

**Κατανεμημένη Παραγωγή Ενέργειας:**

**Ανάπτυξη Πλαισίου και Εφαρμογή**

**(Distributed Generation)**

Μουφλουζέλλης Ευστράτιος

Μεταπτυχιακή Διατριβή στα πλαίσια του «ΘΕΟΦΡΑΣΤΕΙΟΥ»  
Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος Περιβάλλοντος του  
Πανεπιστημίου Αιγαίου

Επιβλέπων Καθηγητής: Χαραλαμπίδης Δίας

Σεπτέμβριος, 2005

Μυτιλήνη



# **Κατανεμημένη Παραγωγή Ενέργειας:**

## **Ανάπτυξη Πλαισίου και Εφαρμογή**

### **(Distributed Generation)**

Μουφλουζέλλης Ευστράτιος

Μεταπτυχιακή Διατριβή στα πλαίσια του «ΘΕΟΦΡΑΣΤΕΙΟΥ»  
Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος Περιβάλλοντος του  
Πανεπιστημίου Αιγαίου

Επιβλέπων Καθηγητής: Χαραλαμπίδης Δίας

Σεπτέμβριος, 2005

Μυτιλήνη

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η κατανεμημένη παραγωγή ενέργειας, αποτελεί την απάντηση στο ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν σήμερα οι περισσότερες χώρες παγκοσμίως. Εμφανίζεται, σε μια περίοδο όπου ο ενεργειακός τομέας αναζητά ριζικές λύσεις λόγω των αυξανόμενων περιβαλλοντικών πιέσεων και της επιφαινόμενης εξάντλησης των ορυκτών καυσίμων. Δηλώνει την παρουσία της στην σταδιακή απελευθέρωση της ενεργειακής αγοράς, και επιβεβαιώνεται ότι κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορεί να παρέχει αξιόπιστη, αδιάλειπτη, σταθερή και αποδοτική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια εποχή, όπου η ζήτηση σταθερής και αξιόπιστης ενέργειας σχετίζεται με την οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	<b>II</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>III</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b>	<b>V</b>
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b>	<b>VI</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b>	<b>VII</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>2</b>
1.1 ΣΤΟΧΟΙ	2
1.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	2
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ</b>	<b>5</b>
2.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	5
2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΟΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.	11
2.3 ΝΕΑ ΕΠΟΧΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	19
2.4 ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ	21
2.5 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
2.6 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	26
2.6.1 ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΙΣΧΥΟΣ	31
2.6.2 ΙΣΧΥΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	31
2.6.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΟΥ ΚΑΛΥΠΤΕΙ Η ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	33
2.6.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	33
2.6.5 ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	34
2.7 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	36
2.7.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	37
2.7.1.1 Η έννοια της συμπαραγωγής	37
2.7.1.2 Βασικές αρχές της συμπαραγωγής – είδη συστημάτων ΣΗΘ	43
2.7.1.2.1 Συστήματα ατμοστρόβιλου	49
2.7.1.2.2 Συστήματα αεριοστρόβιλου	52

2.7.1.2.3	Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης	54
2.7.1.2.4	Συστήματα συνδυασμένου κύκλου	58
2.7.1.2.5	Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά	59
2.7.1.2.6	Μονάδες συμπαραγωγής μικρής κλίμακας (μΣΗΘ)	60
2.7.1.2.7	Μικροστρόβιλοι (microturbines, MT)	65
2.7.1.2.8	Συμπαραγωγή με κυψέλες καυσίμου	68
2.7.1.2.9	Μηχανές Stirling	69
2.7.2	ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	73
2.7.3	ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	77
2.7.4	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	85

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΛΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ** **96**

<b>3.1</b>	<b>ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΛΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ</b>	<b>96</b>
3.1.1	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΖΗΤΗΣΗ	98
3.1.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ	101
3.1.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΩΝ ΑΠΕ	102
3.1.4	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ	103

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ** **106**

<b>4.1</b>	<b>ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΥ</b>	<b>106</b>
<b>4.2</b>	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</b>	<b>111</b>

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ** **116**

### **ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ** **124**

### **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ** **128**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ ΣΤΟ 2004	5
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ 2004	5
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΤΙΜΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΕΘΝΙΚΟΥΣ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΥΣ ΣΤΟΧΟΥΣ ΤΩΝ ΚΡΑΤΩΝ ΜΕΛΩΝ ΟΣΟ ΑΦΟΡΑ ΤΗ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Η ΟΠΟΙΑ ΠΑΡΑΓΕΤΑΙ ΑΠΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΧΡΙ ΤΟ 2010	21
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ <i>CIGRE, 2003</i>	27
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΠΟΙΟΣ ΕΙΝΑΙ Ο ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΔΙΝΕΤΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΣΠΑΡΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	29
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ	32
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΤΩΝ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΜΕ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΜΙΚΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΩΝ	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ STIRLING	73
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	76
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ C- Si	84
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΟΙ ΔΕΚΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΧΩΡΕΣ- ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕΧΡΙ ΤΑ ΤΕΛΗ ΤΟΥ 2004	86
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΝΕΑ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΟ 2004	87
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	101

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 1: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΓΛΙΑΝΘΡΑΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΕΤΗ 1994 – 2004	6
ΣΧΗΜΑ 2: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ	7
ΣΧΗΜΑ 3: ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ	7
ΣΧΗΜΑ 4: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	8
ΣΧΗΜΑ 5: ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	8
ΣΧΗΜΑ 6: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΡΟΣΦΟΡΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΑΝΑ ΕΙΔΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ, 1971 – 2020	9
ΣΧΗΜΑ 7: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΙ ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΡΟΪΟΝ ΑΠΟ ΤΟ 1850 ΕΩΣ ΤΟ 2000 (ΣΕ 1990 \$)	12
ΣΧΗΜΑ 8: ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΛΑΝΗΤΗ (1400 - 2000)	13
ΣΧΗΜΑ 9: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ CO <sub>2</sub> ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΧΡΟΝΟ, ΤΗΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΧΙΛΙΕΤΙΑ	14
ΣΧΗΜΑ 10: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΗ ΟΡΥΚΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΗΓΩΝ	18
ΣΧΗΜΑ 11: ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	36
ΣΧΗΜΑ 12: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	38
ΣΧΗΜΑ 13: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ	51
ΣΧΗΜΑ 14: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΗΘ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΠΟΜΑΣΤΕΥΣΗΣ	51
ΣΧΗΜΑ 15: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΚΥΚΛΟ ΒΑΣΗΣ ΑΤΜΟΥ	52
ΣΧΗΜΑ 16: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	53
ΣΧΗΜΑ 17: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΜΕ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ	54
ΣΧΗΜΑ 18: ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΜΕ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟ ΑΝΤΙΘΛΙΨΗΣ	58
ΣΧΗΜΑ 19: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΟΝΑΔΑΣ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΗΣ ΣΕ ΜΙΚΡΟΤΟΥΡΜΠΙΝΑ ΜΕ ΛΕΒΗΤΑ ΑΝΑΚΟΜΙΔΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	67
ΣΧΗΜΑ 20: Η ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΤΟΥΡΜΙΝΑΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΛΕΒΗΤΑ ΑΝΑΚΟΜΙΔΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	67
ΣΧΗΜΑ 21: ΤΥΠΟΙ ΜΗΧΑΝΩΝ STIRLING: (Α) ΑΛΦΑ, (Β) ΒΗΤΑ (C) ΓΑΜΑ	70
ΣΧΗΜΑ 22: ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO <sub>x</sub> , CO ΚΑΙ HC ΑΠΟ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΙ STIRLING ΜΟΝΑΔΕΣ ΣΗΘ	72
ΣΧΗΜΑ 23: ΚΥΨΕΛΗ (ΚΥΤΤΑΡΟ), ΠΛΑΙΣΙΟ (MODULE), ΠΑΝΕΛ	78
ΣΧΗΜΑ 24: ΤΥΠΙΚΕΣ ΦΒ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΣΤΗ ΝΕΑ ΠΟΛΗ ΚΙΥΟΜΙ-ΝΟ ΣΤΗΝ ΙΑΠΩΝΙΑ	78
ΣΧΗΜΑ 26: ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	81
ΣΧΗΜΑ 27: ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΕΦΕΔΡΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ	82
ΣΧΗΜΑ 28: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΣΤΑ ΚΡΑΤΗ ΜΕΛΗ ΤΗΣ ΙΕΑ, 1990- 2002	86
ΣΧΗΜΑ 29: ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΑΠΟ ΤΟ 1980- 2003	87
ΣΧΗΜΑ 30: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ	90
ΣΧΗΜΑ 31: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΥΠΟΥ H-DARRIEUS-TURBINE	91
ΣΧΗΜΑ 32: ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΟΥ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΕΝΟΣ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	97
ΣΧΗΜΑ 33: ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RETSCREEN	103
ΣΧΗΜΑ 34: ΈΝΑ ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ GEMIS	104
ΣΧΗΜΑ 35: ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ <i>ENERGY MODEL</i> ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RETSCREEN	108
ΣΧΗΜΑ 36: ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ <i>EQUIPMENT DATA</i> ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ RETSCREEN	108
ΣΧΗΜΑ 37: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ RETSCREEN	109
ΣΧΗΜΑ 38: ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ ELECTRICITY AND HEAT (GEMIS 4.2)	109
ΣΧΗΜΑ 39: ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ (GEMIS 4.2)	110
ΣΧΗΜΑ 40: ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ (GEMIS 4.2)	110
ΣΧΗΜΑ 41: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΑ ΠΕΔΙΑ (GEMIS 4.2)	110
ΣΧΗΜΑ 42: ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΤΥΧΟΥΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (GEMIS 4.2)	111
ΣΧΗΜΑ 43: ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	112
ΣΧΗΜΑ 44: ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ ΠΟΡΩΝ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΗ ΣΕ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	112
ΣΧΗΜΑ 45: ΕΚΠΟΜΠΕΣ NO <sub>x</sub> ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ (ΚΙΛΑ ΙΣΟΔΥΝΑΜΟΥ SO <sub>2</sub> )	113
ΣΧΗΜΑ 46: ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ	114



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κύριο Δία Χαραλαμπίδου που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το παρόν αντικείμενο και με καθοδήγησε στην ολοκλήρωση της συγγραφής αυτού, δεν αρκεί. Ουσιαστικά με ξύπνησε και με δίδαξε με τον τρόπο του, πώς να κοιτάω τα πράγματα με «στυλ».

Ο Ηρακλής Πολατίδης, δεν είναι τυχαίο που βρίσκεται εκεί που βρίσκεται. Μου το απέδειξε πολλάκις και εντός και εκτός Πανεπιστημίου. Τον ευχαριστώ για όλα όσα έκανε και τον συγχαίρω.

Η χρονιά που ήδη πέρασε, ήταν σημαντική γιατί γνώρισα τον Αντώνη, τη Μαρία, τη Τζένη, την Κική, τη Μιμή, την Κική, το Γιώργο (της Μιμής), τη Μαρία (του Αντώνη) το Σωτήρη και αρκετούς ακόμη. Βιώσαμε καταστάσεις δυνατές και δεθήκαμε πολύ. Μάθαμε να δουλεύουμε μαζί και να δουλεύομαστε. Το ότι κατάφερα να ολοκληρώσω την εργασία οφείλεται και σε αυτούς. Έτσι, τους ευχαριστώ.

Ο Μαρσέλος είναι εγγυημένο στήριγμα και για μια ακόμη φορά θα τον ευχαριστήσω. Ξέρει αυτός...

Τέλος, οφείλω να ομολογήσω ότι την εργασία δεν θα την ολοκλήρωνα αν δεν είχα δίπλα μου το Ναντιάκι μου. Θα είμαι όμως και εγώ πάντα δίπλα σου. Άλλωστε το ξέρεις...

Το πόνημα αυτό το αφιερώνω στους πολυαγαπημένους μου γονείς (18/10/2005)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 Στόχοι**

Ο στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η αναλυτική παρουσίαση της κατανεμημένης παραγωγής και η ανάπτυξη μιας μεθόδου που θα αξιολογεί τη δυνατότητα εφαρμογής αυτής. Η κατανεμημένη παραγωγή, καλύπτει ένα μεγάλο εύρος νέων και παραδοσιακών τεχνολογιών με μικρές μονάδες εγκατεστημένες κοντά στην κατανάλωση και πιστεύεται ότι θα συμβάλει στην κάλυψη ενός μεγάλου μέρους της ενεργειακής ζήτησης στα επόμενα χρόνια με τη δυναμική της είσοδο στην απελευθερωμένη αγορά ενέργειας.

### **1.2 Ανάπτυξη της διατριβής**

Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται μια ανασκόπηση της υφιστάμενης παγκόσμιας ενεργειακής κατάστασης. Αναλύονται οι κυριότερες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται, τα οποία κατά συντριπτική πλειοψηφία βασίζονται στους ορυκτούς πόρους. Αποτυπώνεται αφενός, η συνολική συνεισφορά αυτών στην ενεργειακή ζήτηση, αφετέρου τα παγκόσμια αποθέματα αυτών. Στη συνέχεια, γίνεται ανάπτυξη των περιβαλλοντικών και οικονομικών πιέσεων στον ενεργειακό τομέα. Αναπτύσσονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την παραγωγή, μετατροπή και χρήση των διάφορων πηγών ενέργειας και η συσχέτιση αυτών με τις κλιματικές αλλαγές. Παρουσιάζονται τα μέτρα που λαμβάνει η παγκόσμια κοινότητα και οι στόχοι που τίθενται από τις διάφορες διεθνείς συνθήκες, προκειμένου να επιτευχθεί ο έλεγχος περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Στη συνέχεια του Κεφαλαίου 2, παρουσιάζεται η υφιστάμενη κατάσταση στον ηλεκτρικό τομέα, οι αλλαγές που συνεπάγονται με τη απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, καθώς και το γενικό πλαίσιο και οι ρυθμίσεις που διέπουν τον τομέα της ενέργειας με βάση τα νέα δεδομένα. Γίνεται εισαγωγή και ορισμός της κατανεμημένης παραγωγής και αναλύονται τα βασικά χαρακτηριστικά που συνθέτουν την έννοια αυτής. Στο τέλος του κεφαλαίου, γίνεται μια παρουσίαση των κυριότερων τεχνολογιών που ολοκληρώνουν τη κατανεμημένη παραγωγή και η δυναμική της διείσδυσης αυτών στο νέο μοντέλο που προδιαγράφει η σταδιακή απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 3, αναπτύσσεται μια μέθοδος που περιλαμβάνει, (α) την ανάλυση και αξιολόγηση των παραγόντων που συμμετέχουν στο καθορισμό της ενεργειακής ζήτησης, (β) τον υπολογισμό των ηλεκτρικών, θερμικών και ψυκτικών φορτίων, (γ) την αποτίμηση του δυναμικού των ΑΠΕ και των αποδοτικών τεχνολογιών (ΣΗΘ) και (δ) τη συνολική αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Με βάση το παραπάνω πλαίσιο, μπορούν να προκύψουν συγκεκριμένες προτάσεις πολιτικής για την εφαρμογή της καταναμημένης παραγωγής.

Στο Κεφάλαιο 4, εξετάζεται η περίπτωση του ενεργειακού προβλήματος που αντιμετωπίζει ο οικισμός του Αγίου Ευστρατίου του ομώνυμου νησιού του Νομού Λέσβου. Ερευνώνται δύο λύσεις. Η πρώτη αφορά την εγκατάσταση ενός νέου συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τη κάλυψη της ηλεκτρικής ζήτησης και την εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης σε κάθε κτίριο για την κάλυψη των θερμικών αναγκών της περιοχής. Η δεύτερη, αφορά την εγκατάσταση ενός μικτού συστήματος καταναμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και συμπαραγωγής, που συνίσταται από 6 μονάδες ΣΗΘ διασυνδεδεμένες στο τοπικό δίκτυο θερμού νερού, δύο ανεμογεννήτριες και δυο κεντρικούς λέβητες για τη λειτουργία αιχμής. Με τη χρήση του μοντέλου GEMIS, και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, ολοκληρώνεται η ανάπτυξη του μεθοδολογικού πλαισίου, που παρουσιάστηκε στο τρίτο κεφάλαιο.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 5 συνοψίζονται τα συνολικά συμπεράσματα, όπως έχουν προκύψει από την ανάπτυξη των επί μέρους ενοτήτων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

### 2.1 Παγκόσμια ενεργειακή κατάσταση

Σε γενικές γραμμές, ο παγκόσμιος πληθυσμός σήμερα χρησιμοποιεί 14,2 Tera Watts (tera=  $10^{12}$ ) ισχύος<sup>1</sup> (έναντι 11,6 TW το 2001) κάθε είδους για τις καθημερινές δραστηριότητες. Από αυτές το 3% προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές και το 7% από πυρηνικούς σταθμούς, ενώ το υπόλοιπο 90% προέρχεται από ορυκτά καύσιμα. Εφόσον η παραγωγή του πετρελαίου συνεχιστεί με το ρυθμό του 2004, εκτιμάται από ορισμένους ερευνητές ότι τα σήμερα γνωστά αποθέματα θα έχουν εξαντληθεί σε 40,5 περίπου χρόνια (Πίνακας 1)<sup>1</sup>.

**Πίνακας 1: Αποθέματα πετρελαίου στο 2004<sup>1</sup>**

Περιοχές	Ασία-Ειρηνικός	Βόρεια Αμερική	N&K. Αμερική	Αφρική	Ευρώπη	Μ. Ανατολή
1000*10 <sup>6</sup> Βαρέλια	41,1	61,0	101,2	112,2	139,2	733,9

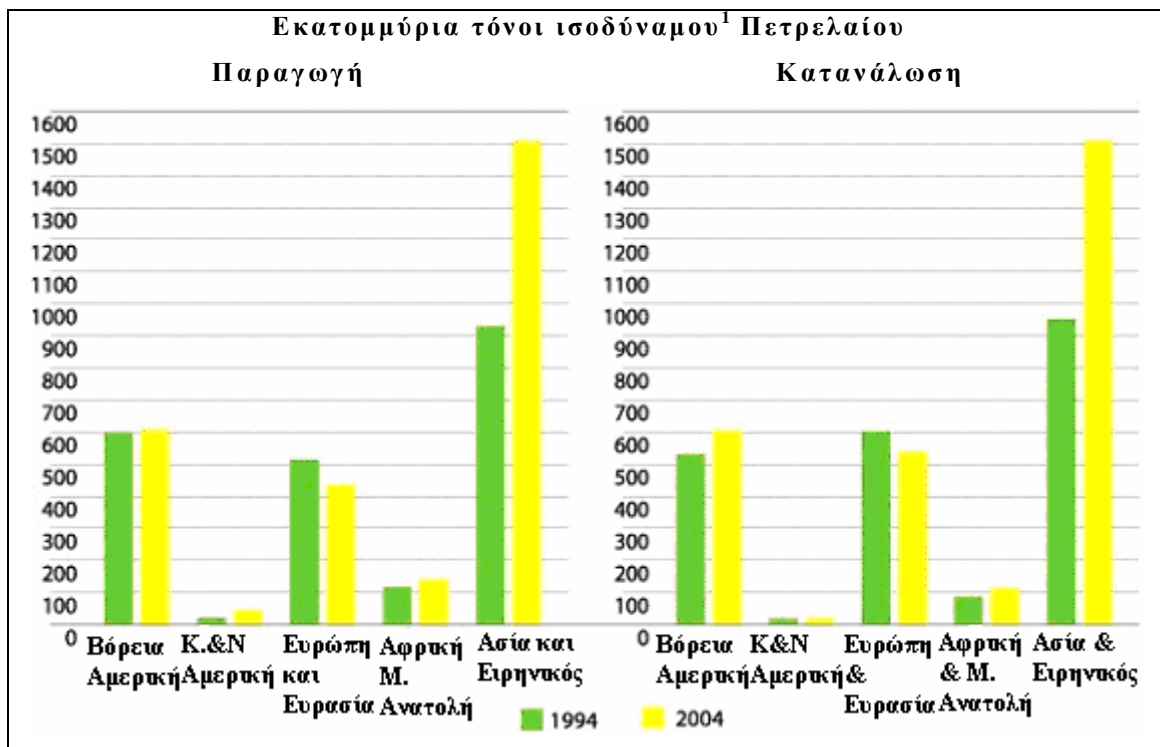
Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραγωγή έχει αυξηθεί κατά 20% από το 1994, ενώ ο ρυθμός αύξησης της παγκόσμιας κατανάλωσης πετρελαίου είναι ο υψηλότερος από το 1978 [BP, 2005]. Με την ίδια τακτική, το φυσικό αέριο θα έχει εξαντληθεί σε λιγότερο από 70 χρόνια (Πίνακας 2). Τα αποθέματα φυσικού αερίου είναι 26% υψηλότερα από τα επίπεδα του 1994, ενώ η παραγωγή 28% μεγαλύτερη.

Επιπροσθέτως, τα αποθέματα του άνθρακα εκτιμάται ότι θα έχουν εξαντληθεί σε λιγότερο από 180 χρόνια. Στο Σχήμα 1 φαίνεται ότι η κατανάλωση και παραγωγή γαιάνθρακα παρουσίασε πολύ μεγάλη αύξηση σε σχέση με τα επίπεδα του 1994, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι η Κίνα συμμετέχει κατά 75% περίπου στην αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής.

