., Polatidis, H., 'Energy use in the Greek manufacturing sector: A methodological framework based on physical indicators and decomposition analysis', *Energy*, vol. 34, pp. 90-111, 2009

Energy 34 (2009) 90–111



Contents lists available at ScienceDirect

Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy



Energy use in the Greek manufacturing sector: A methodological framework based on physical indicators with aggregation and decomposition analysis

Myrsine Salta *, Heracles Polatidis, Dias Haralambopoulos

Energy Management Laboratory, Department of Environment, University of the Aegean, University Hill, Mytilene 81100, Greece

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2 February 2008

Available online 20 November 2008

Keywords:

Physical indicators

Energy efficiency

Aggregation analysis

Index decomposition analysis

Greek manufacture

ABSTRACT

A *bottom-up* methodological framework was developed and applied for the period 1985–2002, to selected manufacturing sub-sectors in Greece namely, food, beverages and tobacco, iron and steel, non-ferrous metals, non-metallic minerals and paper. Disaggregate physical data were aggregated according to their *specific energy consumption (SEC)* values and *physical energy efficiency* indicators were estimated. The Logarithmic Mean Divisia index method was also used and the effects of the production, structure and energy efficiency to changes in sub-sectoral manufacturing energy use were further assessed. Primary physical energy efficiency improved by 28% for the iron and steel and by 9% for the non-metallic minerals industries, compared to the base year 1990. For the food, beverages and tobacco and the paper sub-sectors, primary efficiency deteriorated by 20% and by 15%, respectively; finally electricity efficiency deteriorated by 7% for the non-ferrous metals. Sub-sectoral energy use is mainly driven by production output and energy efficiency changes. Sensitivity analysis showed that alternative *SEC* values do not influence the results whereas the selected base year is more critical for this analysis. Significant efficiency improvements refer to "heavy" industry; "light" industry needs further attention by energy policy to modernize its production plants and improve its efficiency.

© 2008 Elsevier Ltd. All rights reserved.

2. Salta M., Polatidis H., Haralambopoulos D., 'Industrial combined heat and power (CHP) planning: Development of a methodology and application in Greece', Applied Energy, article in press, 2010

APEN 2351
14 December 2010

ARTICLE IN PRESS

No. of Pages 14, Model 5G

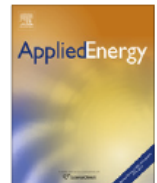
Applied Energy xxx (2010) xxx–xxx



Contents lists available at ScienceDirect

Applied Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/apenergy



2 Industrial combined heat and power (CHP) planning: Development
3 of a methodology and application in Greece

4 Myrsine Salta, Heracles Polatidis*, Dias Haralambopoulos

5 Energy Management Laboratory, Dept. of Environment, University of the Aegean, University Hill, Mytilene 81100, Greece

6 A R T I C L E I N F O

9 Article history:

10 Received 6 July 2010

11 Received in revised form 1 October 2010

12 Accepted 1 December 2010

13 Available online xxxx

14 Keywords:

15 Cogeneration

16 Primary energy savings indicator

17 Industry

18 Greece

A B S T R A C T

This paper establishes a methodology for the estimation of the primary energy savings of an industrial (sub)-sector and the primary energy savings of the total energy system due to CHP. A primary energy savings indicator within a (sub)-sector and a total primary energy savings indicator are developed which are related with the actual energy use of a (sub)-sector and the way of disposal of the excess CHP energy produced. The methodology is applied in an industrial sub-sector in Greece according to the 'power match' and the 'thermal match' CHP sizing scenarios; subsequently results are presented and the developed indicators are fully explained. It was found that the primary energy savings indicator of a sub-sector is determined by the efficiencies of the relevant technologies, and the interrelation of the 'power to heat' ratio of the CHP technology used and the 'power to heat' ratio of the sub-sector examined; the total primary energy savings indicator is determined by the efficiencies of the relevant technologies and the percentage of the CHP energy exported from the sub-sector. The methodology can be utilized for optimum CHP planning.

© 2010 Published by Elsevier Ltd.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΜΕ ΚΡΙΤΕΣ

1. Salta, M., Polatidis, H., Haralambopoulos D., ‘Penetration of Cogeneration in the Industrial Sector in Greece; A Primary Energy Savings Indicator Based on Actual Final Energy Consumption’, Proceedings of the International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development (EESD), World Academy of Science Engineering and Technology, vol. 54, pp. 40-53, Paris, 24-26 June 2009

World Academy of Science, Engineering and Technology 54 2009

Penetration of Cogeneration in the Industrial Sector in Greece; A Primary Energy Savings Indicator Based on Actual Final Energy Consumption

Salta Myrsine, Polatidis Heracles, Haralambopoulos Dias

Abstract – This paper analyzes the primary energy savings due to the Combined Heat and Power (CHP) penetration to the industrial sector in Greece. A framework for estimating a primary energy savings indicator at sectoral level is developed. This indicator is directly related to the actual energy demand of the sector. Initially, a short overview of the installed CHP capacity in the Greek industrial sector is presented. Then, the framework is applied to the food, beverages & tobacco and the non ferrous metals sub-sectors. Four alternative scenarios that assume different operating modes and size of CHP plants are considered. The primary energy efficiency savings indicators estimated, were from -2% to 28%; they are determined by the actual electricity and heat consumption of each sub-sector, the efficiencies of conversion technologies, and the relative assumptions of each developed scenario.

Keywords – cogeneration, Greece, indicators, industry