**Πίνακας 2: Αποθέματα φυσικού αερίου στο 2004<sup>1</sup>**

Περιοχές	Ασία-Ειρηνικός	Βόρεια Αμερική	N&K. Αμερική	Αφρική	Ευρώπη	Μ. Ανατολή
10 <sup>12</sup> m <sup>3</sup>	7.10	7.32	14.06	14.21	64.02	72.83

<sup>1</sup>(πηγή: BP Global Statistical Review of World Energy)

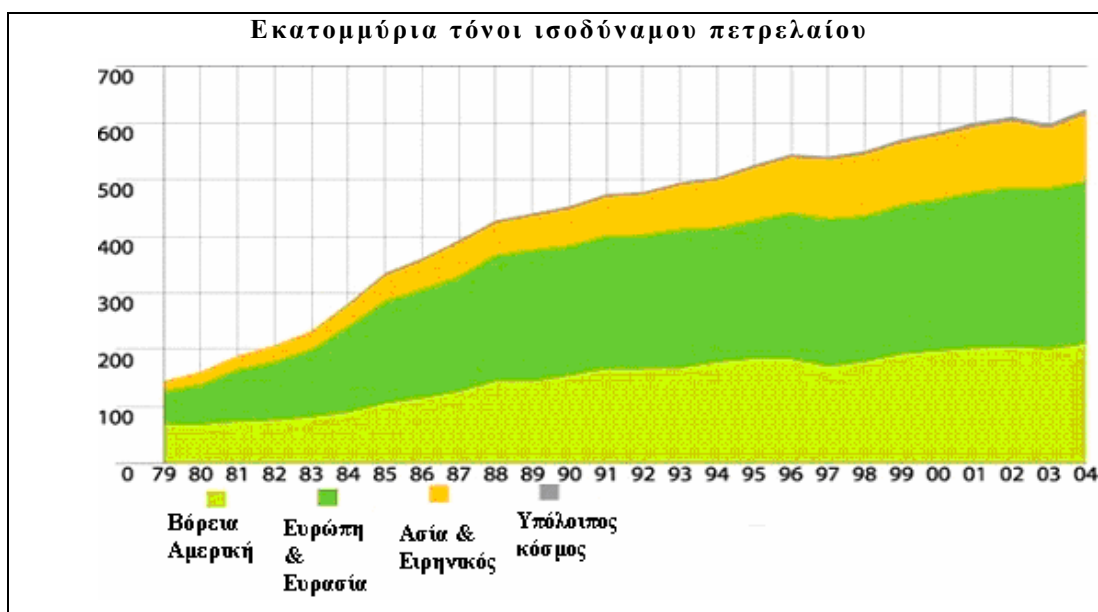


Σχήμα 1: Παγκόσμια παραγωγή και κατανάλωση γαιάνθρακα για τα έτη 1994 – 2004<sup>2</sup>

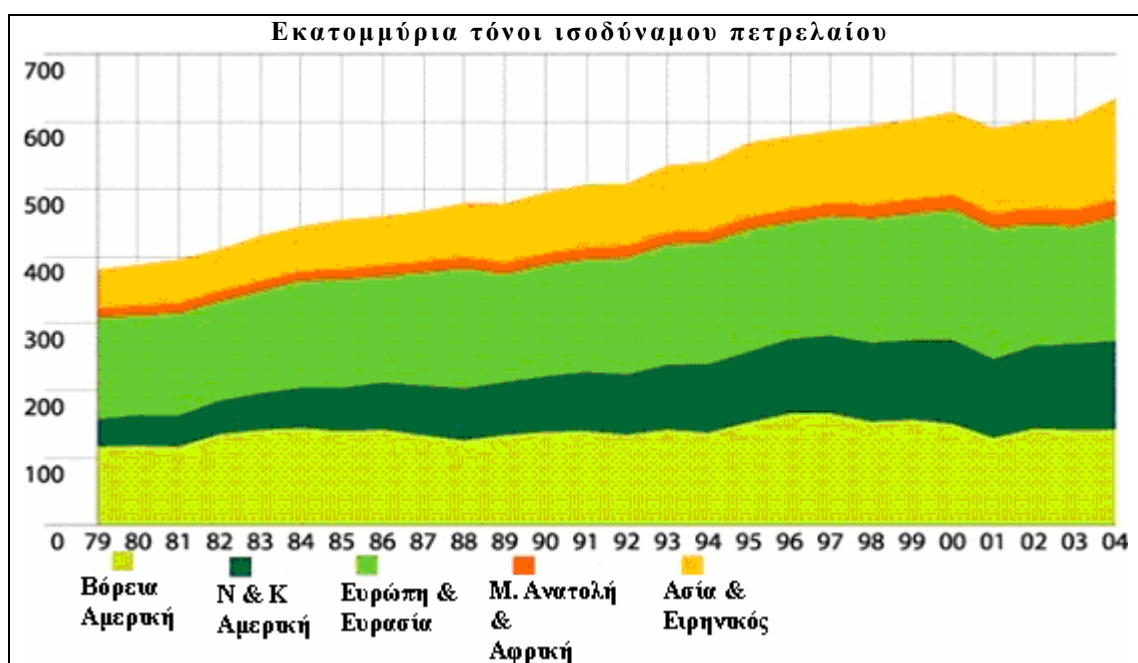
Όσο αφορά στον τομέα της παραγωγής πυρηνικής ενέργειας (Σχήμα 2), σημειώθηκε έντονη αύξηση έπειτα από μια μικρή υποχώρηση το 2003. Το 50% αυτής της παγκόσμιας αύξησης οφείλεται στην ανάκτηση της παραγωγής στην περιοχή της Ιαπωνίας, ενώ το κυριότερο μέρος από το υπόλοιπο 50%, στις ΗΠΑ και στον Καναδά [BP, 2005].

<sup>1</sup> 1 tn ισοδύναμου πετρελαίου ισούται προσεγγιστικά με 12 MWh ηλεκτρικής ενέργειας.

<sup>2</sup> (πηγή: BP Global Statistical Review of World Energy).



Σχήμα 2: κατανάλωση πυρηνικής ενέργειας ανά περιοχή<sup>1</sup>



Σχήμα 3: κατανάλωση υδροηλεκτρικής ενέργειας ανά περιοχή<sup>1</sup>

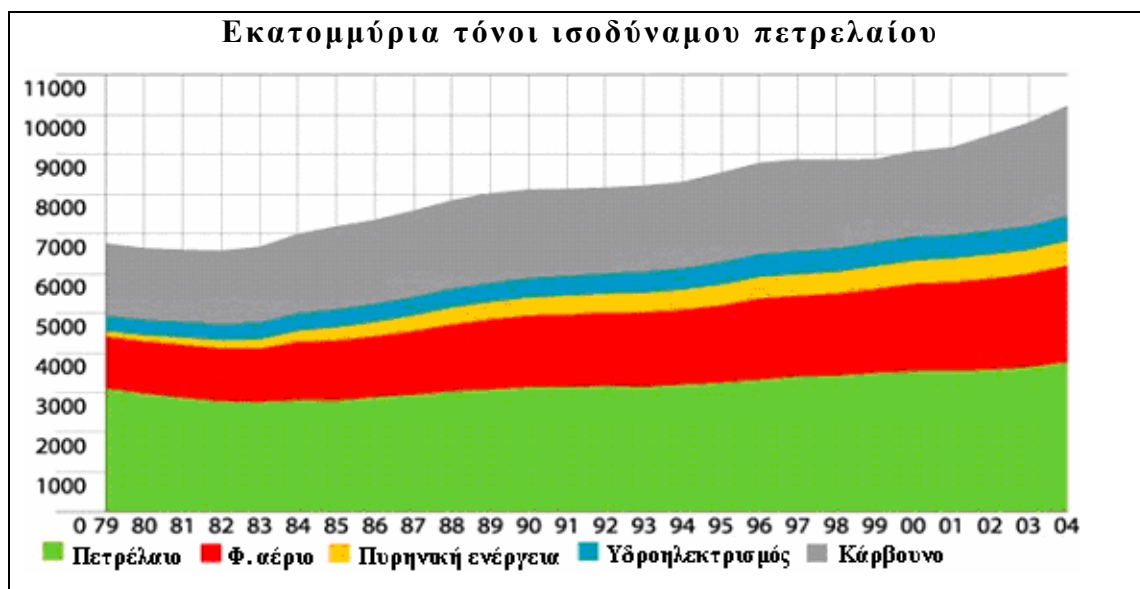
Στον τομέα της υδροηλεκτρικής ενέργειας, η παραγωγή παρουσίασε μικρή αύξηση της τάξης του 5% (Σχήμα 3). Το 50% της αύξησης οφείλεται στην περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού.

Στα Σχήματα 4 και 5, παρουσιάζονται πολύ ενδιαφέροντα στοιχεία που σχετίζονται με την παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και την κατανομή

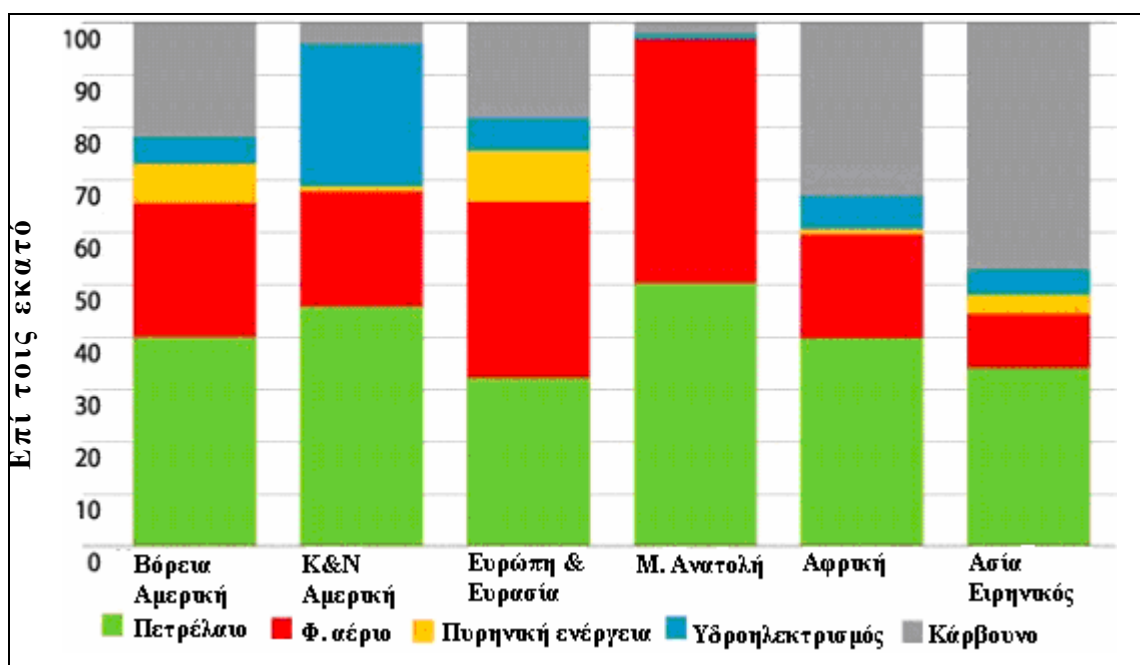
<sup>1</sup> (πηγή: BP Global Statistical Review of World Energy)



κατανάλωσης των κυριότερων μορφών πρωτογενούς ενέργειας ανά γεωγραφική περιοχή, αντίστοιχα.



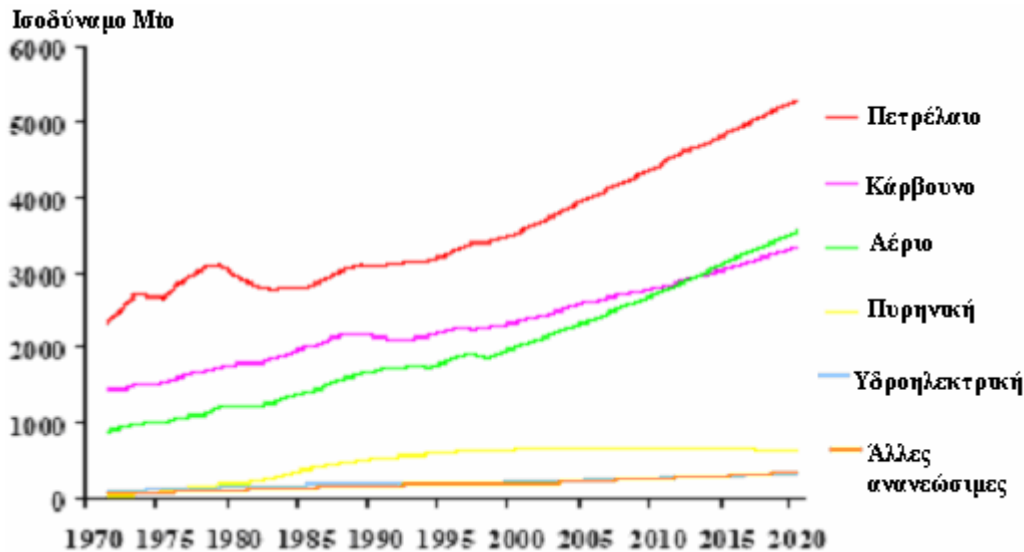
Σχήμα 4: παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας<sup>1</sup>



Σχήμα 5: κατανομή κατανάλωσης των κυριότερων μορφών πρωτογενούς ενέργειας ανά γεωγραφική περιοχή<sup>1</sup>

Η παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κατέγραψε την μεγαλύτερη αύξηση όλων των εποχών της τάξης του 4,3% [BP, 2005].

<sup>1</sup> (πηγή: BP Global Statistical Review of World Energy)



Σχήμα 6: Παγκόσμια προσφορά πρωτογενούς ενέργειας, ανά είδος καυσίμου, 1971 – 2020 [πηγή: POLES 2.2 (1996), IEA (2001)]

Όλες οι προβλέψεις όσο αφορά στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας, δείχνουν αύξηση. Το μοντέλο POLES προβλέπει σχεδόν διπλασιασμό της παγκόσμιας προσφοράς πρωτογενούς ενέργειας μεταξύ του 2000 και 2020 (Σχήμα 6) [IEA, 2001], προβλέψεις που συμφωνούν με άλλα μοντέλα (IEA, World Bank, κλπ ). Το ίδιο προβλέπεται να γίνει και με την ηλεκτρική ζήτηση, όπου θα αυξηθεί στην ίδια τάξη μεγέθους την ίδια περίοδο [Pilavachi P. A., 2002].

Η αύξηση αυτή αφορά σε όλες τις περιοχές και όλα τα καύσιμα. Επιπλέον, το πετρέλαιο παραμένει η κυριότερη πηγή ενέργειας για όλες σχεδόν τις περιοχές του πλανήτη. Εξαιρέσεις αποτελούν οι περιοχές της πρώην Σοβιετικής Ένωσης όπου κυριαρχεί το φυσικό αέριο, καθώς και της Ασίας και του Ειρηνικού όπου το επικρατέστερο καύσιμο είναι ο γαιάνθρακας. Με την υφιστάμενη κατάσταση στα ορυκτά καύσιμα και τις μελλοντικές προβλέψεις, δεν αποκλείεται, η πυρηνική ενέργεια και η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές να αποτελέσουν στο μέλλον τις μοναδικές επιλογές κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης του πλανήτη [Baptiste P. J. et al., 2003].

Εντούτοις, παρά την τεχνολογική ανάπτυξη, εξακολουθούν να υπάρχουν άλυτα προβλήματα στη χρησιμοποίηση της πυρηνικής ενέργειας από σχάση, όπως προβλήματα ασφάλειας, ρύπανσης εξαιτίας εναπόθεσης των αποβλήτων. Τα προβλήματα αυτά έχουν προκαλέσει ένα επιπλέον πρόβλημα, μη τεχνολογικό: την αντίθεση σε κοινωνικό επίπεδο. Έτσι, τα φιλόδοξα προγράμματα της δεκαετίας του 1960 πολλών προηγμένων χωρών για την επέκταση της πυρηνικής ενέργειας δεν εφαρμόστηκαν [Μήλιας- Αργεΐτης Ι., 1993]. Το μεγάλο κόστος παροχής ικανών μέτρων

ασφαλείας κατά των κινδύνων σε συνδυασμό με την αποστροφή της κοινής γνώμης, έχουν θέσει πέδη στην ανάπτυξη της πυρηνικής βιομηχανίας [Baptiste P. J. et al., 2003]. Ενδεικτικό είναι το γεγονός ότι σύμφωνα με την ΕΙΑ (2005), η μόνη χώρα παγκοσμίως που θα δημιουργήσει νέο πυρηνικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η Κίνα, ενώ παράλληλα καμία Πολιτεία των ΗΠΑ δεν έχει προχωρήσει σε κατασκευή νέου πυρηνικού σταθμού από το 1979 [IEA (2001), EIA (2005)].

Έτσι, αφενός η ανάπτυξη των πυρηνικών σταθμών βρίσκεται σε μια στασιμότητα, αφετέρου τα ορυκτά καύσιμα οδηγούνται στην εξάντληση. Με βάση τα δεδομένα αυτά θα μπορούσαν να αναλυθούν τα εξής σενάρια [Doder V et al. (2005), Meyer I. N. (2003)]:

- Ø μείωση της ζήτησης μέσω αποδοτικότερης διαχείρισης,
- Ø αύξηση του ποσού της παραγόμενης ενέργειας προερχόμενη από εναλλακτικές πηγές, εν προκειμένω, με την υλοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής (Distributed Generation), και
- Ø Αύξηση της απόδοσης των συστημάτων παραγωγής.

Η μείωση της ζήτησης, μπορεί και να αποδοθεί στο τεχνικό πεδίο ως μείωση της απορριπτόμενης ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι το 35% περίπου της ηλεκτρικής παραγωγής είναι αποδοτικό (Σχήμα 12) [Albertazzi S. Et al., 2005]. Στον τομέα των μεταφορών είναι βέβαιο πως δεν είναι όλες οι μετακινήσεις απαραίτητες, ενώ επίσης πολλές χρήσεις που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια δεν κρίνονται ως απολύτως αναγκαίες. Έτσι, τίθενται ζητήματα με την έννοια, αφενός της «σοφής» χρήσης-κατανάλωσης, αφετέρου, της μείωσης των απωλειών ή ισοδύναμα, της αύξησης της απόδοσης, κατά τη διαδικασία παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στο δεύτερο σκέλος. Οι απώλειες που προκύπτουν από την παραγωγή και μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας οφείλονται σε πολλούς λόγους μερικοί από τους οποίους αναπτύσσονται στα παρακάτω.

Κατά τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, αλλά κυρίως μέσης και χαμηλής τάσης, προκαλούνται σημαντικές απώλειες ισχύος οφειλόμενες κατά βάση στην ωμική αντίσταση των γραμμών, στην μεγάλη ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γύρω από τις γραμμές ισχύος υψηλής τάσης (φαινόμενο Κορώνα), στο ρεύμα διαρροής στους μονωτήρες που συγκρατούν τις γραμμές και στην αύξηση της ενεργού αντιστάσεως λόγω ανομοιογενούς κατανομής του ρεύματος κατά μήκος των γραμμών [Μήλιας- Αργείτης Ι., 1993].

Όσο αφορά στην παραγωγή, όλες οι συμβατικές μηχανές που μετατρέπουν τη θερμότητα σε μηχανικό έργο, είτε είναι μηχανές πετρελαίου αυτοκινήτων, είτε στρόβιλοι ατμού σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν μια θεωρητική μέγιστη απόδοση (που προκύπτει από το 2<sup>ο</sup> θερμοδυναμικό αξίωμα) [Serway R. A., 1990]. Επί παραδείγματι, η απόδοση ενός συμβατικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δεν υπερβαίνει το 40% όπως ακριβώς και μιας μηχανής εσωτερικής καύσης, όταν λειτουργεί στο βέλτιστο φορτίο και ταχύτητα [Fisk R. W., 1996].

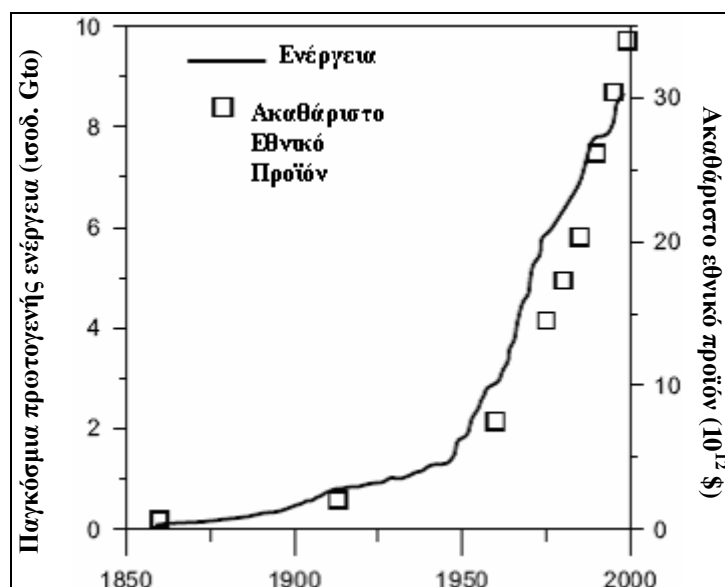
Το ζήτημα είναι, ότι δεν υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης της απόδοσης τέτοιων τεχνολογικών εφαρμογών εξαιτίας τεχνικών και οικονομικών περιορισμών [Serway R. A., 1990]. Επιπλέον, η έκλυση (απόρριψη) θερμότητας των θερμικών μηχανών που κατά βάση χρησιμοποιούνται σήμερα στην παραγωγή ενέργειας, γίνεται στις χαμηλότερες δυνατές θερμοκρασίες με σκοπό την επίτευξη μέγιστης απόδοσης, με αποτέλεσμα, η απορριπτόμενη θερμική ενέργεια να μην έχει πρακτική αξία. Αυξάνοντας όμως ηθελημένα τη θερμοκρασία απόρριψης, παρέχεται η δυνατότητα συμπληρωματικής δημιουργίας νέων εφαρμογών, όπως η θέρμανση χώρων, το ζεστό νερό χρήσης και ο ατμός για βιομηχανική χρήση.

Αυτή η προοπτική ενώ φαίνεται κάπως αντιφατική καθώς μειώνει την αρχικά αναμενόμενη μηχανική απόδοση, έχει μεγάλη σημασία αφού ουσιαστικά η απορριπτόμενη θερμότητα καθίσταται πλέον χρήσιμη, αυξάνοντας την συνολική απόδοση του συστήματος πάνω από 80% [Horlock J. H., 1992]. Η αρχή αυτή είναι γνωστή ως συμπαραγωγή ή συνδυασμένη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (combined heat and power CHP), και υπόσχεται να παρέχει πολλά οφέλη όσο αφορά στη ζητούμενη απόδοση σε σχέση με οποιεσδήποτε βελτιώσεις στις συμβατικές θερμικές μηχανές που συζητήθηκαν προηγουμένως. Εκτενέστερη ανάπτυξη της τεχνολογίας CHP, θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια.

## **2.2 Περιβαλλοντική και οικονομική κατάσταση στον ενεργειακό τομέα-προτάσεις.**

Ανέκαθεν, ο άνθρωπος αντιμετώπιζε το πρόβλημα εξεύρεσης ενέργειας [Baptiste P. J. et al., 2003]. Οι κυριότερες ενεργειακές πηγές με μικρές αποδόσεις βασιζόνταν στην κίνηση των ζώων, στην αιολική ενέργεια (ανεμόμυλοι, ιστιοφόρα), στην ενέργεια από το νερό (υδρόμυλοι) και στη βιομάζα (οικιστικές απαιτήσεις). Ουσιαστικά, τους δυο τελευταίους αιώνες, χάρη στην επιστημονική πρόοδο, ο ενεργειακός περιορισμός προοδευτικά χαλάρωσε με τη δυνατότητα εκμετάλλευσης πιο

συμπυκνωμένων ενεργειακών πηγών όπως, ο άνθρακας, το πετρέλαιο, το αέριο και το Ουράνιο. Η επανάσταση αυτή έφερε μια άνευ προηγουμένου οικονομική ανάπτυξη (Σχήμα 7).



Σχήμα 7: Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση και ακαθάριστο εθνικό προϊόν<sup>1</sup> από το 1850 έως το 2000 (σε 1990 \$) [πηγή: *Baptiste P. J. et al., 2003*]

Παρόλα αυτά, η παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας έχουν αναμφισβήτητα επιφέρει περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την παραγωγή, μετατροπή, μεταφορά και χρήση των διαφόρων πηγών ενέργειας ήταν ουσιώδεις στο παρελθόν, αλλά και σήμερα δεν μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες. Η βιομηχανία εξόρυξης άνθρακα επέφερε μεγάλες απώλειες στις προηγούμενες γενιές (δυστυχήματα, επαγγελματικές νόσους, υποβάθμιση περιοχών, εκτεταμένη ατμοσφαιρική ρύπανση, όξινη βροχή κλπ.). Ο ενεργειακός τομέας αποτέλεσε αιτία σημαντικών καταστροφών που σημάδεψαν την ιστορία του: πετρελαιοκηλίδες, αστοχίες υδροηλεκτρικών φραγμάτων, πυρηνικά ατυχήματα κλπ. Ο έλεγχος των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των διαφόρων ενεργειακών συστημάτων σε σχέση με τις εκπομπές, τα απόβλητα, τη διατάραξη των οικοσυστημάτων, υπό φυσιολογικές ή μη, συνθήκες λειτουργίας, αποτελεί μείζον θέμα. Από αυτό το πρίσμα, η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και των υπολοίπων αερίων του θερμοκηπίου, ένεκα της χρήσης ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, φυσικού αερίου και πετρελαίου), αποτελεί ένα ζήτημα [*Baptiste P. J. et al., 2003*].

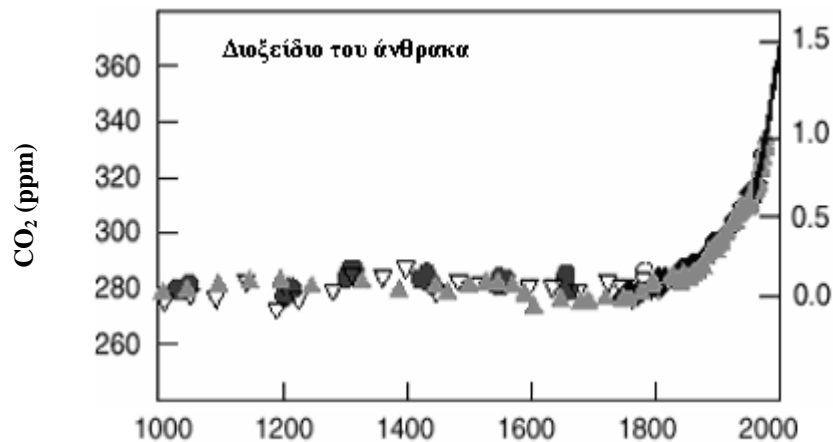
<sup>1</sup> Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν (gross domestic product): η συνολική αξία αγαθών και υπηρεσιών που παράγονται από ένα κράτος σε μια δεδομένη περίοδο.

Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> από ανθρωπογενείς ενέργειες αποτελούν την κύρια αιτία έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου και ο τομέας της ενέργειας είναι ο κύριος συντελεστής των εκπομπών CO<sub>2</sub> [Miller A. I. et al. (2005), IPCC (2001)]. Είναι αξιοσημείωτο, ότι η συσχέτιση των κλιματικών αλλαγών με την καύση ορυκτών καυσίμων, αποτελεί πεδίο έρευνας τα τελευταία δέκα περίπου χρόνια, όταν οι επιστήμονες παρουσίασαν τα πρώτα αισθητά αποτελέσματα και αφύπνισαν την κοινή γνώμη και τις κυβερνήσεις για τους κινδύνους της κλιματικής αλλαγής (Σχήμα 8) [IPCC, 2001]. Σύμφωνα με τα μοντέλα πρόγνωσης κλιματικών αλλαγών GCMs (global circulation models), η IPCC (2001), προβλέπει συνέχιση της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, ενδεχόμενο που θα έχει σοβαρές επιπτώσεις στους ζώντες οργανισμούς του πλανήτη σε κλίμακα χρόνου λιγότερη από έναν αιώνα [Taylor F. W., 2002].



Σχήμα 8: Μέση θερμοκρασία του πλανήτη (1400 - 2000) [πηγή: IPCC (2001)]

Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής έχει πλέον ενταχθεί ως μείζον και αναπόφευκτη παράμετρος στην παγκόσμια ενεργειακή πολιτική. Σήμερα, περίπου 29 δισεκατομμύρια τόνοι CO<sub>2</sub> ελευθερώνονται ετησίως στην ατμόσφαιρα εξαιτίας ανθρωπίνων δραστηριοτήτων, συμπεριλαμβάνοντας 23 δισεκατομμύρια από την καύση ορυκτών καυσίμων και το βιομηχανικό κλάδο [IPCC, 2001], προκαλώντας με τον τρόπο αυτό, μια απότομη μεταβολή στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση (Σχήμα 9).



Σχήμα 9: Παγκόσμια συγκέντρωση CO<sub>2</sub> σε συνάρτηση με το χρόνο, την τελευταία χιλιετία [πηγή: Taylor F. W., 2002]

Η Συνθήκη των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (UNCCC), που υπογράφηκε το 1992, είχε ως συνέχεια τη σύσκεψη του Κιότο (Δεκέμβριος 1997), όπου καθορίστηκαν τα πρώτα βήματα προς την διεθνή κατεύθυνση περιορισμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ειδικά των CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> και N<sub>2</sub>O). Εντούτοις, η εφαρμογή μιας διεθνούς συμφωνίας περιορισμού των εκπομπών είναι πολύπλοκο ζήτημα, με μείζονες γεωπολιτικές και οικονομικές συνέπειες, δεδομένου ότι:

- Οι παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται σταθερά, οδηγούμενες από την ανάπτυξη καθώς και από τη δημογραφική αύξηση και οικονομική ανάπτυξη του τρίτου κόσμου [IEA, 2001].
- Με βάση τα στοιχεία του προηγούμενου κεφαλαίου, η συντριπτική πλειοψηφία των αναγκών παρέχεται από ορυκτά καύσιμα (άνθρακα, πετρέλαιο, αέριο) τα οποία παράγουν CO<sub>2</sub> (Σχήμα 6).
- Προβλέπεται, ότι αν δεν παρθούν μέτρα μείωσης των εκπομπών, τότε αυτές θα ξεπεράσουν το όριο των 50 τόνων το χρόνο μέχρι το έτος 2050, ποσότητα σχεδόν διπλάσια από τη σημερινή [Williams R. H., 2001].
- Η σταθεροποίηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα στα επίπεδα των 550 ppm (στόχος αποδεκτός από την πλειοψηφία των επιστημόνων), προϋποθέτει μείωση των εκπομπών στο μισό σε σχέση με τα σημερινά επίπεδα [IPCC, 2001].

Είναι προφανές ότι το πρόβλημα αποτελεί ένα πολυκριτηριακό ζήτημα καθώς, κάθε ένα από αυτά έχει διαφορετική και χρονικά εξαρτώμενη βαρύτητα. Σήμερα, εκείνοι που λαμβάνουν τις αποφάσεις για την ενέργεια, δίνουν μεγάλο βάρος στην οικονομία, στην ασφαλή παροχή ενέργειας, στη χρήση εγχώριων πηγών, στη

συμμετοχή της εγχώριας βιομηχανίας, στην απασχόληση, στην περιβαλλοντική μόλυνση και στην κοινωνική αποδοχή [Vate J. F., 1997].

Τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες λύσης κατά τους [Baptiste P. J. et al., 2003]:

1. Εξοικονόμηση ενέργειας: Βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση και ορθολογιστική χρήση ενέργειας.
2. Διαχείριση αποβαλλόμενου άνθρακα: Ανάπτυξη τεχνικών για την σύλληψη και γεωλογική αποθήκευση του CO<sub>2</sub>.
3. Εξέλιξη του ενεργειακού μίγματος: Αντικατάσταση των καυσίμων υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (πετρέλαιο, λιγνίτης κλπ) με φυσικό αέριο, και μεγαλύτερη εξάρτηση από μορφές καυσίμων που δεν εκπέμπουν CO<sub>2</sub> όπως, η πυρηνική, οι ανανεώσιμες κλπ.

Η φαινομενική ενεργειακή αφθονία σήμερα δεν πρέπει να δημιουργεί την εντύπωση ότι οι πηγές ενέργειας είναι ανεξάντλητες. Με βάση τα στοιχεία των Πινάκων 1 και 2, καθίσταται σαφές, ότι ο άνθρωπος χρειάζεται να βελτιώνει τις τεχνικές παραγωγής συνεχώς, να δημιουργεί νέες ενεργειακές αποθήκες και έτσι, να αντισταθμίζει την σταδιακή μείωση των παγκόσμιων αποθεμάτων. Κατά συνέπεια, η ανάγκη για εξοικονόμηση ενέργειας δεν είναι απλά απαραίτητη για τη μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub>, αλλά ουσιώδης προκειμένου να διασφαλιστεί η σχετική διάρκεια των ενεργειακών πόρων στο πεδίο του χρόνου, να διευκολυνθεί η πρόσβαση στις αναπτυσσόμενες χώρες των οποίων οι ανάγκες θα είναι μεγαλύτερες στο μέλλον και τέλος, να διατηρηθεί το περιβάλλον και η ποιότητα ζωής των ανθρώπων των επόμενων γενεών σε υψηλά επίπεδα [Baptiste P. J. et al., 2003].

Η παραπάνω προσέγγιση περιλαμβάνει, βελτίωση της απόδοσης της παραγωγής ενέργειας και των συστημάτων εκμετάλλευσης, άρση της ενεργειακής σπατάλης και βέλτιστη χρήση των διαφορετικών ενεργειακών πόρων σε σχέση με τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει καθένας από αυτούς. Επιπλέον, η έρευνα πρέπει να οδηγεί συνέχεια σε νέα ενεργειακά συστήματα και ενεργειακές πηγές, ικανά να λειτουργήσουν στο άμεσο μέλλον.

Η πρόσβαση του ανθρώπου στην ενέργεια, που αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα στην άνεση και στη ποιότητα ζωής θεωρείται σήμερα μια κατάκτηση του ανθρώπου στις κοινωνίες των βιομηχανικών κρατών. Ο περιορισμός της ενεργειακής κατανάλωσης με τον καθορισμό για παράδειγμα υψηλών τιμών, βρίσκει εμπόδιο στην κοινωνική αποδοχή. Άρα, ίσως συνδυασμός με άλλες λύσεις όπως, βελτίωση των συσκευών μαζικής χρήσης, αποδοτικότερη μόνωση χώρων κλπ, πιθανό να επιφέρουν



κάποιο αποτέλεσμα. Νέο πρόβλημα βέβαια μπορεί να ανακύψει όταν, σε μια σταθεροποιημένη ενεργειακά κοινωνία, οι πολίτες αγνοούν την αρχή του περιορισμού ενεργειακής σπατάλης στις δραστηριότητές τους.

Η καθιέρωση νέων, αυστηρών προτύπων στην κατανάλωση ενέργειας στον βιομηχανικό τομέα, έχει φέρει κάποια αποτελέσματα στη σοφή χρήση της ενέργειας. Ενδεικτικό το παράδειγμα στη Ιαπωνία, όπου σύμφωνα με τους [Kosugi T. et al., 2005], οι εκπομπές CO<sub>2</sub> για την οικονομική περίοδο 1990- 2001 μειώθηκαν κατά 5,1% στον τομέα της βιομηχανίας. Σαφώς μεγάλο ρόλο στην επιτυχή μείωση των εκπομπών σε ένα τόσο κρίσιμο τομέα, έπαιξαν η ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών. Αντίστοιχες πρακτικές εφαρμόζονται και στον τριτογενή τομέα εφαρμογών φωτισμού, θέρμανσης και κλιματισμού. Στην άλλη άκρη της αλυσίδας, η τάση για αποδοτικότερη παραγωγή ενέργειας σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των τεχνολογιών συμπαραγωγής, και η εκτεταμένη χρήση αυτών, αποτελεί σημαντικό βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση με σύγχρονη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> [Laughton M., 1996].

Η διαχείριση του αποβαλλόμενου άνθρακα με τη χρήση δεξαμενών άνθρακα σε δασικές ή γεωργικές εκτάσεις, φαίνεται ότι αποτελεί πεδίο αμφισβητήσεων καθώς, αυτοί οι μηχανισμοί είναι πολύ δύσκολο να ελεγχθούν. Επιπλέον, οι δεξαμενές διατρέχουν τον κίνδυνο να μην είναι σταθερές σε εύρος χρόνου, δεδομένου ότι ο απορροφημένος άνθρακας μπορεί να απελευθερωθεί εκ νέου σε περίπτωση πυρκαγιάς δασών ή αλλαγής χρήσης της γης [Meyer I. N., 2003].

Τελικά, οι δύο βασικές λύσεις που θα προσεγγίσουν τους στόχους που έχουν τεθεί στο Κιότο, δεν μπορεί να είναι άλλες από την εξοικονόμηση ενέργειας και τη χρήση των ήπιων μορφών ενέργειας. Στην εργασία, θα γίνει εκτενής αναφορά στην δυναμικότητα και εφαρμογή των ήπιων μορφών ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Αυτό σε καμία περίπτωση δεν σημαίνει ότι η δυναμική της εξοικονόμησης ενέργειας είναι λιγότερο σημαντική. Αντιθέτως, είναι πιο αποδοτική οικονομικά στο κοντοπρόθεσμο μέλλον. Οι δύο αυτές λύσεις πρέπει να δράσουν συμπληρωματικά [Meyer I. N., 2003].

Η στροφή του ενεργειακού τομέα στην βελτίωση του ενεργειακού μίγματος, αποτελεί το βήμα εκείνο προκειμένου, να μειωθεί η εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και έτσι να μειωθούν οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας σε 0, 5-1 τόνο CO<sub>2</sub> ανά τόνο ισοδύναμου πετρελαίου. Με τη πρακτική αυτή, αφενός εξασφαλίζονται οι παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες, αφετέρου, σταθεροποιείται η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα στα επίπεδα των 550 ppm. Αυτό προϋποθέτει

εκμετάλλευση ενεργειακών πηγών χαμηλότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα όπως είναι το φυσικό αέριο, και ακόμη περισσότερο πηγών με μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub> [Baptiste P. J, et al. (2003), Elhadidy M. A. et al. (2005)].

Για κάθε χώρα, η επιλογή μεταξύ των διαφόρων διαθέσιμων ενεργειακών πόρων εξαρτάται έντονα από τους φυσικούς περιορισμούς που τίθενται για κάθε τύπο πόρου (υδατικό δυναμικό, αιολικό δυναμικό ανά περιοχή, μέγιστη μέση ηλιακή έκθεση ανά μονάδα επιφάνειας, κλπ). Για κάθε πόρο λοιπόν υπάρχει ένα κατώφλι βελτιστοποίησης της απόδοσης [Boyle G (1996), Kosugi T. et al. (2005)].

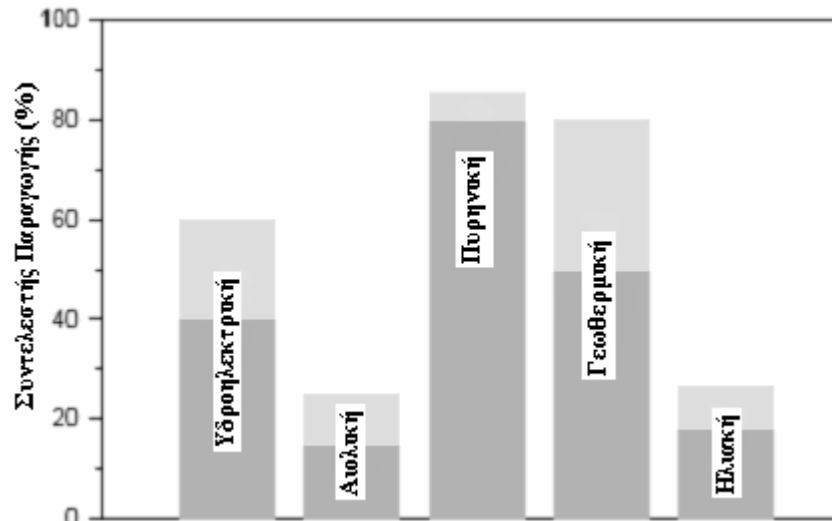
Εάν εξαιρεθεί η περίπτωση της πυρηνικής ενέργειας για τους λόγους που αναφέρθηκαν σε προηγούμενες ενότητες, οι εναλλακτικές πηγές ενέργειας θα παίξουν ένα πρωτεύοντα ρόλο στην προσπάθεια που γίνεται ενάντια της έξαρσης του φαινομένου του θερμοκηπίου [Meyer I. N., 2003].

Μεταξύ αυτών, ο υδροηλεκτρισμός παραμένει η ευρύτερα εκμεταλλεύσιμη ενεργειακή πηγή (Σχήματα 4 και 5) [BP, 2005]. Η υδροηλεκτρική παραγωγή συνεχίζει να αυξάνεται σταθερά, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες με συνολικό παραγωγικό δυναμικό 9000 TWh [BP (2005), IPCC (1996c)]. Η αιολική ενέργεια, χάρη στην σπουδαία πρόοδο που έχει γίνει στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών, είναι μια από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες μορφές. Το ποσό των ανεμογεννητριών που προστίθενται στο ηλεκτρικό δίκτυο αυξάνεται 30%- 40% κάθε χρόνο, με αποτέλεσμα η διείσδυση της αιολικής ενέργειας να είναι πλέον υπολογίσιμη [Landberg L. et al., 2003], παρά τον χαμηλό συντελεστή παραγωγής<sup>1</sup> (περίπου 20%) (Σχήμα 10).

Η ηλιακή ενέργεια, αναμένεται να παραμείνει ως βοηθητική ενεργειακή πηγή για αρκετά χρόνια ακόμη παρά την υψηλή της δυναμική στο πεδίο του χρόνου. Εντούτοις, κάποιες εφαρμογές αυτής (ηλιακοί θερμαντήρες νερού) έχουν αυξήσει τη δυναμική κάποιων κρατών που παρουσιάζουν υψηλή ηλιοφάνεια χωρίς βέβαια να έχουν ακόμη προσεγγίσει το στόχο που θέτει η Λευκή Βίβλος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (100 εκατομμύρια m<sup>2</sup> εγκατεστημένων συλλεκτών μέχρι το 2010) [Tsoutsos T. D., 2002].

---

<sup>1</sup> Συντελεστής παραγωγής: ετήσια μέση δυναμικότητα/ εγκατεστημένη δυναμικότητα.



Σχήμα 10: Συντελεστής παραγωγής (ετήσια μέση δυναμικότητα / εγκατεστημένη δυναμικότητα) διαφόρων μη ορυκτών ενεργειακών πηγών (ο χαμηλός συντελεστής αιολικής και ηλιακής ενέργειας οφείλεται στην ασυνεχή φύση αυτών των πηγών) [πηγή: Baptiste P.J. et al., 2003].

Η γεωθερμική ενέργεια μικρής έως μεσαίας έντασης ενεργειακής εφαρμογής για παραγωγή θερμότητας, προωθείται από πολλές χώρες (δίκτυα αστικής θέρμανσης). Είναι αξιοσημείωτο, ότι σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η παραγωγή θα ξεπεράσει το στόχο του 2010 (5000 MWth). Όσο αφορά στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού, αυτή περιορίζεται σε ένα μικρό αριθμό κρατών (σύνολο πέντε κράτη στην ΕΕ) όπου βρίσκονται κοντά σε ηφαιστειακά πεδία, με την Ιταλία να κατέχει την πρώτη θέση. Η παραγωγή κατέγραψε παρόλα αυτά μια αύξηση της τάξης του 7,2% το 2003 σε σχέση με το 2002 [European Commission, 2005].

Η εκμετάλλευση της βιομάζας που βασίζεται σε αυστηρά περιβαλλοντικά κριτήρια (σε αντίθετη περίπτωση ισοδυναμεί με αποψίλωση που αντιπροσωπεύει μια επιπλέον πηγή CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα), αυξάνεται με σταθερούς ρυθμούς, προϋποθέτει όμως την κατανάλωση νερού για άρδευση στην περίπτωση ενεργειακών φυτειών. Η συνολική παραγωγή ακατέργαστου βιοαερίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση έφτασε στα 3219 ktoe για το έτος 2003, σημειώνοντας αύξηση της τάξης του 7,3% σε σχέση με το 2002. Το μερίδιο των βιοκαυσίμων στην Ευρωπαϊκή κατανάλωση υπολογίζεται στο 1% σήμερα. Εντούτοις, αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, καθώς η Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει θέση ως αντικειμενικό στόχο την συμμετοχή των βιοκαυσίμων στη συνολική κατανάλωση στο 2% και 5% για τα έτη 2005 και 2010 αντίστοιχα [European Commission, 2005].

Τέλος, αναφέρονται επιγραμματικά τα οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια τα οποία είναι αναγκαία, προκειμένου να συμπληρώσουν τα τεχνικά που αναπτύχθηκαν νωρίτερα [Baptiste P. J. et al., 2003]:

- Οικονομικός ανταγωνισμός (κόστος KWh),
- Επιπτώσεις στην απασχόληση,
- Ευαισθησία στις τιμές των πρώτων υλών (πετρέλαιο, αέριο, Ουράνιο),
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και
- Κοινωνική αποδοχή.

### 2.3 Νέα εποχή στην ηλεκτρική ενέργεια

Ο ηλεκτρικός τομέας στο ξεκίνημά του το 1880 ήταν μια επικερδής οικονομική δραστηριότητα με την ανάπτυξη τοπικών συστημάτων παραγωγής, διανομής και πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας για τις τοπικές κοινωνίες. Μετέπειτα, αναπτύχθηκαν τα εθνικά διασυνδεδεμένα ηλεκτρικά συστήματα με αποκορύφωση, στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα, τους μεγάλους κεντρικούς σταθμούς παραγωγής για οικονομία κλίμακας και τα δίκτυα μεταφοράς, όπου σημαντικό ρόλο είχαν οι εθνικές κυβερνήσεις. Η έντονα αυξανόμενη ζήτηση στις ανεπτυγμένες οικονομίες ενίσχυσε την ιδέα για την ανάπτυξη ολοένα και μεγαλύτερων κεντρικών σταθμών παραγωγής, υδροηλεκτρικών, θερμικών ή και πυρηνικών.

Η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του '70, η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη δεκαετία του '80, ο περιορισμός των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων καθώς και η επιρροή των αρχών του νεοφιλελευθερισμού, άρχισαν σταδιακά να αλλάζουν τις στρατηγικές στον ηλεκτρικό τομέα. Αποκεντρωμένες μονάδες με αποδοτικές τεχνολογίες όπως της συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP) και μονάδες παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, άρχισαν να εντάσσονται στα ηλεκτρικά δίκτυα για παράλληλη λειτουργία με τους κεντρικούς σταθμούς [Χατζηβασιλειάδη I, 2004]. Η αλλαγή του ρυθμιστικού πλαισίου στον ηλεκτρικό τομέα και η σταδιακή απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που άρχισε στη δεκαετία του '90 δημιουργούν μια νέα δυναμική με την είσοδο του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

Ο ηλεκτρικός τομέας αποτελεί σήμερα την πιο κρίσιμη υποδομή των σύγχρονων κοινωνιών όπου η αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζει άμεσα τη λειτουργία σημαντικών άλλων τεχνολογικών υποδομών με αυξανόμενο το ενδιαφέρον

και εξάρτηση στο μέλλον. Παράλληλα, οι απαιτήσεις για αδιάλειπτη και υψηλής ποιότητας παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές καθίστανται επιτακτικές.

Μια μακρά και πολύ σημαντική για την οικονομία και την κοινωνία μεταβατική περίοδος στον ηλεκτρικό τομέα έχει αρχίσει. Αυτή χαρακτηρίζεται από νέους κανόνες και κρίσιμες αποφάσεις, νέες επιχειρηματικές προκλήσεις σε ένα ευρύτερο ανταγωνιστικό περιβάλλον και νέες τεχνολογίες με αναγκαίες επενδύσεις και προοπτικές για βιώσιμη ανάπτυξη. Σημαντικές ρυθμιστικές και τεχνολογικές εξελίξεις θα αποτελέσουν τη βάση για τη δημιουργία των νέων ηλεκτρικών συστημάτων αξιόπιστης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ευρώπη, η στρατηγική της ΕΕ στην έρευνα χαράσσει το δρόμο για βιώσιμα ηλεκτρικά συστήματα.

Η αποκεντρωμένη παραγωγή καλύπτει μεγάλο εύρος νέων τεχνολογιών με μικρές μονάδες εγκατεστημένες κοντά στην κατανάλωση και θα παίξει σημαντικό ρόλο. Η μεγάλη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών και άλλων νέων και αποδοτικών τεχνολογιών αποτελεί τη νέα πρόκληση στον ηλεκτρικό τομέα και θα απαιτηθούν ανάλογες επεμβάσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας, αιολικής ενέργειας, βιομάζας, μικρών υδροηλεκτρικών, συμπαραγωγής θερμότητας/ ψύξης, και ηλεκτρικής ενέργειας, κυψελών καυσίμου, συστημάτων αποθήκευσης, τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT), καθώς και άλλων τεχνολογιών (ηλεκτρονικά ισχύος, υπεραγωγιμότητα, υδρογόνο κλπ), συμπεριλαμβάνονται στους μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους.

Η διείσδυση και συμμετοχή των αποκεντρωμένων μονάδων στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το 2030 εκτιμάται για το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο 35%- 40%. Αυτό θεωρείται μεγάλη συμβολή στην ασφάλεια και στην αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και στη βιώσιμη ανάπτυξη. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές αναφοράς για τους εθνικούς ενδεικτικούς στόχους των κρατών μελών όσον αφορά τη συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2010.

Σύμφωνα με μελέτη (τέλος του 2003) του IEA οι επενδύσεις στην ενέργεια μέχρι το τέλος του 2030 σε παγκόσμιο επίπεδο εκτιμώνται σε \$16 τρις [IEA, 2003]. Η παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας θα απορροφήσει μέχρι και το 70% (πάνω από \$10 τρις) των παγκόσμιων ενεργειακών επενδύσεων, με σημαντικότερο μερίδιο τις επενδύσεις στα δίκτυα. Στην επόμενη ενότητα θα γίνει μια σύντομη αναφορά στο θεσμικό πλαίσιο και τις ρυθμίσεις που διέπουν τον τομέα της ηλεκτρικής

ενέργειας με σκοπό να γίνει ομαλή η εισαγωγή στην κατανομημένη (ή αλλιώς, διάσπαρτη ή αποκεντρωμένη) παραγωγή ενέργειας.

**Πίνακας 3: Τιμές αναφοράς για τους εθνικούς ενδεικτικούς στόχους των κρατών μελών όσο αφορά τη συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2010 [πηγή: Οδηγία 2001/77/EK]**

ΧΩΡΕΣ	HE-ΑΠΕ TWh 1997	HE-ΑΠΕ % 1997	HE-ΑΠΕ % 2010
<b>Βέλγιο</b>	0,86	1,1	<b>6,0</b>
<b>Δανία</b>	3,21	8,7	<b>29,0</b>
<b>Γερμανία</b>	24,91	4,5	<b>12,5</b>
<b>Ελλάδα</b>	3,94	8,6	<b>20,1</b>
<b>Ισπανία</b>	37,15	19,9	<b>29,4</b>
<b>Γαλλία</b>	66,00	15,0	<b>21,0</b>
<b>Ιρλανδία</b>	0,84	3,6	<b>13,2</b>
<b>Ιταλία</b>	46,46	16,0	<b>25,0</b>
<b>Λουξεμβούργο</b>	0,14	2,1	<b>5,7</b>
<b>Κάτω Χώρες</b>	3,45	3,5	<b>9,0</b>
<b>Αυστρία</b>	39,05	70,0	<b>78,1</b>
<b>Πορτογαλία</b>	14,30	38,5	<b>39,0</b>
<b>Φινλανδία</b>	19,03	24,7	<b>31,5</b>
<b>Σουηδία</b>	72,03	49,1	<b>60,0</b>
<b>Ηνωμένο Βασίλειο</b>	7,04	1,7	<b>10,0</b>
<b>Κοινότητα</b>	338,41	13,9 %	<b>22 %</b>

## 2.4 Γενικό θεσμικό πλαίσιο και ρυθμίσεις

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας επιβάλλει για λόγους διαφάνειας και καθαρού ανταγωνισμού τον διαχωρισμό του ηλεκτρικού τομέα, κυρίως των κάθετα δομημένων επιχειρήσεων ηλεκτρισμού, στις μονάδες παραγωγής, στο σύστημα μεταφοράς (υψηλή τάση) και στο σύστημα διανομής (μέση και χαμηλή τάση). Παραδοσιακά, τα συστήματα διανομής λαμβάνονται ως ισοδύναμα φορτία από τα συστήματα μεταφοράς, ενώ τα συστήματα μεταφοράς λαμβάνονται ως ισοδύναμες πηγές ενέργειας από τα συστήματα διανομής [Sun H. B. et al., 2005]. Πρακτικά, ο διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς (TSO, Transmission System Operator) και ο διαχειριστής του δικτύου διανομής (DNO, Distribution Network Operator) αποτελούν φυσικά μονοπώλια με καθορισμένο το περιθώριο κέρδους και διέπονται από νόμους και κώδικες λειτουργίας ενιαίους για όλους όσους έχουν πρόσβαση στο δίκτυο, καταναλωτές και παραγωγούς [Χατζηβασιλειάδη I, 2004].

Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και ο ελεύθερος ανταγωνισμός περιορίζονται στην παραγωγή και εμπορία. Μια κρατική ρυθμιστική αρχή παρακολουθεί, ελέγχει και ρυθμίζει τη λειτουργία της αγοράς για την εξυπηρέτηση των καταναλωτών και τις δράσεις όσων εμπλέκονται στον ηλεκτρικό τομέα. Βεβαίως, η αξιοπιστία και ασφαλής παροχή ηλεκτρικής ενέργειας διαχωρίζονται από τη λειτουργία της αγοράς. Οι

διαχειριστές (TSO, DNO), θα πρέπει να διατηρούν ένα αποδεκτό επίπεδο ασφαλείας και αξιόπιστης παροχής.

Στη συνέχεια δίνεται μια σύντομη ανασκόπηση χρήσιμων εννοιών και μεθόδων. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής πρέπει να μεταφερθεί και να διανεμηθεί στα σημεία καταναλώσεως που είναι συνήθως τα αστικά κέντρα, μικρότεροι οικισμοί, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αγροτικές εγκαταστάσεις κ.λ.π. Κατά τη διαδικασία μεταφοράς και διανομής, τρία είναι τα σημεία κύριου ενδιαφέροντος [Μήλιας- Αργείτης Ι., 1993]: α) της καλής λειτουργίας, β) της ασφαλούς λειτουργίας και γ) της οικονομικής εκμεταλλεύσεως.

Με τον όρο καλή λειτουργία εννοείται, ότι το σύστημα λειτουργεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι μεταβολές τάσεως στα σημεία των καταναλώσεων να μην υπερβαίνουν ορισμένα όρια. Τούτο απαιτείται από την ανάγκη ομοιόμορφης και αποδοτικής λειτουργίας των συσκευών και πολλές φορές, για την αποφυγή συντομεύσεως του χρόνου ζωής τους. Γενικά, η κατανάλωση ζητεί όσο το δυνατό πιο σταθερή τάση δικτύου και το σύστημα πρέπει να ικανοποιεί την απαίτηση αυτή μέσα στα πλαίσια ορισμένων ανοχών.

Η ασφαλής λειτουργία αναφέρεται στο φαινόμενο *Joule* κατά το οποίο, η διέλευση ρεύματος μέσα από αγωγό προκαλεί την έκλυση θερμότητας. Η θερμότητα αυτή υπό ορισμένες συνθήκες και όταν υπερβαίνει ανεκτά όρια, μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά. Στην ασφαλή λειτουργία μπορούν να ενταχθούν και οι μέθοδοι εκείνες που χρησιμοποιούνται για να αποφευχθούν σπινθήρες και διασπάσεις λόγω υψηλών τάσεων καθώς και στον υπολογισμό των γραμμών για να αντέχουν στις μηχανικές τάσεις.

Η οικονομική εκμετάλλευση των γραμμών αποβλέπει στο να ελαχιστοποιήσει τις ετήσιες δαπάνες της γραμμής. Οι δαπάνες αυτές είναι συνδυασμός του αρχικού κόστους προμήθειας και εγκατάστασης της γραμμής και του κόστους λειτουργίας της που περιλαμβάνει και τις απώλειες της γραμμής. Για παράδειγμα, εάν μειωθεί η διατομή του αγωγού μιας γραμμής, θα μειωθεί και το κόστος προμήθειάς της, αλλά θα αυξηθούν οι απώλειες κατά μήκος των αγωγών της.

Ο ηλεκτρικός τομέας μέχρι πρόσφατα αναπτύχθηκε έτσι ώστε η ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες παραγωγής όπου παράγεται, να μεταφέρεται μέσω των δικτύων στον καταναλωτή. Επομένως, η ροή σε αυτά τα δίκτυα (παθητικά δίκτυα) έχει μια κατεύθυνση, από τον κεντρικό σταθμό στον καταναλωτή, που μπορεί να καλύπτει μεγάλες αποστάσεις με γραμμές μεταφοράς και δίκτυα διανομής με σημαντικές απώλειες (απώλειες μεταφοράς) [Μήλιας- Αργείτης Ι. (2), 1993]. Οι αποκεντρωμένες

μονάδες συνδέονται συνηθέστερα στο Δίκτυο Διανομής κοντά στα φορτία ζήτησης και η ροή ηλεκτρικής ενέργειας στα δίκτυα μπορεί να είναι αμφίδρομη καθιστώντας αυτά σε «ενεργητικά δίκτυα» [Sun H. B. et al., 2005]. Το πρόβλημα που ανακύπτει, είναι ότι τα υπάρχοντα δίκτυα έχουν σχεδιαστεί σαν παθητικά με αποτέλεσμα να μην προσφέρουν ικανοποιητική απόδοση για αυτές τις νέες λειτουργικές απαιτήσεις, ιδιαίτερα όταν υπάρχει υψηλή διείσδυση αποκεντρωμένων μονάδων. Η ανάγκη μελέτης και ανάπτυξης ενεργητικών δικτύων που θα ανταποκρίνονται και στις νέες συνθήκες της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, είναι επιτακτική σήμερα και θα απαιτήσει νέες ιδέες που θα συμπράξουν με νέες τεχνολογίες [Μήλιας- Αργείτης Ι. (Ι), 1993].

Επομένως, ο ρόλος του διαχειριστή δικτύου διανομής είναι πολύ βασικός για την ανάπτυξη και λειτουργία των νέων δικτύων και την ένταξη των αποκεντρωμένων μονάδων. Όπως είναι φυσικό, στις νέες συνθήκες, οι επενδύσεις τόσο στη μεταφορά όσο και στη διανομή δεν είναι οικονομικά ελκυστικές με αποτέλεσμα τον περιορισμό των επενδύσεων, την προοδευτική υπερφόρτωση δικτύων με αύξηση των απωλειών και των κινδύνων μερικών ή ολικών διακοπών. Με τις αναθεωρήσεις και βελτιώσεις των κωδίκων (DNO) που γίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα σε χώρες μέλη της ΕΕ, άρχισαν ήδη να δίδονται οικονομικά κίνητρα που ενθαρρύνουν επενδύσεις για τη μείωση των απωλειών διανομής και την εισαγωγή νέων τεχνολογιών.

Στα πλαίσια της στρατηγικής της ΕΕ για την ενέργεια, οι χώρες μέλη επεξεργάζονται και εφαρμόζουν προγράμματα για την ανάπτυξη της κατακεντρωμένης παραγωγής με μονάδες ανανεώσιμων πηγών και με αποδοτικές τεχνολογίες συμπαραγωγής προβλέποντας τις αναγκαίες ρυθμίσεις. Πρόσφατα (Φεβρουάριος 2004), ένα τέτοιο πρόγραμμα στη Μ. Βρετανία για μεγάλη διείσδυση συμπαραγωγής στο δίκτυο (10% για το 2010) συνδυάστηκε με την ίδρυση και λειτουργία ενός «Κέντρου Αποκεντρωμένης Παραγωγής και Βιώσιμης Ηλεκτρικής Ενέργειας» με πρωτοβουλία του υπουργείου Βιομηχανίας (DTI) και της Ρυθμιστικής Αρχής, αλλά και την υποστήριξη του Διαχειριστή Δικτύου Διανομής. Αυτό το Κέντρο θα επιλύσει τυχόν προβλήματα και θα υποστηρίξει την οικονομική και αποδοτική ένταξη των μονάδων στο δίκτυο.

Οι πρόσφατες ολικές διακοπές ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές της Ευρώπης και των ΗΠΑ δημιουργούν την ανάγκη για τη λήψη μέτρων. Στις ΗΠΑ αναλαμβάνεται μια πρωτοβουλία μακράς πνοής από το υπουργείο ενέργειας (DOE, [www.energy.gov](http://www.energy.gov)) για την ανασχεδίαση και ανασυγκρότηση του δικτύου της χώρας με νέες τεχνολογίες που θα αποτελέσει το δίκτυο του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση προβληματίζει η



ανάπτυξη των διασυνδέσεων και η λειτουργία και διαχείριση του ενιαίου Ευρωπαϊκού δικτύου. Καθίσταται αναγκαία η εισαγωγή νέων τεχνολογιών στο σύστημα μεταφοράς καθώς και νέων ιδεών και κανόνων στη δομή και διαχείριση.

Το Ευρωπαϊκό Σύνταγμα, που αναμένεται να αποτελέσει τον καταστατικό χάρτη της Ενωμένης Ευρώπης, περιλαμβάνει [*Ευρωπαϊκή Ένωση, 2003*]:

- Την Εξασφάλιση λειτουργίας της ενεργειακής αγοράς,
- Την εξασφάλιση ασφαλούς προμήθειας ενέργειας της ΕΕ,
- Την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς και την ανάπτυξη νέων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Επομένως, προδιαγράφονται ευοίωνες προοπτικές για την κατανομημένη παραγωγή. Η ένταξη των μονάδων για μεγάλη διείσδυση με την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών ικανοποιεί πλήρως και τις τρεις παραπάνω περιοχές.

## **2.5 Κατανομημένη παραγωγή – Εισαγωγή**

Η κατανομημένη παραγωγή αποτελεί μια νέα ιδέα στην οικονομική βιβλιογραφία της αγοράς του ηλεκτρισμού, αλλά στην πραγματικότητα ως ιδέα είναι κάθε άλλο παρά καινούργια. Όταν η ηλεκτρική παραγωγή βρισκόταν σε εμβρυακό στάδιο, η κατανομημένη παραγωγή ήταν ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Τα πρώτα εργοστάσια παραγωγής ισχύος παρείχαν ηλεκτρισμό σε φορτία-πελάτες που βρίσκονταν σε μικρή ακτίνα από αυτούς.

Τα πρώτα ηλεκτρικά δίκτυα ισχύος (grids<sup>1</sup>) ήταν συνεχούς ρεύματος (Direct Current, DC), οπότε η τάση παροχής ήταν σχετικά περιορισμένη, όπως και η απόσταση μεταξύ σταθμού παραγωγής και καταναλωτή. Η εξισορρόπηση ζήτησης και προμήθειας υλοποιούνταν μερικώς με τη χρήση τοπικής αποθήκευσης ενέργειας, όπως για παράδειγμα με τη χρήση συσσωρευτών οι οποίοι είχαν τη δυνατότητα άμεσης ηλεκτρικής σύνδεσης με το DC δίκτυο ισχύος. Παράλληλα, με τη μικρής κλίμακας παραγωγή, επιστρέφουν στο προσκήνιο και οι μονάδες τοπικής αποθήκευσης [*Dondi P. Et al., 2002*].

Με το πέρασμα του χρόνου, τεχνολογικές εξελίξεις, όπως η εμφάνιση των δικτύων ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος (Alternate Current, AC), έδωσαν ώθηση στην ανάπτυξη του τομέα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέποντας την

---

<sup>1</sup> Ως ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος (grid) αναφέρεται γενικώς το αυτοελεγχόμενο τοπικό ή περιφερειακό δίκτυο των εργοστασίων παραγωγής ισχύος, η υψηλής ή χαμηλής τάσης γραμμές ισχύος και οι εγκατεστημένοι σταθμοί μετασχηματιστών που μεταφέρουν την παραγόμενη ισχύ από τα εργοστάσια στους καταναλωτές.

μεταφορά του ηλεκτρισμού σε μεγάλες πλέον αποστάσεις. Η πρώτη εγκατάσταση διανομής ηλεκτρικής ενέργειας έγινε από τον Thomas Edison με τη χρησιμοποίηση τάσεως 60V η οποία αργότερα αυξήθηκε [*Μήλιας- Αργείτης I. (2), 1993*]. Επιπλέον, οι οικονομίες κλίμακας<sup>1</sup> στην παραγωγή ηλεκτρισμού οδήγησαν σε μια αύξηση της παραγόμενης ισχύος των εργοστασίων, καθώς και στη μείωση του κόστους ανά μονάδα. Κατασκευάστηκαν μαζικά ηλεκτρικά συστήματα, που συνίστατο από τεράστια δίκτυα μεταφοράς και διανομής, καθώς και μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ισορροπία προσφοράς και ζήτησης επιτεύχθηκε από τη μέση επίδραση του συνδυασμού μεγάλων ποσοτήτων ακαριαία μεταβαλλόμενων φορτίων. Η ασφάλεια της παροχής αυξήθηκε αφού, η μερική ή πλήρης ανεπάρκεια κάποιας μονάδας παραγωγής σε ένα χρονικό διάστημα αντισταθμίστηκε από τις υπόλοιπες μονάδες παραγωγής εντός του διασυνδεδεμένου συστήματος. Στην πραγματικότητα, αυτή η διασύνδεση του συστήματος υψηλής τάσης είχε ως αποτέλεσμα να γίνει εφικτή η οικονομία κλίμακας. Την τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογικές καινοτομίες και οι αλλαγές στο οικονομικό και στο ρυθμιστικό περιβάλλον έφεραν στο προσκήνιο την κατανομημένη παραγωγή.

Αυτό επιβεβαιώνεται από την IEA (*International Energy Agency, 2003*) όπου παραθέτει τους πέντε βασικούς λόγους που συνετέλεσαν σ' αυτό:

- Ανάπτυξη των τεχνολογιών κατανομημένης παραγωγής.
- Περιορισμοί στην κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς.
- Αυξημένη ζήτηση παροχής ηλεκτρισμού υψηλής αξιοπιστίας.
- Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Προβληματισμοί για τις κλιματικές αλλαγές.

Η ενεργειακά απελευθερωμένη κοινή αγορά προχώρησε στις διαδικασίες φιλελευθεροποίησης του ενεργειακού τομέα με πολύ αργά βήματα, με διαφορετικά χαρακτηριστικά και σε διαφορετικούς χρόνους στις περισσότερες χώρες μέλη της ΕΕ. Όπως έγινε και σε άλλους τομείς, τα πρώτα βήματα και οι αρχικές ενέργειες για την κοινή αγορά της ενέργειας, όπως η Ντιρεκτίβες 96/92/EC και 98/30/EC αντίστοιχα, που καθορίζουν τα γενικά κριτήρια της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρισμού και φυσικού αερίου, προσπαθούν να συμβιβάσουν τις ρυθμιστικές δομές των αγορών των κρατών μελών.

---

<sup>1</sup> Η μείωση του κόστους κατασκευής, οφειλόμενη στη μαζική παραγωγή. Αυτό σημαίνει, αύξηση της απόδοσης παραγωγής, καθώς η ποσότητα των παραγόμενων αγαθών αυξάνει. Ουσιαστικά, μια εταιρία που επιτυγχάνει οικονομίες κλίμακας, μειώνει το μέσο κόστος ανά μονάδα, μέσω αύξησης παραγωγής, καθώς τα σταθερά κόστη καταμερίζονται στην αυξημένη ποσότητα των προϊόντων.

Παρά τις προσπάθειες τόσο σε κρατικό όσο και σε κοινοτικό επίπεδο, το ενεργειακό κόστος πέφτει και οι βελτιώσεις στην παρεχόμενη αξιοπιστία και στην αποδοτική ενεργειακή συντήρηση δεν είναι οι αναμενόμενες. Έλλειψη στην εγκατεστημένη ηλεκτρική ενέργεια σε τοπικό επίπεδο σε διάφορα μέρη στην Ευρώπη, προκαλούν τη δύσκολη αντιμετώπιση από τον ενεργειακό τομέα. Η κατάσταση δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο από την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση.

Ο αριθμός των διαχειριστών αγοράς (market operators) παραμένει μικρός σε πολλές χώρες, με αποτέλεσμα η κατανεμημένη παραγωγή να μην έχει πάρει τις αναμενόμενες διαστάσεις. Είναι πολλά τα εμπόδια που τίθενται στη εξάπλωση της κατανεμημένης παραγωγής και ειδικότερα στα συστήματα ΣΗΘ. Επιγραμματικά, θα λέγαμε ότι έχουν να κάνουν με κανονιστικά και οικονομικά ζητήματα.

Έπειτα από το κοινό πλαίσιο εργασίας για την ενέργεια, είναι επιβεβλημένο να εφαρμοστούν συγκεκριμένες πολιτικές που θα οδηγήσουν στην αύξηση της αξιοπιστίας του ενεργειακού συστήματος και θα προωθήσουν «καθαρές» και αποδοτικές τεχνολογίες, με σκοπό να υπερπηδήσουν τα προαναφερθέντα εμπόδια. Όσο αφορά στη ΣΗΘ, ένα μέτρο υποστήριξης σαφώς ορισμένο χρειάζεται να τεθεί αν ληφθεί υπόψη ότι [Cardona et al., 2005]:

1. Για μικρές εφαρμογές ΣΗΘ στον τριτογενή τομέα, το κόστος κεφαλαίου εγκατάστασης σταθμού ΣΗΘ είναι σημαντικά υψηλότερο σε σχέση με το κόστος εγκατάστασης για ξεχωριστή παραγωγή. Έτσι, ο χρόνος αποπληρωμής της επένδυσης είναι σύντομος μόνο εάν ο σταθμός επιτυγχάνει υψηλό χρόνο ετήσιας λειτουργίας (που συμβαίνει όταν ο ηλεκτρισμός και η θέρμανση απαιτούνται ταυτόχρονα και στους 12 μήνες το χρόνο και όταν η ζήτηση για θέρμανση είναι ομαλή).
2. Οι κύριοι μηχανισμοί εμπορίας εκπομπών και χορηγήσεων πράσινων πιστοποιητικών, δουλεύουν δύσκολα ιδιαίτερα στην Νότια Ευρώπη οπότε, τα συστήματα υψηλής απόδοσης ή οι πηγές εναλλακτικών μορφών ενέργειας βρίσκουν οριακή υιοθέτηση σε μικρές εφαρμογές.

Συνεπώς, οι ενέργειες υποστήριξης (οικονομικές και μη) είναι αναγκαίες.

## **2.6 Ορισμός κατανεμημένης παραγωγής**

Η κατανεμημένη παραγωγή είναι ουσιαστικά τόσο νέα προσέγγιση στο πεδίο της ηλεκτρικής βιομηχανίας, ώστε με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία να μην έχει δοθεί κάποιος γενικά αποδεκτός ορισμός αυτής. Έτσι, γίνεται προσπάθεια εξασφάλισης ενός

κοινώς αποδεκτού ορισμού, εγχείρημα δύσκολο καθώς αποτελεί ένα πολυπαραμετρικό ζήτημα.

Οι Αγγλοαμερικανικές χώρες συχνά χρησιμοποιούν τον όρο *Embedded Generation*, με την έννοια ότι η παραγόμενη ισχύς ενός καταναμημένου σταθμού εκτείνεται- παρέχεται σε τοπικό επίπεδο. Οι Βορειοαμερικανικές χώρες χρησιμοποιούν τον όρο *Dispersed Generation*, δηλαδή διάσπαρτη παραγωγή, ενώ στην Ευρώπη και σε κάποιες περιοχές στην Ασία χρησιμοποιείται ο όρος *Decentralized Generation*, δηλαδή αποκεντρωμένη παραγωγή. Στη διεθνή βιβλιογραφία συναντάται πολύ συχνά ο όρος, όπου χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, *Distributed Generation (DG)*, καταναμημένη παραγωγή.

Επιπλέον, όσο αφορά στην κατάταξη<sup>1</sup> των καταναμημένων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το EPRI (Electric Power Research Institute, Ινστιτούτο Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας) ορίζει την καταναμημένη παραγωγή ως παραγωγή “από μερικά Kilowatts έως 50 MW”. Το Διεθνές Συμβούλιο Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων (CIGRE International Council on Large Electric Systems), έχει δημιουργήσει μια ομάδα εργασίας στον τομέα της καταναμημένης παραγωγής. Σύμφωνα με αυτή, μονάδες παραγωγής που (α) δεν υπερβαίνουν 100MW, (β) είναι συνήθως συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής και (γ) η κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής δεν γίνεται κεντρικά (not centrally dispatched<sup>2</sup>), συνιστούν καταναμημένη παραγωγή [CIGRE, 2003]. Στον Πίνακα 4 ταξινομείται η καταναμημένη παραγωγή με βάση την πηγή.

**Πίνακας 4: Ταξινόμηση καταναμημένης παραγωγής με βάση την CIGRE, 2003**

(1) Ανανεώσιμη	(2) Ορυκτό καύσιμο	(3) Ανεκμετάλλευτη Ενέργεια	(4) Άλλη
-Ηλιακή	-Συμπαραγωγή	-Απορρίμματα	-Συσσωρευτής
-Αιολική	-Αεριοστρόβιλος		
-Μικρή υδροηλεκτρική	-Κυψέλη καυσίμου	-Βιομάζα	-Σφόνδουλος

Λόγω επίσης των διαφορετικών κυβερνητικών ρυθμίσεων ανά χώρα, ο ορισμός για την κατάταξη κάθε καταναμημένου σταθμού παραγωγής ποικίλει. Στον Πίνακα 5 αναφέρονται οι ορισμοί που προέκυψαν από τη CIRED (International Research Centre on the Environment and Development, 1999), στη βάση ενός ερωτηματολογίου που συμπληρώθηκε από τις χώρες μέλη.

<sup>1</sup> Κατάταξη ή βαθμίδα.

<sup>2</sup> Ο όρος *not Centrally Dispatched* δεν αποδίδεται μονοσήμαντα στα ελληνικά. Ουσιαστικά, ο διαχειριστής του ηλεκτρικού συστήματος ισχύος δεν μπορεί να αποφασίσει τις υποχρεώσεις της μονάδας ή να ελέγξει την παραγόμενη έξοδο, συμπεριλαμβανομένης και της άεργου ισχύος. Γενικότερα, *dispatch* είναι η κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής.

Στην αγορά της Αγγλίας και Ουαλίας, τα εργοστάσια κατανεμημένης παραγωγής με δυναμικότητα μικρότερη από 100MW δεν υφίστανται κεντρικό έλεγχο κατανομής φορτίου, ενώ αν η δυναμικότητα (capacity<sup>1</sup>) είναι μικρότερη των 50MW, η παραγόμενη ισχύς δεν είναι υποχρεωτικό να εμπορευτεί στην χονδρική αγορά (wholesale market<sup>2</sup>). Ως εκ τούτου, ο όρος κατανεμημένη παραγωγή χρησιμοποιείται εξ' ορισμού για μονάδες με δυναμικότητα μικρότερη από 100MW.

Στη Σουηδία, ο νόμος κάνει ειδική μεταχείριση σε μικρές μονάδες με μέγιστη παραγωγική δυναμικότητα τα 1500kW. Έτσι, η κατανεμημένη παραγωγή στη Σουηδία συχνά ορίζεται ως παραγωγή ισχύος έως 1500kW. Υπό το νομικό όμως καθεστώς της χώρας, ένα αιολικό πάρκο με 100 ανεμογεννήτριες των 1500kW ισχύος έκαστη, νοείται ως κατανεμημένη παραγωγή, καθώς η κατάταξη κάθε μιας αιολικής ενεργειακής μονάδας, και όχι η κατάταξη του συνόλου του αιολικού πάρκου, είναι σύμφωνη με τη Σουηδική νομοθεσία. Εν αντιθέσει, για υδροηλεκτρικές μονάδες, η συνολική βαθμίδα είναι σύμφωνη με τη Σουηδική νομοθεσία. Κάποια από τα παραθαλάσσια Αιολικά πάρκα, έχουν μέγιστη δυναμικότητα μέχρι 1000MW. Αυτά θα μπορούσαν να ενταχθούν στο νομοθετικό καθεστώς που ορίζει την κατανεμημένη παραγωγή, εφόσον σχεδιάζουν να εγκαταστήσουν ανεμογεννήτριες 1500KW ισχύος [Ackerman T. Et al., 2001].

---

<sup>1</sup> Capacity, δυναμικότητα με την έννοια της ισχύος παραγωγής.

<sup>2</sup> Wholesale market: η αγορά στην οποία ο ηλεκτρισμός και οι υπηρεσίες που αφορούν την ενέργεια πωλούνται σε χονδρέμπορους, λιανέμπορους και διανομείς, οι οποίοι με τη σειρά τους πωλούν σε λιανική ή σε τελικούς πελάτες. Εκείνοι, θα είχαν την επιλογή να αγοράσουν ενέργεια από μια ποικιλία παραγωγών και προμηθευτών, οι οποίοι με τη σειρά τους θα ήταν ικανοί να συναγωνιστούν στην πώληση της δικής τους ενέργειας τους χονδρέμπορους, λιανέμπορους και διανομείς.

**Πίνακας 5: Ποιος είναι ο ορισμός που δίνετε για την διάσπαρτη παραγωγή [πηγή: CIRED, 1999]**

<b>ΧΩΡΑ</b>	<b>ΑΠΑΝΤΗΣΗ</b>
Αυστραλία	Συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής (μέχρι 132kV), όπου παρέχεται η δυνατότητα άμεσης παροχής στο φορτίο του πελάτη.
Αυστρία	Παραγωγή συνήθως μέχρι 10MW, συνδεδεμένη στο δίκτυο μέσης τάσης.
Βέλγιο	Δεν συμπεριλαμβάνεται στην εθνική συντονισμένη παραγωγή.
Δημοκρατία Τσεχίας	Συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής (μέχρι 110kV) και μέχρι την ανώτερη επιτρεπτή κατάταξη ισχύος.
Φιλανδία	Συνδεδεμένη σε επίπεδο τάσης από 20kV έως 0,4kV.
Γαλλία	Συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής (μέχρι 132kV), όπου παρέχεται η δυνατότητα άμεσης παροχής στο φορτίο του πελάτη. Παραγωγή που συνδέεται στα εξής επίπεδα τάσης (0.4, 15 και 20kV).
Γερμανία	Δεν υπάρχει αυστηρός ορισμός, κυριότερες τεχνολογίες, ήλιου, ανέμου, μικρών υδροηλεκτρικών (σύνδεση μέχρι 20kV, ενώ για αιολικά πάρκα μέχρι 110 kV).
Ελλάδα	Σύνδεση στο σύστημα διανομής, όχι κεντρικά σχεδιασμένο. Η κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής δε γίνεται κεντρικά.
Ινδία	Νέες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (σύνδεση μέχρι τα 11kV).
Ιταλία	Συνδεδεμένη στο σύστημα διανομής (από 0.4 kV έως 150 kV).
Ολλανδία	Ανήκει σε επιχείρηση δημόσιας ωφέλειας, βιομηχανία ή συνδυασμό αυτών, αλλά δε μετέχει στην βελτιστοποίηση της εθνικής παραγωγής ( σύνδεση μέχρι τα 150kV).
Πολωνία	Δεν γίνεται κεντρική κατανομή φορτίου, και συνδέεται μέχρι τα 110kV.
Πορτογαλία	Όριο ισχύος τα 10MW (εκτός από CHP), Συμπαράγωγή ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Σύνδεση σε οποιοδήποτε επίπεδο τάσης.
Ισπανία	Συνδεδεμένη στο σύστημα διανομής.
Μ. Βρετανία	Συνδεδεμένη στο σύστημα διανομής (μέχρι τα 132kV), ενδεχομένως να γίνεται κεντρική κατανομή φορτίου.

Έτσι, κάποια κράτη ορίζουν την κατανεμημένη παραγωγή με βάση το επίπεδο τάσης, ενώ άλλα βασίζονται στην αρχή, ότι η κατανεμημένη παραγωγή συνδέεται σε κυκλώματα από τα οποία τα φορτία εξυπηρετούνται άμεσα. Υπάρχουν και κράτη που ορίζουν την κατανεμημένη παραγωγή στηριζόμενα σε κάποια βασικά χαρακτηριστικά αυτής (για παράδειγμα, χρήση ανανεώσιμων, συμπαράγωγής, ή μη κατανομή φορτίου στις εγκαταστάσεις παραγωγής, κλπ) [Pepermans G. Et al., 2005].

Το Ινστιτούτο των Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and electronics Engineer Inc, IEEE), καθορίζει την κατανεμημένη παραγωγή,

ως παραγωγή ηλεκτρισμού από εγκαταστάσεις οι οποίες είναι σαφώς μικρότερες από τα κεντρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διασύνδεσή τους σχεδόν σε κάθε σημείο του συστήματος ισχύος. Οι *Dondi P. Et al., (2002)*, ορίζουν την κατανομημένη παραγωγή ως μικρή πηγή, ηλεκτρικής παραγωγής ενέργειας, ή αποθήκευσης (όπου τυπικά εκτείνεται από μερικά kW έως δεκάδες MW) που δεν είναι μέρος της μεγάλης κεντρικής πηγής ενέργειας, και εγκαθίσταται κοντά στο φορτίο. Επιπλέον, στον ορισμό αυτό περιλαμβάνουν και εγκαταστάσεις αποθήκευσης ενέργειας, στοιχείο που δεν είναι ιδιαίτερα τυπικό στην βιβλιογραφία ενώ, αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η πηγή ενέργειας που καθορίζουν, είναι σχετικά πολύ μικρής κλίμακας συγκρινόμενη με τους ορισμούς των CIREN και CIGRE.

Ίσως να ήταν σκόπιμο να εξετασθεί τι δεν είναι κατανομημένη παραγωγή. Με βάση αυτό το σκεπτικό, σχετικά με τον ορισμό της Ομάδας εργασίας του Διεθνούς Συμβουλίου Μεγάλων Ηλεκτρικών Συστημάτων (CIGRE), που παρουσιάστηκε νωρίτερα, φαίνεται ότι οι μονάδες κατανομημένης παραγωγής δεν υφίστανται έλεγχο από το διαχειριστή του δικτύου μεταφοράς. Έτσι, μονάδες παραγωγής που κατασκευάζονται από τον διαχειριστή του δικτύου μεταφοράς ως υποκατάστατο της επέκτασης του δικτύου ισχύος και υπακούουν σε μέτρα εφαρμογής για κατανομή φορτίου δεν θεωρούνται ότι κατατάσσονται στην κατανομημένη παραγωγή.

Είναι σαφές λοιπόν ότι υπάρχουν πολλοί ορισμοί για την κατανομημένη παραγωγή, επιτρέποντας την υιοθέτηση ενός ευρύτερου φάσματος πιθανών σχημάτων παραγωγής. Κάποιοι ορισμοί επιτρέπουν τη σύνδεση μονάδων συμπαραγωγής μεγαλύτερης κλίμακας, ή μεγάλων αιολικών πάρκων στο δίκτυο μεταφοράς ισχύος, ενώ άλλοι εστιάζονται σε μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής που συνδέονται στο δίκτυο διανομής ισχύος.

Από όλους αυτούς τους ορισμούς αφήνεται να εννοηθεί ότι τουλάχιστο οι μικρής κλίμακας μονάδες παραγωγής που συνδέονται στο δίκτυο διανομής ισχύος πρέπει να θεωρούνται μέρος της κατανομημένης παραγωγής (Κριτήριο 1). Επιπλέον, οι μονάδες παραγωγής που εγκαθίστανται κοντά στο φορτίο ή στην πλευρά του πελάτη-μετρητή μπορούν να αναγνωριστούν ως μονάδες κατανομημένης παραγωγής (Κριτήριο 2). Το τελευταίο κριτήριο επικαλύπτει μερικώς το πρώτο καθώς, οι περισσότερες μονάδες παραγωγής που είναι εγκατεστημένες στον μετρητή, είναι επίσης συνδεδεμένες στο δίκτυο διανομής. Εντούτοις, το τελευταίο κριτήριο μπορεί να συμπεριλάβει και μεγαλύτερες μονάδες, εγκατεστημένες στην πλευρά του πελάτη, αλλά συνδεδεμένες στο δίκτυο μεταφοράς ισχύος [*Pepermans G. Et al., 2005*].

Τα παραπάνω οδηγούν στον ορισμό που συμφωνεί με των [Ackerman T. Et al., 2001]. Σύμφωνα με αυτόν, η κατανεμημένη παραγωγή καθορίζεται με βάση τη φύση σύνδεσής της στο δίκτυο, παρά με την δυναμικότητα παραγωγής. Ορίζεται πηγή κατανεμημένης παραγωγής, η πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος που συνδέεται απ' ευθείας στο δίκτυο διανομής ή στην πλευρά του μετρητή του πελάτη. Παρακάτω, γίνεται μια προσπάθεια χρήσης κάποιων επιπλέον κριτηρίων που ίσως να είναι χρήσιμη και απαραίτητη προκειμένου να γίνει πιο σαφής και αυστηρός ο ορισμός της κατανεμημένης παραγωγής.

### **2.6.1 Επίπεδο τάσης στη σύνδεση με το δίκτυο ισχύος**

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να γίνει μια λεπτομερής διάκριση των συστημάτων μεταφοράς και διανομής. Ο διαχωρισμός που γίνεται σε αυτά τα δύο συστήματα με βάση το επίπεδο τάσης όπως για παράδειγμα, ότι τάση από 220kV και πάνω θεωρείται ότι ανήκει στο δίκτυο μεταφοράς, ενώ κάτω από αυτή την τιμή στο δίκτυο διανομής, δεν είναι χρήσιμη καθώς, εταιρίες διανομής έχουν στη κατοχή τους και λειτουργούν γραμμές 220kV, και εταιρίες μεταφοράς διαχειρίζονται γραμμές 110kV. Άρα, αφού το επίπεδο τάσης δεν παρέχει σαφή κοινό διαχωρισμό σε διεθνές επίπεδο μεταξύ μεταφοράς και διανομής, θα πρέπει να γίνει άλλη προσέγγιση ορισμού των δυο συστημάτων.

Στο ανταγωνιστικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, οι νομικές ρυθμίσεις ορίζουν το σύστημα μεταφοράς, το οποίο το διαχειρίζεται ανεξάρτητη εταιρία η οποία δεν εμπλέκεται στην παραγωγή, διανομή και πώληση της ενέργειας. Αυτά βέβαια αναφέρονται σε κράτη με ξεκάθαρη νομοθετική ρύθμιση επί του θέματος. Είναι άξιο αναφοράς ότι σε κάποια κράτη όπως η Σουηδία, τα περιφερειακά δίκτυα περιλαμβάνονται στις νομικές ρυθμίσεις του κράτους. Τα δίκτυα αυτά ανήκουν σε μια περιοχή μεταξύ του μεγάλου εθνικού δικτύου μεταφοράς και του τοπικού δικτύου διανομής. Εντούτοις, εντάσσονται στο σύστημα του δικτύου διανομής. Κατά συνέπεια, το δίκτυο διανομής (συνήθως ακτινωτό) και το δίκτυο μεταφοράς (συνήθως πλέγμα) θα ορίζονται με βάση την ισχύουσα νομοθεσία του εκάστοτε εξεταζόμενου κράτους [Ackerman T. Et al., 2001].

### **2.6.2 Ισχύς παραγωγής**

Ένα από τα προφανή κριτήρια, θα έπρεπε να είναι η δυναμικότητα της εγκατεστημένης μονάδας. Εντούτοις, η βιβλιογραφική έρευνα που έγινε, έδειξε ότι δεν



υπάρχει συμφωνία στα επίπεδα μέγιστης δυναμικότητας παραγωγής. Για παράδειγμα, μονάδες παραγωγής ισχύος μεγαλύτερης από 100-150 MW δεν είναι εφικτό να συνδεθούν σε επίπεδα τάσης 110 kV, εξαιτίας τεχνικών περιορισμών [Ackerman T. Et al., 2001]. Καθώς αυτή η τάση είναι στις περισσότερες των περιπτώσεων η μέγιστη που κατέχουν και διαχειρίζονται οι οργανισμοί διανομής, θα έλεγε κάποιος ότι η μέγιστη δυναμικότητα ενός καταναμημένου σταθμού παραγωγής είναι τα 100-150 MW.

Στο Βερολίνο όμως, η τοπική εταιρία BEW AG κατασκεύασε ένα σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυσασμένου κύκλου τουρμπίνας αερίου, στο κέντρο της πόλης. Ο σταθμός παράγει ηλεκτρισμό (δυναμικότητας 300MW) και περιφερειακή θέρμανση (δυναμικότητας 300MW). Ο σταθμός συνδέεται σε διάφορες γραμμές του δικτύου διανομής (ισχύος 33 και 110 kV) που ανήκουν στην ίδια εταιρία. Η ηλεκτρική ισχύς όπως και η θερμότητα χρησιμοποιούνται κυρίως σε τοπικό επίπεδο. Κατ' επέκταση, ο σταθμός θα μπορούσε να χαρακτηριστεί καταναμημένης παραγωγής, με βάση τον ορισμό που δίνουν οι Ackerman T. Et al., (2001), παρόλο που η δυναμικότητά του φτάνει τα 300MW. Με βάση το επίσης σκεπτικό αυτό, οι Ackerman T. Et al., (2001), προτείνουν μια κατηγοριοποίηση της καταναμημένης παραγωγής σε σχέση με την δυναμικότητά της (Πίνακας 6).

**Πίνακας 6: Κατηγοριοποίηση Καταναμημένης παραγωγής με βάση τη δυναμικότητα του σταθμού [πηγή: Ackerman T. Et al., (2001)]**

Κατηγορία	Ισχύς	
	Από	Έως
Πολύ μικρή	1 W	5 kW
Μικρή	5 kW	5 MW
Μεσαία	5 MW	50 MW
Μεγάλη	50 MW	300 MW

Είναι όμως φανερό ότι η μέγιστη δυναμικότητα ενός σταθμού καταναμημένης παραγωγής που μπορεί να συνδεθεί στο δίκτυο διανομής είναι συνάρτηση της δυναμικότητας του ίδιου του δικτύου διανομής. Εξαιτίας του ότι η δυναμικότητα ενός δικτύου διανομής μπορεί να ποικίλει ευρέως, δεν είναι δυνατό να συμπεριληφθεί ως στοιχείο ορισμού για την καταναμημένη παραγωγή [Pepermans G. Et al., 2005]. Εντούτοις, η δυναμικότητα θα έπρεπε να αποτελεί κριτήριο ορισμού της καταναμημένης παραγωγής.

### **2.6.3 Περιοχή που καλύπτει η κατανεμημένη παραγωγή**

Σε κάποιες περιπτώσεις, η κατανεμημένη παραγωγή περιγράφεται ως ισχύς που παράγεται και καταναλώνεται εντός του ιδίου δικτύου διανομής. Στη Νέα Ζηλανδία όμως, η εταιρία *Wairarapa Electricity* λειτούργησε ένα αιολικό πάρκο ισχύος 3,5 MW εντός του νοτίου δικτύου διανομής 11/33 kV. Η παραγόμενη ενέργεια χρησιμοποιείται εντός του υφιστάμενου δικτύου διανομής. Τις βραδινές όμως ώρες όπου η ζήτηση είναι χαμηλή και οι ταχύτητες ανέμου μεγάλες, το αιολικό πάρκο εξάγει ενέργεια πίσω στο δίκτυο μεταφοράς.

Κατά συνέπεια, ένας ορισμός της κατανεμημένης ενέργειας που υπαγορεύει ότι συνδέεται στο δίκτυο διανομής, θα ακύρωνε την ένταξη του παραπάνω προγράμματος στην κατηγορία της κατανεμημένης παραγωγής, παρόλο που πρόκειται για ένα τυπικό παράδειγμα κατανεμημένης παραγωγής. Άρα, θα ήταν δύσκολο να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο η περιοχή διανομής ενέργειας, διότι τότε θα απαιτούνταν σύνθετες αναλύσεις των ροών ισχύος στο δίκτυο διανομής.

### **2.6.4 Τεχνολογία κατανεμημένης παραγωγής**

Συχνά ο όρος κατανεμημένη παραγωγή χρησιμοποιείται για να περιγράψει παραγωγή με συγκεκριμένη τεχνολογία όπως με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Θα δούμε όμως ότι είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε τεχνολογία για την υλοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής. Στον Πίνακα 7 παραθέτονται επιγραμματικά οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

Από τον παρακάτω Πίνακα 7 είναι φανερό ότι είναι δύσκολο να εντάξουμε στον ορισμό της κατανεμημένης ενέργειας την τεχνολογία που χρησιμοποιείται, διότι οι διαθέσιμες τεχνολογίες και οι ισχύς που αποδίδει κάθε είδος από αυτές, ειδικά στον τομέα των ανανεώσιμων, διαφέρουν μεταξύ των κρατών. Εκτός όμως από τις τεχνολογίες που βασίζονται στις ανανεώσιμες, βλέπουμε ότι και οι δυναμικότητες των συμβατικών μονάδων παραγωγής ποικίλουν εξίσου. Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελούν οι αεριοστρόβιλοι όπου η ισχύς τους μπορεί να κυμαίνεται από μερικά kW έως και 500MW. Από την άλλη, τίθεται σε αμφισβήτηση ακόμη και η ένταξη ΑΠΕ οποιασδήποτε μορφής και δυναμικότητας. Για παράδειγμα, μια τεράστια υδροηλεκτρική μονάδα που είναι εγκατεστημένη στα βουνά, θα μπορούσε να ενταχθεί στην κατανεμημένη παραγωγή [Pepermans G. *Et al.*, 2005].

**Πίνακας 7: Τεχνολογίες καταναμημένης παραγωγής [πηγή: Pepermans G. Et al., 2005]**

	Τεχνολογία	Τυπικά μεγέθη
Ορυκτά καύσιμα	Αεριοστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου	35-450 MW
	Μηχανή εσωτερικής καύσης	5 kW-10MW
	Γεννήτρια καύσης	1-250MW
	Μικρο-Τουρμπίνα	35kW-1MW
Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	Πολύ μικρό υδροηλεκτρικό	25-kW-1MW
	Μικρό υδροηλεκτρικό	1-100MW
	Ανεμογεννήτρια	200W-3MW
	Φωτοβολταϊκή συστοιχία	20W-100kW
	Ηλιακό θερμικό, κεντρικός δέκτης	1-10MW
	Ηλιακό θερμικό, σύστημα Lutz	10-80MW
	Βιομάζα (αεριοποίηση)	100kW-20MW
	Κυψέλη φωσφορικού οξέος	200kW-2MW
	Κυψέλη τηγμένου άνθρακα	250kW-2MW
	Κυψέλη καυσίμου ανταλλαγής πρωτονίου	1kW-250kW
	Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου	250kW-5MW
	Γεωθερμική	5-100MW
	Ωκεανική ενέργεια	100kW-1MW
	Μηχανή Stirling	2-10kW
	Συσσωρευτές	500kW-5MW

### 2.6.5 Καταναμημένη παραγωγή και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Συχνά, οι τεχνολογίες καταναμημένης παραγωγής περιγράφονται ως περιβαλλοντικά φιλικές σε σχέση με τις αντίστοιχες τεχνολογίες ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εντούτοις, στον Πίνακα 8 φαίνεται ότι οι ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία καθώς, για κάθε τεχνολογία παραγωγής υπάρχουν έμμεσες και άμεσες εκπομπές ρύπων.

Οι έμμεσες εκπομπές είναι εκπομπές ρύπων κατά τη διαδικασία κατασκευής της μονάδας, αναζήτησης και μεταφοράς των πηγών ενέργειας. Ο Πίνακας 8 δείχνει, ότι οι εκπομπές ενός τυπικού σταθμού καταναμημένης παραγωγής είναι σαφώς χαμηλότερες σε σχέση με αυτές των σταθμών που ως καύσιμη ύλη χρησιμοποιούν κάρβουνο. Επίσης, οι εκπομπές σε SO<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> των μεγάλων υδροηλεκτρικών μονάδων και των αεριοστρόβιλων συνδυασμένου κύκλου είναι επίσης χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των σταθμών αυτών. Η τεχνολογία βιομάζας δεν συμπεριλήφθηκε στην λίστα διότι θεωρείται CO<sub>2</sub> ουδέτερη καθώς, η ποσότητα του CO<sub>2</sub> που εκπέμπεται κατά την καύση της ισούται με το ποσό του CO<sub>2</sub> που απορροφάται κατά τη διαδικασία ανάπτυξης της

[IEE, 2003]. Η εκπομπή NO<sub>x</sub>s αναφέρεται ότι είναι 20-40% μικρότερη από τις μονάδες ορυκτών καυσίμων, ενώ οι εκπομπές SO<sub>2</sub> θεωρούνται αμελητέες [Ackerman T. Et al., 2001]. Επιπρόσθετα, περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από την μείωση των απωλειών στις γραμμές μεταφοράς ένεκα της σωστής χωροθέτησης των σταθμών καταναμημένης παραγωγής σε σχέση με την τοποθεσία και δυναμικότητα, μπορεί να βελτιώσουν ακόμη περισσότερο το περιβαλλοντικό ισοζύγιο της καταναμημένης παραγωγής [Ackerman T. Et al., 2001].

**Πίνακας 8: Σύγκριση χρόνου απόσβεσης και εκπομπών διαφόρων ενεργειακών τεχνολογιών [πηγή: Pepermans G. Et al., 2005]**

Τεχνολογία	Απόσβεση (μήνες)	SO <sub>2</sub> (kg/GWh)	NO <sub>x</sub> (kg/GWh)	CO <sub>2</sub> (t/GWh)	CO <sub>2</sub> και eqCO <sub>2</sub> για CH <sub>4</sub> (t/GWh)
Μηχανές καύσης άνθρακα	1-1,1	630-1370	630-1560	830-920	1240
Πυρηνικές	Δ.Ε	Δ.Ε	Δ.Ε	Δ.Ε	Δ.Ε
Αεροστρόβιλος συνδυασμένου κύκλου	0,4	45-140	650-810	370-420	450
Μεγάλο υδροηλεκτρικό	5-6	18-21	34-40	7-8	5
Πολύ μικρό υδροηλεκτρικό	9-11	38-46	71-86	16-20	Δ.Ε
Μικρό υδροηλεκτρικό	8-9	24-29	45-56	10-12	2
Ανεμογεννήτρια 4,5 m/s	6-20	18-32	26-43	19-34	Δ.Ε
Ανεμογεννήτρια 5,5 m/s	4-13	13-20	18-27	13-22	Δ.Ε
Ανεμογεννήτρια 6,5 m/s	2-8	10-16	14-22	10-17	11
Φωτοβολταϊκό μονοκρυστ.	72-93	230-295	270-340	200-260	Δ.Ε
Φωτοβολταϊκό πολυκρυστ	58-74	260-330	250-310	190-250	228
Φωτοβολταϊκό άμορφο	51-66	135-175	160-200	170-220	Δ.Ε
Γεωθερμική	Δ.Ε	Δ.Ε	Δ.Ε	Δ.Ε	50-70
Κυματική	Δ.Ε	Δ.Ε	Δ.Ε	Δ.Ε	2

Οι συστοιχίες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και οι κυψέλες καυσίμου δεν έχουν άμεσες εκπομπές. Πέρα από τις εκπομπές κατά τη διαδικασία της κατασκευής, το μίγμα καυσίμου που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που αποθηκεύεται στις μπαταρίες, θα πρέπει να συμπεριληφθεί στις έμμεσες εκπομπές. Ομοίως, στην περίπτωση των κυψελών καυσίμου οι έμμεσες εκπομπές είναι συνάρτηση του μίγματος που απαιτείται για την παραγωγή του υδρογόνου, αφού αυτό δεν γίνεται να εξορυχτεί. Επιπλέον, κάποιοι πιστεύουν πως η μεγάλη διείσδυση και χρήση σταθμών καταναμημένης παραγωγής θα έχει ως αποτέλεσμα τη υπολειτουργία

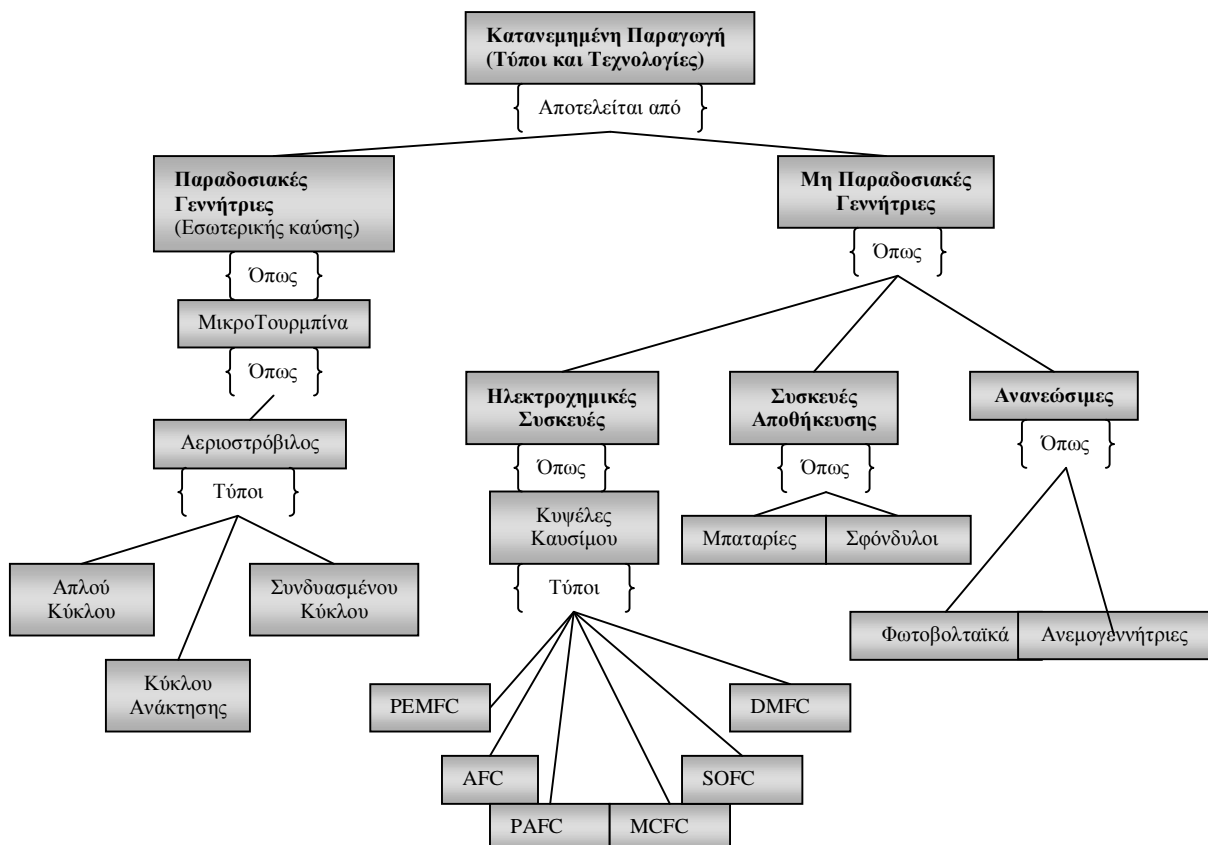
των μεγάλων κεντρικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι εκπομπές ανά παραγόμενη kWh [Ackerman T. Et al., 2001]. Άλλα στοιχεία τα οποία κάνουν δύσκολη την ενιαία περιβαλλοντική εκτίμηση, είναι οι διαφορετικές απόψεις που διατυπώνονται σε διάφορα σχετικά θέματα όπως για παράδειγμα, την επικινδυνότητα των πυρηνικών σταθμών, ή την υψηλή στάθμη θορύβου και την οπτική ρύπανση που μπορεί να προκαλεί μια ανεμογεννήτρια [Μήλιας- Αργείτης Ι. (2), 1993].

Γίνεται αντιληπτό ότι δεν μπορεί να περιγραφεί το σύνολο των τεχνολογιών καταναμημένης παραγωγής ως περιβαλλοντικά φιλικό. Εντούτοις, η χρήση καταναμημένων μονάδων παραγωγής που βασίζονται σε εναλλακτικές πηγές ενέργειας, θεωρείται ότι περιορίζει ή μειώνει τις εκπομπές ανεπιθύμητων αερίων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου [El-Khattam W. et al., 2004].

## 2.7 Τεχνολογίες καταναμημένης παραγωγής

Στην παρούσα ενότητα θα εξετάσουμε τις παρακάτω τεχνολογίες:

- Συμπααραγωγής
- Κυψελών καυσίμων
- Φωτοβολταϊκών συστημάτων
- Αιολικής ενέργειας



Σχήμα 11: Τύποι και τεχνολογίες καταναμημένης παραγωγής [πηγή: El-Khattam W. et al., 2004]

## 2.7.1 Συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας

### 2.7.1.1 Η έννοια της συμπαραγωγής

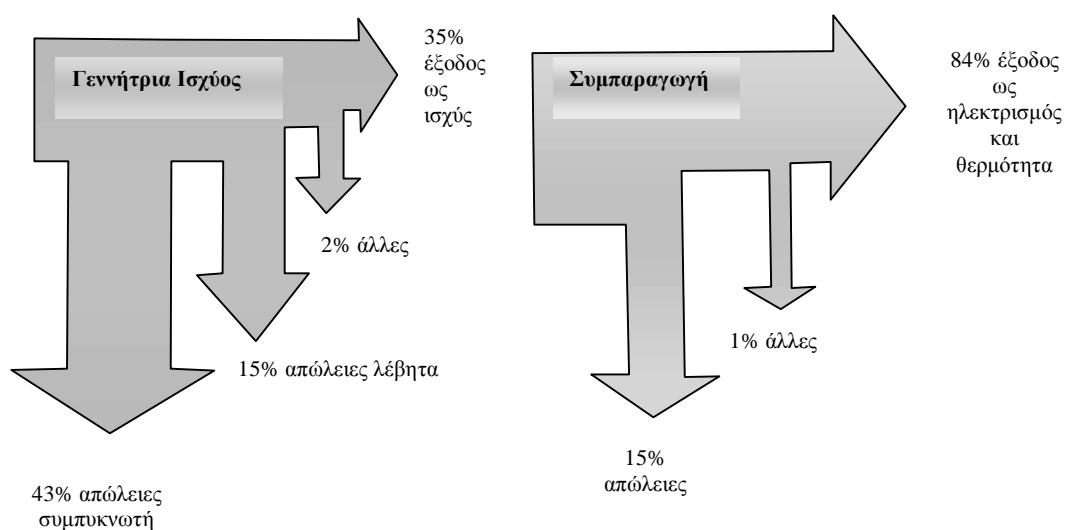
Ο συμβατικός τρόπος κάλυψης των ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων ενός καταναλωτή (ή μιας ομάδας καταναλωτών) είναι η αγορά ηλεκτρισμού από το εθνικό δίκτυο και η καύση κάποιου καυσίμου (σε λέβητα, κλίβανο, κ.λπ.) για την παραγωγή θερμότητας. Όμως, η ολική κατανάλωση καυσίμων μειώνεται σημαντικά εάν εφαρμοσθεί η Συμπαραγωγή ή, Συνδυασμένη παραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, ή εν συντομία ΣΗΘ (στα Αγγλικά: Cogeneration ή Combined Heat and Power, CHP) [Havelky V. (1999), EPA (2005)].

Τα εργοστάσια ΣΗΘ, είναι εργοστάσια ισχύος, όπου η θερμότητα είναι το αρχικό προϊόν και ο ηλεκτρισμός παράγεται ως υποπροϊόν ή εναλλακτικά, ο ηλεκτρισμός είναι το αρχικό προϊόν και η συσσωρευμένη θερμότητα ξαναχρησιμοποιείται ως υποπροϊόν για χρήση όπως, θέρμανση περιοχής [Koeppel G., 2003]. Τα συστήματα παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική (ή/ και μηχανική) και θερμική ενέργεια σε ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο σύστημα. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με την κοινή πρακτική, όπου η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται σε ένα κεντρικό σταθμό, ενώ χρησιμοποιείται επιτόπιος εξοπλισμός θέρμανσης και ψύξης για την κάλυψη των αναγκών σε μη ηλεκτρική ενέργεια. Επειδή η ΣΗΘ εκμεταλλεύεται τη θερμότητα που σε άλλη περίπτωση θα χανόταν κατά τη συμβατική διακριτή παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, η συνολική απόδοση αυτών των ολοκληρωμένων συστημάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των μεμονωμένων συστημάτων [Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Γ.Δ Έρευνας και Μεταφορών, Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας), Havelky V. (1999)]. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα που προσφέρουν οι τεχνολογίες ΣΗΘ είναι, ότι οι μονάδες μπορούν να εγκατασταθούν στο σημείο που είναι αναγκαία η παροχή ενέργειας (on- site). Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι απώλειες μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας από τους κεντρικούς σταθμούς. Επίσης, η ΣΗΘ είναι ευπροσάρμοστη και μπορεί να συνδυαστεί με υπάρχουσες ή καινούργιες τεχνολογίες στον βιομηχανικό, εμπορικό, και οικιστικό τομέα [EPA, 2005].

Κατά τη λειτουργία ενός συμβατικού θερμοηλεκτρικού σταθμού, μεγάλα ποσά θερμότητας αποβάλλονται στο περιβάλλον είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωμάτων ατμού, πύργων ψύξης, ψυγείων νερού κινητήρων Diesel, κ.λπ.) είτε μέσω των καυσαερίων (αεριοστροβίλων, κινητήρων Diesel, κινητήρων Otto, κ.λπ.). Το

μεγαλύτερο μέρος αυτής της θερμότητας μπορεί να ανακτηθεί και να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα. Έτσι, ενώ οι συμβατικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής έχουν βαθμό απόδοσης 30-45%, ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων συμπαραγωγής φθάνει το 80-90% [Φραγκόπουλος X. A (1994), Laughton M. (1996)]. Μια τυπική σύγκριση, ως προς τον βαθμό απόδοσης, της συμπαραγωγής με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας παρουσιάζει το Σχήμα 12.

Η Συμπαραγωγή πρωτοεμφανίστηκε στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α. γύρω στα 1890. Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα, οι περισσότερες βιομηχανίες είχαν δικές τους μονάδες ηλεκτροπαραγωγής με ατμολέβητα-στρόβιλο, που λειτουργούσαν με άνθρακα. Πολλές από τις μονάδες αυτές βασιζόνταν στη συμπαραγωγή [Fisk R. W. et al., (1996), Orlando J. A. (1996)].



**Σχήμα 12: αποτελεσματικότητα εκμετάλλευσης καυσίμου**

Η χρήση της συμπαραγωγής αναπτύχθηκε περισσότερο όταν οι μηχανικοί αντικατέστησαν τους βασικούς μηχανισμούς των ατμομηχανών με ηλεκτρικές μηχανές, κάνοντας το πέρασμα από τα συστήματα μηχανικής ισχύος στα συστήματα ηλεκτρικής ισχύος. Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής παραγωγής προερχόταν από λέβητες καύσης άνθρακα και γεννήτριες ατμοστρόβιλου, με τον αποβαλλόμενο ατμό να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές θέρμανσης βιομηχανιών. Στις αρχές του 1900, το 58% της συνολικής παραγωγής στις ΗΠΑ εκτιμάται ότι προερχόταν από εφαρμογές συμπαραγωγής [Ononwiona et al., 2004].

Κατόπιν, ακολούθησε κάμψη κυρίως για δύο λόγους:

- ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού, που προσέφεραν σχετικά φθηνή και αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια και
- διαθεσιμότητα υγρών καυσίμων και φυσικού αερίου σε χαμηλές τιμές, που έκανε τη λειτουργία λεβήτων οικονομικά συμφέρουσα.

Συνεχίζοντας με το παράδειγμα των Η.Π.Α., η βιομηχανική συμπαραγωγή μειώθηκε στο 15% του όλου δυναμικού ηλεκτροπαραγωγής μέχρι το 1950 και έπεσε στο 5% μέχρι το 1974 [*Ononwiona et al. (2004), Orlando J. A. (1996)*]. Η πορεία αυτή έχει πλέον αντιστραφεί όχι μόνον στις Η.Π.Α. αλλά και σε χώρες της Ευρώπης, στην Ιαπωνία και στον Καναδά, γεγονός το οποίο οφείλεται κυρίως στην απότομη αύξηση των τιμών των καυσίμων, από το 1973 και μετά [*Φραγκόπουλος Χ. Α (1994)*].

Η υποστήριξη για τα συστήματα ΣΗΘ, ξεκίνησε το 1978 όταν ιδρύθηκε η PURPA (US Public Utilities Regulatory Policy Act), η οποία επέτρεψε την πώληση της πλεονάζουσας ενέργειας των συστημάτων ΣΗΘ πίσω στο δίκτυο. Αυτές οι ρυθμίσεις έδωσαν ώθηση στην αυξημένη χρήση της ΣΗΘ που μέχρι τότε το μονοπωλιακό καθεστώς του ενεργειακού τομέα δεν παρείχε ευνοϊκή μεταχείριση [*Beyene A., 2005*].

Στις ΗΠΑ εφαρμόζονται δύο ρυθμιστικές παράμετροι για εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας: Η NSR (new source review) και η PSD (prevention of significant deterioration). Η πρώτη ρύθμιση, απαιτεί από τις εταιρίες την έκδοση άδειας, είτε πριν από την κατασκευή νέας εγκατάστασης, είτε πριν οι εκπομπές αυξηθούν σημαντικά. Η δεύτερη ρύθμιση, αφορά την προφύλαξη από κάποια σημαντική φθορά (ή επιδείνωση κάποιας κατάστασης). Σε περιοχές όπου τα επίπεδα ρύπων ξεπερνούν τα εθνικά όρια, η εγκατάσταση ενός σταθμού ΣΗΘ είναι αδύνατη αφού βρίσκει εμπόδιο στη δεύτερη ρύθμιση. Η νέα εγκατάσταση θα συνεπάγεται νέα πηγή εκπομπών, προστιθέμενη στα υφιστάμενα επίπεδα, παρόλο που οι συνολικές εκπομπές θα είναι μειωμένες. Το ζήτημα είναι, ότι αυξάνονται οι εκπομπές ρύπων σε τοπικό επίπεδο με αποτέλεσμα να τίθεται σε ισχύ και η πρώτη ρύθμιση.

Το συμπέρασμα από τα παραπάνω, είναι ότι όχι μόνο αγνοείται η συνολική μείωση των εκπομπών που επιτυγχάνεται με τη χρήση ΣΗΘ, αλλά επίσης εφαρμόζονται σε τοπικό επίπεδο διαδικασίες που αφενός είναι χρονοβόρες, αφετέρου πολυδάπανες. Κατά συνέπεια, εταιρίες που θέλουν να εφαρμόσουν ΣΗΘ αποθαρρύνονται. Μακροπρόθεσμα, η κοινωνία θα πρέπει να εφαρμόσει τεχνολογίες που θα στηρίζονται στην αρχή: ελάχιστη κατανάλωση πόρων και ελάχιστες εκπομπές. Πιστεύεται, ότι αυτός ο στόχος είναι δυνατό να επιτευχθεί μόνο αν γίνουν συμφωνίες με



συγκεκριμένους επιχειρηματικούς τομείς, με σκοπό να δοθεί ώθηση στην ενεργειακή απόδοση και στην ευρύτερη χρήση συστημάτων ΣΗΘ. Επιπλέον, θα πρέπει να τεθούν στόχοι βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και μείωσης των ρυπογόνων εκπομπών με τη συνδρομή των εταιριών παροχής ενέργειας και των κυβερνήσεων [Laughton M., 1996].

Μετά από έρευνα που έγινε σε 300 εργοστάσια, φάνηκε ότι η ΣΗΘ είναι η πιο αποδοτική ενεργειακά και οικονομικά λύση. Συγκεκριμένα, η απόδοσή της ξεπερνά το 80%. Επιπλέον, η πηγή ενέργειας είναι συχνά η αποβαλλόμενη θερμότητα με αποτέλεσμα να περιορίζονται οι πρόσθετες εκπομπές στην περιοχή. Στα εργοστάσια, οι συνολικές οικονομίες ξεπέρασαν το ένα εκατομμύριο KWh/ έτος και αυτό οφείλεται αποκλειστικά στα συστήματα ΣΗΘ [Beyene A., 2005].

Η ΣΗΘ δεν αποτελεί μια συγκεκριμένη τεχνολογία αλλά περισσότερο μια εφαρμογή τεχνολογιών για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης ή/ και ψύξης, καθώς και για μηχανική ή/ και ηλεκτρική ενέργεια των τελικών καταναλωτών. Λόγω των πρόσφατων τεχνολογικών εξελίξεων, έχουν αναπτυχθεί νέες διατάξεις των συστημάτων ΣΗΘ που τα καθιστούν οικονομικά συμφέροντα σε ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών. Οι νέες γενιές των αεριοστροβίλων, ατμοστροβίλων, κυψελών καυσίμου, παλινδρομικών μηχανών και μικροτουρμπινών, συνιστούν το αποτέλεσμα εντατικής και συνδυασμένης έρευνας, ανάπτυξης και επίδειξης, τόσο από ινστιτούτα όσο και από τη βιομηχανία. Οι μηχανές αυτές έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν με μια μεγάλη ποικιλία καυσίμων, όπως το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, το πετρέλαιο, τα εναλλακτικά καύσιμα και να παράγουν μηχανική ενέργεια ή ισχύ στον άξονα για κατάλληλη εκμετάλλευση. Τα προηγμένα υλικά και οι τεχνικές σχεδίασης μέσω H/Y, έχουν αυξήσει σημαντικά την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία του εξοπλισμού, μειώνοντας ταυτόχρονα τα κόστη και τις εκπομπές ρύπων [Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Γ.Δ Έρευνας και Μεταφορών, Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας), EPA (2005)].

Η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τη φύση της μη αποδοτική, αφού μετατρέπεται μόνο το ένα τρίτο της ενέργειας των καυσίμων σε ωφέλιμη ενέργεια [Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Γ.Δ Έρευνας και Μεταφορών, Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας), Fisk R. W. et al. (1996)]. Συχνά, οι εφαρμογές συμπαραγωγής περιλαμβάνουν την καύση ορυκτών καυσίμων, με διαφορετικά προϊόντα καύσης που προκαλούν βλάβες στο περιβάλλον. Αυτά μπορεί να είναι, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, άκαυστοι υδρογονάνθρακες και σωματίδια. Εντούτοις,

δεδομένου ότι η απόδοση των συστημάτων ΣΗΘ είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των συμβατικών, το επίπεδο των εκπομπών (εκπομπές ανά μονάδα χρήσιμης παραγόμενης ενέργειας), της ΣΗΘ είναι χαμηλότερο από αυτό των συμβατικών μονάδων [Katsigiannis P. A. et al (2005), Ononwiona H. I. et al. (2004)].

Η ΣΗΘ αποτελεί μια οικονομικά παραγωγική προσέγγιση για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω της πρόληψης της ρύπανσης, ενώ ο παραδοσιακός έλεγχος της ρύπανσης που επιτυγχάνεται απλά μέσω της επεξεργασίας των καυσαερίων δεν παρέχει κανένα οικονομικό όφελος και, στην πραγματικότητα, μειώνει την απόδοση και την ωφέλιμη παραγωγή ενέργειας.

Η απόδοση του συνολικού συστήματος προκύπτει από μια αλληλεπίδραση μεταξύ των μεμονωμένων βαθμών απόδοσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και ανάκτησης θερμότητας. Δεδομένου ότι από ένα σύστημα ΣΗΘ προκύπτουν δύο ή περισσότερα χρησιμοποιήσιμα ενεργειακά προϊόντα, ο καθορισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης των συστημάτων αυτών είναι πιο σύνθετος απ' ό,τι στα απλά συστήματα. Το όλο σύστημα μπορεί να αντιμετωπισθεί ως δύο υποσυστήματα, το σύστημα ηλεκτρικής ισχύος (συνήθως μια μηχανή ή ένας στρόβιλος) και το σύστημα ανάκτησης θερμότητας (συνήθως κάποιος τύπος λέβητα). Η απόδοση του συνολικού συστήματος προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ των μεμονωμένων βαθμών απόδοσης των συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και ανάκτησης θερμότητας.

Τα αποδοτικότερα συστήματα ΣΗΘ (με πάνω από 80% συνολικό βαθμό απόδοσης) είναι εκείνα που ικανοποιούν μεγάλη θερμική ζήτηση με την ταυτόχρονη παραγωγή σχετικά μικρότερης ηλεκτρικής ισχύος. Όσο αυξάνεται η απαιτούμενη θερμοκρασία της ανακατωμένης ενέργειας, τόσο μειώνεται ο λόγος της παραγόμενης ισχύος προς τη θερμότητα [Horlock J. H., 1992].

Η μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντική για τα οικονομικά της ΣΗΘ, καθώς η διάθεση της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά είναι τεχνικά ευκολότερη απ' ό,τι είναι στην περίπτωση της πλεονάζουσας θερμικής ενέργειας. Εντούτοις, την περίοδο αυτή υπάρχουν ακόμη εμπόδια στη διανομή της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας στην αγορά [Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Γ.Δ Έρευνας και Μεταφορών, Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας)].

Παρά τις σημαντικές αποδόσεις που πηγάζουν από την διαθέσιμη αποβαλλόμενη θερμότητα, και παρά το γεγονός ότι η χρήση των συστημάτων ΣΗΘ υποστηρίζεται από τις πολιτείες με οικονομικά κίνητρα, η εκτενέστερη εφαρμογή τους είναι αργή, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου η εξόφληση γίνεται σε σύντομο χρόνο και

οι οικονομίες είναι σημαντικές. Η αγορά δεν έχει αναπτύξει την απαραίτητη εμπιστοσύνη, κυρίως λόγω ρυθμιστικών και τεχνικών δυσκολιών [Beyene A., 2005].

Σύμφωνα με στοιχεία της EIA (Energy Information Agency, 1996), μέχρι το 1996 η συνολική δυναμικότητα των εγκατεστημένων μονάδων ΣΗΘ στις ΗΠΑ υπολογιζόταν στα 51 GW, περίπου 6% της συνολικής παραγωγής ενέργειας. Ζητήματα όμως που σχετίζονταν με τεχνικά θέματα καθώς και με προδιαγραφές διασύνδεσης (όπως είδαμε νωρίτερα), δεν επιλύθηκαν, με συνέπεια να τεθεί πέδη στην ανάπτυξη των συστημάτων ΣΗΘ. Στην Ευρώπη 9% της συνολικής παραγωγής ενέργειας βασίζεται στη ΣΗΘ, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι στη Δανία αγγίζει το 40% [Beyene A., 2005].

Με τη νέα Ντιρεκτίβα της ΕΕ [Directive 2004/8/EC], υπάρχει ο σκοπός της δημιουργίας ενός κοινού πλαισίου εργασίας για την προώθηση των σταθμών ΣΗΘ, ώστε στη βάση της χρήσιμης ζήτησης θέρμανσης, να δοθεί η δυνατότητα στα κράτη μέλη, να εντάξουν ενέργειες υποστήριξης δίχως την παρενόχληση που ασκεί η ανταγωνιστική λογική της κοινής ενεργειακής αγοράς.

Τα χαρακτηριστικά στοιχεία των τοπικών αγορών της ενέργειας, θα ληφθούν υπόψη από τους νόμους και τα διοικητικά μέτρα που θα παρθούν από τα κράτη μέλη το αργότερο μέχρι τις 21 Φεβρουαρίου 2006, προκειμένου να υπάρξει πλήρης συμμόρφωση με τη ντιρεκτίβα. Το ποσοτικό μέρος αυτής αντικατοπτρίζει τις δυο φάσεις προσέγγισης της αξιολόγησης ενός σταθμού παραγωγής ενέργειας:

§ Φάση 1: Εναρμονισμένη μεθοδολογία υπολογισμού του ηλεκτρισμού από τη ΣΗΘ.

§ Φάση 2: Μεθοδολογία καθορισμού της απόδοσης της ΣΗΘ.

Οι Cardona et al., 2005, προτείνουν τα εξής:

- Τα οικονομικά κίνητρα πρέπει να είναι ανάλογα με τα επιδιωκόμενα οφέλη, ώστε να ενισχύονται οι πιο αποδοτικές μονάδες και να προωθούνται οι έρευνες που γίνονται σε συνεχή βάση για τη βελτίωση της απόδοσης.
- Τα οικονομικά κίνητρα δεν πρέπει να θέτουν πέδη στην αγορά των μη-ΣΗΘ συστημάτων, ώστε να αποφεύγεται η εύνοια στη χρήση άλλων τεχνολογιών.

Επίσης θα πρέπει να απλοποιηθούν και διαδικασίες στον τομέα περιβαλλοντικής αδειοδότησης και πώλησης ενέργειας, προκειμένου να αρθούν οι παράγοντες αυτοί που αποθαρρύνουν τις ιδιωτικές επενδύσεις.

Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα γίνει μια αναφορά στις βασικές αρχές της συμπαραγωγής, προκειμένου να καταστεί σαφής η διάκριση μεταξύ των κυριότερων συστημάτων ΣΗΘ.

### **2.7.1.2 Βασικές αρχές της συμπαραγωγής – είδη συστημάτων ΣΗΘ**

Τα περισσότερα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να χαρακτηρισθούν [Fisk R. W. et al., 1996]:

- ως συστήματα «κορυφής» (topping systems) ή,
- ως συστήματα «βάσης» (bottoming systems).

Στα συστήματα «κορυφής», ρευστό υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού, ενώ η αποβαλλόμενη θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση χώρων) ή ακόμη και για παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα συστήματα «βάσης», παράγεται πρώτα θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (όπως π.χ., σε φούρνους χαλυβουργείων, υαλουργείων, εργοστασίων τσιμέντου κλπ) και κατόπιν τα θερμά αέρια διοχετεύονται συνήθως σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας (recuperator), όπου παράγεται ατμός που κινεί ατμοστροβιλογεννήτρια. Είναι επίσης δυνατό, τα θερμά αέρια να διοχετευθούν σε αεριοστρόβιλο που κινεί την ηλεκτρογεννήτρια, χωρίς την παρεμβολή λέβητα [Φραγκόπουλος Χ. Α. Et al., 1994].

Τα τελευταία χρόνια, οι τεχνολογίες ΣΗΘ υλοποιούνται με παλινδρομικές μηχανές, αεριοστρόβιλους, ατμοστρόβιλους, ακόμη και συνδυασμένους κύκλους. Επίσης αναπτύχθηκαν και οι μικρής κλίμακας μονάδες ΣΗΘ. Έτσι, οι εφαρμογές ΣΗΘ καλύπτουν [Laughton M., 1996]:

- Συστήματα μικρής κλίμακας με μηχανές ανάφλεξης αερίου, ισχύος 1MW. Τα συστήματα αυτά βρίσκουν εφαρμογές σε συγκροτήματα γραφείων, ξενοδοχεία, κέντρα αναψυχής, καθώς και σε μονάδες διαχείρισης αποβλήτων.
- Βιομηχανικά συστήματα μικρής- μεσαίας κλίμακας, βασισμένα σε αεριοτουρμπίνες ή και σε πετρελαιομηχανές με ισχείς έως και δεκάδες MW. Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται και σε νοσοκομεία.
- Μεγάλα βιομηχανικά συστήματα τεχνολογίας ατμοστρόβιλων που ξεκινούν από δεκάδες MW. Οι βιομηχανικοί τομείς χημικών, μετάλλου,

χαρτιού, τροφίμων, διυλιστηρίων κάνουν χρήση αυτής της κλίμακας ΣΗΘ.

Τα σύγχρονα συστήματα ΣΗΘ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Συστήματα ατμοστροβίλου
- Συστήματα αεριοστροβίλου
- Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης
- Συστήματα συνδυασμένου κύκλου
- Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά
- Μικρές μονάδες συμπαραγωγής (μΣΗΘ)
- Μικροτουρμπίνες (ή μικροστρόβιλοι, microturbines)
- Κυψέλες καυσίμου
- Μηχανές Stirling

Τα συστήματα ΣΗΘ παρέχουν μεγάλη δυναμική στην άρση της ενεργειακής σπατάλης, ειδικά όταν συγχρόνως παράγουν θέρμανση, ψύξη και ηλεκτρισμό για χρήση. Διάφορα συστήματα ΣΗΘ σχεδιάζονται με προσομοίωση στους υπολογιστές με σκοπό την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης της πρωτογενούς ενέργειας [Havelsky V., 1999].

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, μια συνηθισμένη συμβατική μονάδα συμπαραγωγής αποτελείται από μια μηχανή εσωτερικής καύσης, αεριοστρόβιλο ή ατμοστρόβιλο, συζευγμένη με μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η μονάδα αυτή, συνδέεται σε σύστημα εναλλακτών θερμότητας που εκμεταλλεύεται, αφενός την θερμότητα, των καυσαερίων, αφετέρου την παραγόμενη θερμότητα από τη ψύξη των κυλίνδρων της μηχανής καύσης. Η εκμετάλλευση της πρωτογενούς ενέργειας με μηχανή εσωτερικής καύσης φτάνει το 91%. Το 48- 64% αυτής, γίνεται θερμότητα ενώ το 25- 37% γίνεται ηλεκτρική ενέργεια [Havelsky V., 1999].

Το μειονέκτημα του προαναφερθέντος συμβατικού συστήματος ΣΗΘ, είναι ότι για να σημειώσει τόσο υψηλή ενεργειακή και οικονομική απόδοση, θα πρέπει να εφαρμοστεί σε εγκαταστάσεις όπου η ανάγκη για θερμότητα και ηλεκτρισμό είναι ισορροπημένη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Είναι γεγονός, πως δεν υπάρχει ισορροπημένη ανάγκη για ηλεκτρισμό και θέρμανση στις περισσότερες πρακτικές εφαρμογές των συμβατικών συστημάτων ΣΗΘ. Επιπλέον, υπάρχει υψηλή απαίτηση για ψύξη σε διάφορες εφαρμογές. Από ενεργειακή και οικονομική άποψη, η αποδοτικότερη εκμετάλλευση της πρωτογενούς ενέργειας είναι εφικτή με τη χρήση τέτοιων

συστημάτων ΣΗΘ, τα οποία είναι ικανά να παράγουν συγχρόνως ηλεκτρισμό, θέρμανση και ψύξη με τη δυνατότητα ρύθμισης των αναλογιών κάθε ενεργειακής μορφής στην έξοδο. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται *συνδυασμένα συστήματα συμπαραγωγής* (combined cogeneration systems, CCS) [Havelsky *et al.*, 1999]. Η οικονομία στην πρωτογενή ενέργεια μπορεί να ξεπεράσει το 60% υπό συνθήκες συγκεκριμένων εφαρμογών, σε σύγκριση με συμβατικά συστήματα ξεχωριστής παραγωγής.

Η τηλεθέρμανση, είναι μια ακόμη εφαρμογή που μπορεί να υλοποιηθεί με συστήματα ΣΗΘ. Σύμφωνα με τους *Hu et al.*, (2005), εφαρμόστηκε τηλεθέρμανση σε έξι διαφορετικές περιοχές της Νότιας Κίνας. Στις τέσσερις από αυτές η εφαρμογή βασίστηκε σε σταθμούς συμπαραγωγής μεγάλης δυναμικότητας και υψηλής απόδοσης. Παρατηρήθηκε μείωση στη κατανάλωση του άνθρακα (ως βασική καύσιμη ύλη) σε ποσοστά 71- 86%, οφειλόμενη σε δύο λόγους:

1. Στην εγκατάσταση μεγάλης δυναμικότητας και υψηλής απόδοσης λέβητων στους σταθμούς συμπαραγωγής, που αντικατέστησε τους αμέτρητους μικρούς λέβητες και τις θερμάστρες χαμηλής απόδοσης.
2. Στη χρήση της τεχνολογίας συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θέρμανσης, που χρησιμοποιεί με αποδοτικό τρόπο μεγάλο μέρος της αποβαλλόμενης θερμότητας από τη διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής.

Φαίνεται από τα παραπάνω, ότι από κοινωνικοοικονομικής πλευράς, η περιορισμένη χρήση γης και οι περιορισμένες μεταφορές, διανομή και αποθήκευση άνθρακα, αυξάνουν τα οφέλη της χρήσης ΣΗΘ.

Οι συνολικές εκπομπές άνθρακα από μια μονάδα ΣΗΘ μπορούν να υπολογιστούν από τη συνολική κατανάλωση του καυσίμου. Γενικότερα, μπορεί να είναι χαμηλότερες ή υψηλότερες σε σχέση με τις εκπομπές από την ξεχωριστή παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού και εξαρτώνται από τις σχετικές αποδόσεις της ΣΗΘ καθώς και από το ποσοστό του άνθρακα στο καύσιμο που χρησιμοποιείται [Pout C., *Et al.*, 2005].

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις όπου πρέπει να είναι γνωστή η κατανομή του εκπεμπόμενου άνθρακα. Για παράδειγμα, κάποιος που θα αγοράσει θερμότητα ή ηλεκτρισμό από έναν διαχειριστή μιας μονάδας ΣΗΘ, ενδέχεται να πρέπει να αναφέρει τις εκπομπές άνθρακα στα πλαίσια της υποχρέωσης υποβολής περιβαλλοντικής αναφοράς για την επιχείρησή του, ή επειδή το ορίζει πολεοδομικός νόμος, κλπ.

Δε υπάρχει κάποιος κατάλληλος τρόπος εκτίμησης του άνθρακα που καταναλώνεται σε μια εφαρμογή παραγωγής ενέργειας. Αν αναλογιστούμε τη περίπτωση της επιβολής φόρου άνθρακα στη θέρμανση και στον ηλεκτρισμό, είναι προφανές ότι η αύξηση των τιμών στην αγορά θα είναι ανάλογη της κλίμακας έντασης (carbon intense) του άνθρακα. Ο ιδιοκτήτης ΣΗΘ, θα αυξήσει τις τιμές του προϊόντος του στις νέες τιμές της αγοράς, σαν να ήταν οι εκπομπές άνθρακα από τη παραγωγή θέρμανσης και ηλεκτρισμού του συστήματος ΣΗΘ ίσες με αυτές στην αγορά. Εάν όμως το συγκεκριμένο σύστημα έχει καλύτερη απόδοση, όσο αφορά στις εκπομπές άνθρακα, σε σχέση με τις εκπομπές άνθρακα ενός ξεχωριστού συστήματος για θέρμανση και ηλεκτρισμό, τότε οι πραγματικές εκπομπές άνθρακα θα είναι μικρότερες από αυτές που αναφέρονται στην αρχική τιμή που θέτει ο πωλητής [Pout et al., 2005].

Ως ένταση άνθρακα, ορίζεται ο λόγος άνθρακα προς παραγόμενη ενέργεια (για παράδειγμα kg C ανά kWh), ξεχωριστά για θέρμανση και ηλεκτρισμό. Γενικότερα, η ένταση άνθρακα χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα οφέλη σε σχέση με τον άνθρακα που σχετίζονται με συγκεκριμένες τεχνολογίες και/ ή λειτουργικά συστήματα. Έτσι, συνηθίζεται να αναφερόμαστε στη μέση ένταση άνθρακα για κάποια προκαθορισμένη περίοδο, (ως συνήθως έτος). Για προγενέστερες καταστάσεις, οι εντάσεις άνθρακα μπορούν άμεσα να υπολογιστούν από τα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου. Όταν πρόκειται να σχεδιαστεί ένας σταθμός ΣΗΘ, τότε η ένταση άνθρακα για το σταθμό και τη λειτουργία αυτού, θα βασιστεί στη μελλοντική κατανάλωση καυσίμου. Οι Pout et al. (2005), προτείνουν η ένταση άνθρακα για τη ΣΗΘ να είναι ανάλογη με αυτές που εφαρμόζονται στις ΑΠΕ.

Εάν τα συστήματα συμπαραγωγής εγκατασταθούν κατάλληλα τότε [Berta et al., 2005]:

- Θα επιφέρουν σημαντική οικονομία στην ενέργεια (πάνω από 30% σε σχέση με την ξεχωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας), συνεισφέροντας στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέσω των ήδη διαθέσιμων τεχνολογιών.
- Θα περιοριστούν οι εκπομπές ρύπων όπως CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, και PM ειδικά αν χρησιμοποιηθούν αεριοστρόβιλοι.
- Θα είναι μικρότερης κλίμακας οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με αυτές των μεγάλων θερμικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.

- Δεν θα παρουσιάσουν κινδύνους αστοχίας, ούτε θα απαιτηθούν ιδιαίτερες αδειοδοτήσεις, καθώς είναι συστήματα μικρής κλίμακας και λειτουργούν σε περιοχές που είναι ήδη εκτεθειμένες σε περιβαλλοντικές πιέσεις της ίδιας φύσης.

Από την άλλη, τα συστήματα ΣΗΘ παρουσιάζουν και μειονεκτήματα κυρίως για οικονομικούς λόγους, οι οποίοι καθυστερούν την ευρεία διείσδυση αυτών [Berta et al., 2005]:

- Αστάθεια στα τιμολόγια και στη νομοθεσία στα αρχικά στάδια της ελεύθερης αγοράς.
- Οι διαχειριστές του ηλεκτρικού τομέα είναι προσκολλημένοι σε προγράμματα μεγάλης κλίμακας, και δεν δείχνουν διάθεση να ασχοληθούν με ένα νέο πρόβλημα που απαιτεί μεγάλη ελαστικότητα και προσαρμοστικότητα.
- Οι τελικοί χρήστες θέρμανσης δεν είναι ιδιαίτερα διατεθειμένοι να επενδύσουν στην παραγωγή ενέργειας που επιφέρει οφέλη, αλλά μακροπρόθεσμα.
- Τα κέρδη και οι ζημιές των μονάδων παραγωγής ΣΗΘ, επηρεάζονται άμεσα από τα χαρακτηριστικά των σχεδιασμών και από τις τρέχουσες στρατηγικές.

Ο *Watson J.*, (2004), εξέτασε την περίπτωση της αμοιβαίας λήψης αναγκαίων μέτρων μεταξύ των εταιριών παροχής ενέργειας και των απλών καταναλωτών προκειμένου να διευρυνθεί η χρήση της παραγωγής μικρής κλίμακας (micro-generation). Η έρευνα έδειξε ότι η επένδυση σ' αυτό τον τομέα παραγωγής θα έχει αποσβεστεί σε βάθος χρόνου μιας δεκαετίας τουλάχιστο (για τα δεδομένα της Μ. Βρετανίας). Αυτό το διάστημα είναι προφανώς πολύ μεγάλο για τους καταναλωτές αλλά και για τις εταιρίες τις ίδιες για να θεωρηθεί επιτυχής επένδυση.

Εξαίρεση ενδεχομένως να αποτελέσει η περίπτωση όπου θα επιβληθεί η αγορά μονάδας μΣΗΘ (micro CHP), με σκοπό την αντικατάσταση λέβητα κεντρικής θέρμανσης παλαιάς τεχνολογίας. Τότε, ο χρόνος της οριακής απόσβεσης του επιπλέον κόστους κτήσης και εγκατάστασης της μονάδας, θα είναι πολύ συντομότερος. Αυτό, μπορεί να παρέχει ένα επιπλέον κίνητρο εγκατάστασης μΣΗΘ στην αγορά που θα δημιουργηθεί από την αντικατάσταση παρωχημένων συστημάτων θέρμανσης.



Γενικότερα όμως, η εξάπλωση των συστημάτων παραγωγής μικρής κλίμακας, δυσχεραίνεται και από την ασυμφωνία στους κανόνες φορολογίας για τους καταναλωτές, τις εταιρίες του ενεργειακού κλάδου και άλλων τομέων της βιομηχανίας. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτών των εμποδίων, είναι να δοθεί η δυνατότητα συμμετοχής στο παιχνίδι της αγοράς με ίσους όρους και στους καταναλωτές, δίνοντάς τους μερίδιο αντίστοιχο με αυτό του τομέα των εταιριών και επεκτείνοντας τις μορφές των επενδύσεων που είναι επιλέξιμες για χρηματοδότηση. Τέτοια αλλαγή στον οικονομικό τομέα, θα μπορούσε να κάνει πιο ελκυστική την αγορά μιας μονάδας μικρής παραγωγής για πολλούς καταναλωτές, και θα βοηθούσε κάποιες τεχνολογίες όπως των φωτοβολταϊκών να αποκτήσουν ανταγωνιστικότητα στην αγορά. Επιπλέον, θα δινόταν η δυνατότητα στους καταναλωτές να επενδύσουν σε πολλά άλλα μέτρα ενεργειακής απόδοσης τα οποία μπορεί να είναι και πιο οικονομικά.

Η ανάλυση των παραπάνω μοντέλων επένδυσης στη μικρο- παραγωγή (micro-generation), έδειξε ότι υπάρχει η δυναμική διαμόρφωσης άλλης σχέσης μεταξύ καταναλωτών και εταιριών του ενεργειακού τομέα. Οι διαφορετικές δομές κυριότητας στα μοντέλα και η προοπτική υποδομών επικοινωνίας και ελέγχου μπορεί να δημιουργήσουν μια γνήσια σχέση συνεργασίας και αλληλοσυμπλήρωσης. Για παράδειγμα, η δυνατότητα πληροφόρησης της τιμής πώλησης της KWh σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να ενθαρρύνει τους καταναλωτές στη φιλοσοφία: αγοράζω όταν η KWh είναι χαμηλή και πουλάω όταν είναι ακριβή. Ομοίως, τα κατανεμημένα συστήματα ελέγχου θα μπορούν να δίνουν την εντολή, σε συσκευές των κατοικιών των καταναλωτών, έναρξης ή παύσης λειτουργίας ανάλογα με την τιμή της KWh. Πιστεύεται επίσης, ότι αυτή η κατάσταση θα ωθήσει τους καταναλωτές σε μια συνείδηση κοινής ευθύνης. Από κάποιους χαρακτηρίζεται ως λύση κλειδί για ένα αειφόρο ενεργειακό σύστημα.

Επιπλέον, κάποιες έρευνες έδειξαν ότι η χρήση μονάδων μΣΗΘ ώθησαν τους καταναλωτές στην αλλαγή κάποιων συνηθειών που είχαν, προκειμένου να βελτιστοποιήσουν τη χρήση της ενέργειας που οι ίδιοι παράγουν στην κατοικία τους.

Ακόμη και αν η οικονομική κατάσταση γίνει πιο ελκυστική, οι εταιρίες του ενεργειακού τομέα θα αντιλαμβάνονται τη μικρο- παραγωγή ως μια επέκταση του status quo, με απομακρυσμένο έλεγχο (remote control) σε ένα μεγάλο αριθμό μονάδων εγκατεστημένων στις κατοικίες των καταναλωτών. Εναλλακτικά, οι καταναλωτές μπορεί να ασπαστούν τη νέα δυναμική που ανοίγεται με την μικρο- παραγωγή και με

την τεχνολογία πληροφορικής και επικοινωνιών, και να παίξουν ένα πιο ενεργό ρόλο στην παροχή των ενεργειακών υπηρεσιών που οι ίδιοι απαιτούν.

Στο τεχνικό σκέλος τώρα, πάλι ο τελικός χρήστης αποτελεί τον παράγοντα εκείνο που θα καθορίσει τον τύπο και τη δυναμικότητα της μονάδας ΣΗΘ. Ο λόγος θέρμανσης και ηλεκτρισμού (Heat to Power ratio), εξαρτάται από τον τύπο του τελικού χρήστη: Για θέρμανση και ζεστό νερό, για οικιακή χρήση, για χρήση σε νοσοκομεία ή εμπορικά κέντρα, κλπ., ο λόγος κυμαίνεται μεταξύ 3 και 10, ενώ για τη βιομηχανία ο λόγος κυμαίνεται από 2 έως 5 σε ετήσια βάση.

Στα επόμενα κεφάλαια θα γίνει μια σύντομη αναφορά σε κάποια από τα παραπάνω είδη ΣΗΘ.

#### **2.7.1.2.1 Συστήματα ατμοστροβίλου**

Είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα συμπαραγωγής, με δυναμικότητες 500 kW-100 MW. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν οποιοδήποτε καύσιμο [*Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (Γ.Δ Έρευνας και Μεταφορών, Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας)*]. Ακόμη και στερεά απόβλητα μπορούν να καούν σε ειδικούς λέβητες εφοδιασμένους με συστήματα κατακράτησης ή και εξουδετέρωσης ρύπων και τοξικών ουσιών, που δημιουργούνται κατά την καύση. Ο βαθμός απόδοσης φθάνει το 60-85%. Βασικός παράγοντας που προκαλεί την μείωση της απόδοσης του ατμοστροβίλου είναι η παρουσία σταγονιδίων στον ατμό, τα οποία είναι και η αιτία φυσικής διάβρωσης των πτερυγίων. Για τους παραπάνω λόγους, ο λόγος ξηρότητας του ατμού στην έξοδο του στροβίλου δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 0.9 [*Ευρωπαϊκή Επιτροπή, (Γ.Δ Έρευνας και Μεταφορών, Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας)*]. Γενικότερα όμως, τα συστήματα ατμοστροβίλου έχουν υψηλή αξιοπιστία, που φθάνει το 95%, υψηλή διαθεσιμότητα (90-95%) και μεγάλη διάρκεια ζωής (25-35 έτη). Όμως, ο χρόνος εγκατάστασης είναι σχετικά μεγάλος: 12-18 μήνες για μικρές μονάδες και μέχρι τρία έτη για μεγαλύτερα συστήματα [*Φραγκόπουλος Χ. Α., Et al., 1994*].

Οι τρεις βασικές διατάξεις ατμοστροβίλων είναι οι ακόλουθες:

- Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης (Σχήμα 13).
- Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο απομάστευσης (Σχήμα 14).
- Συστήματα συμπαραγωγής με ατμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης (Σχήμα 15).

Σε ένα σύστημα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο αντίθλιψης, ατμός υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας (20-100 bar και 480-540<sup>0</sup> C) παράγεται σε λέβητα με κατανάλωση καυσίμου και χρησιμοποιείται για την κίνηση αμοστροβίλου, στον άξονα του οποίου είναι συνδεδεμένη ηλεκτρογεννήτρια. Ο ατμός εξέρχεται από το στρόβιλο σε πίεση και θερμοκρασία κατάλληλη για τις θερμικές διεργασίες. Ο όρος «αντίθλιψη» οφείλεται στο ότι η πίεση αυτή είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (3-20 bar). Απομάστευση (δηλ. εξαγωγή) μέρους του ατμού από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις είναι επίσης δυνατή.

Σε ένα σύστημα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο απομάστευσης, μέρος του ατμού εξάγεται (απομαστεύεται) από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου στις επιθυμητές πιέσεις, ενώ ο υπόλοιπος εκτονώνεται μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή (λέγεται και ψυγείο ατμού) που είναι 0,05-0,10 bar.

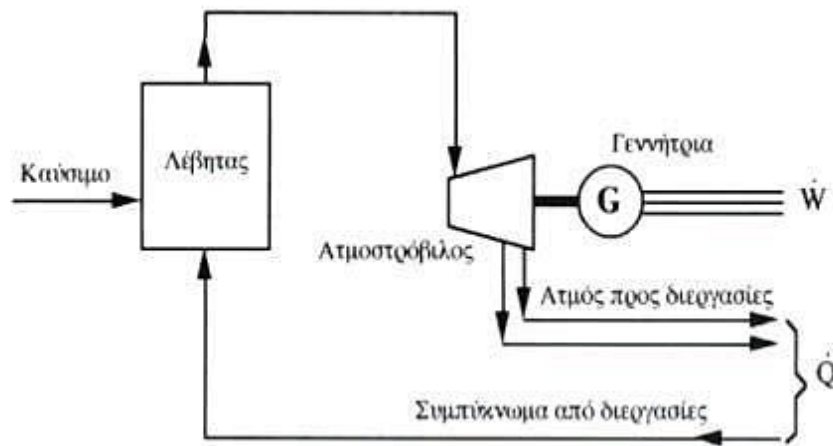
Τα συστήματα συμπαραγωγής με αμοστρόβιλο σε κύκλο βάσης προέκυψαν από τις βιομηχανίες (π.χ. χαλυβουργεία, υαλουργεία, κεραμουργεία, εργοστάσια τσιμέντου, εργοστάσια αλουμινίου, διυλιστήρια πετρελαίου, κ.λπ.) που παράγουν αέρια απόβλητα υψηλής θερμοκρασίας. Μετά τη θερμική διεργασία, τα αέρια αυτά μπορούν να περάσουν μέσα από λέβητα ανακομιδής θερμότητας (recuperator), όπου παράγεται ατμός που κινεί μια αμοστροβιλογεννήτρια. Έτσι, η μονάδα παραγωγής θερμότητας μετατρέπεται σε σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού.

Σε σύγκριση με το σύστημα απομάστευσης, το σύστημα αντίθλιψης έχει τα εξής πλεονεκτήματα [*Φραγκόπουλος Χ. Α., Et al., 1994*]:

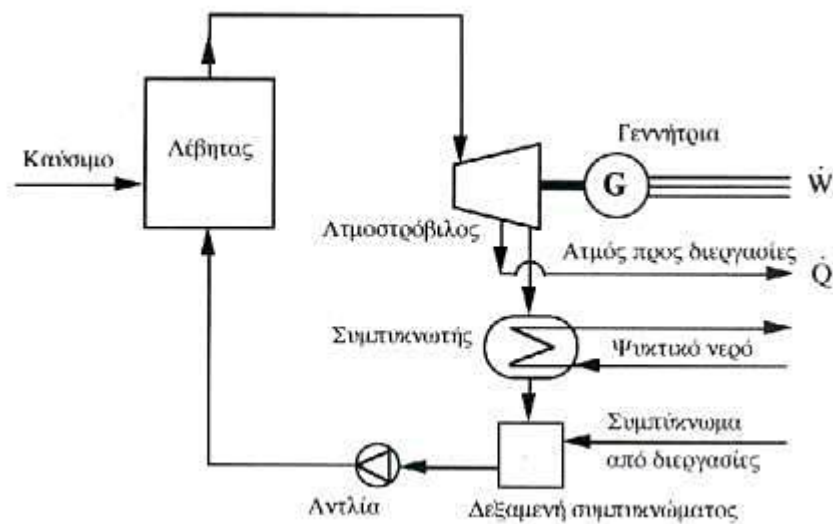
- Απλή μορφή.
- Μικρότερο κόστος.
- Μειωμένη ή και καθόλου ανάγκη ψυκτικού υγρού.
- Υψηλότερο βαθμό απόδοσης (περίπου 85%), κυρίως διότι δεν αποβάλλει θερμότητα στο περιβάλλον μέσω του ψυγείου.

Σημαντικό μειονέκτημά του όμως, είναι ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι στενά συνδεδεμένη με την απαιτούμενη θερμότητα, με αποτέλεσμα, αφενός να είναι αδύνατη η ανεξάρτητη λειτουργία του αμοηλεκτρικού σταθμού από το δίκτυο θέρμανσης, αφετέρου να είναι αναγκαία η αμφίδρομη σύνδεση με το εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού για την κάλυψη πρόσθετων αναγκών ή για τη διοχέτευση της πιθανής περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα απομάστευσης είναι ακριβότερα και έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης (περίπου 80%) από τα συστήματα αντίθλιψης. Όμως,

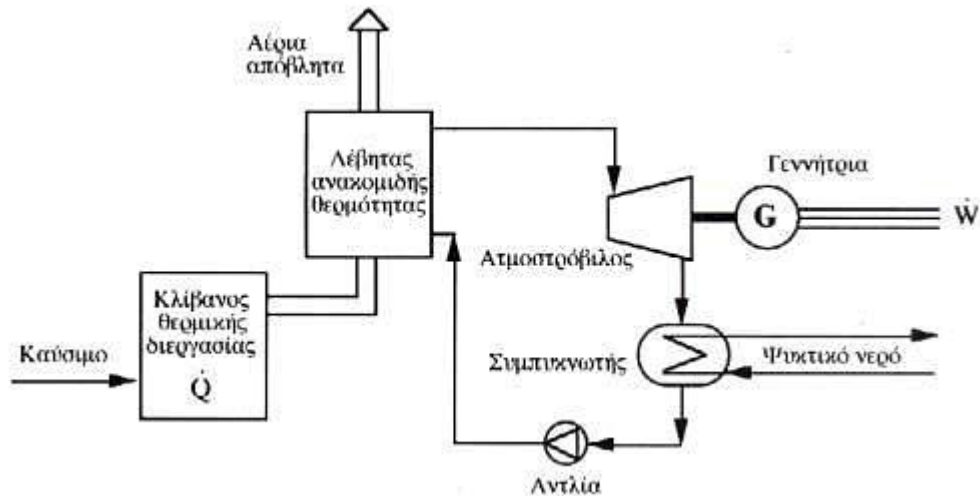
έχουν τη δυνατότητα ανεξάρτητης (μέσα σε ορισμένα όρια) ρύθμισης της ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος. Αυτό επιτυγχάνεται με ρύθμιση της ολικής παροχής ατμού και επομένως της παροχής ατμού προς τον συμπυκνωτή. Στα Σχήματα 13- 15, δίνονται τα διαγράμματα ροής των τριών συστημάτων [Φραγκόπουλος X. A., *Et al.*, 1994].



Σχήμα 13: Σύστημα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης [πηγή: Φραγκόπουλος X. A., *Et al.*, 1994]



Σχήμα 14: Σύστημα ΣΗΘ με ατμοστρόβιλο απομάστευσης [πηγή: Φραγκόπουλος X. A., *Et al.*, 1994]



Σχήμα 15: σύστημα συμπαραγωγής με κύκλο βάσης ατμού [πηγή: Φραγκόπουλος X. A., Et al., 1994]

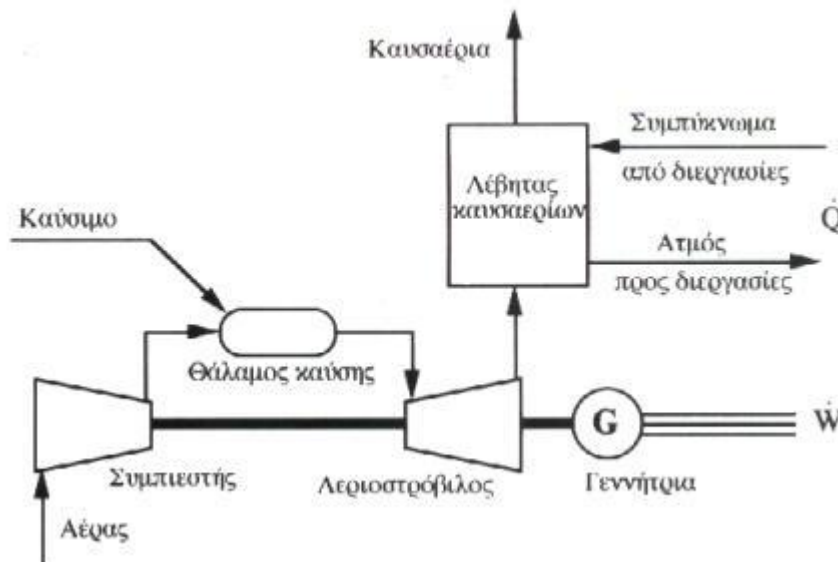
### 2.7.1.2.2 Συστήματα αεριοστροβίλου

Υπάρχουν δυο βασικές διατάξεις: ανοικτού κύκλου και κλειστού κύκλου [Φραγκόπουλος X. A., Et al., 1994]. Οι περισσότερες μονάδες αεριοστροβίλου είναι ανοικτού τύπου. Η αρχή λειτουργίας του ανοικτού κύκλου (Σχήμα 16) είναι η εξής: αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα, συμπιέζεται και οδηγείται στον θάλαμο καύσης. Τα καυσαέρια εκτονώνονται στον αεριοστρόβιλο (που κινεί τη γεννήτρια), από τον οποίο αποβάλλονται σε θερμοκρασίες 300-600°C. Η σημαντική ισχύς που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή και η υψηλή θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων είναι οι κύριες αιτίες του μικρού βαθμού απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος ηλεκτροπαραγωγής (25-35% και σε σύγχρονες προηγμένες μονάδες 40%) [Φραγκόπουλος X. A., Et al., 1994]. Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων κάνει τις μονάδες αυτές ιδανικές για συμπαραγωγή (Σχήμα 16), με αντίστοιχη αύξηση του βαθμού απόδοσης στο 60-80%. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσης της θερμότητας των καυσαερίων:

- Άμεση χρήση σε θερμικές διεργασίες (θέρμανση, ξήρανση κλπ)
- Διοχέτευση των καυσαερίων σε λέβητα ανακομιδής θερμότητας (λέγεται και λέβητας καυσαερίων). Εκεί παράγεται ατμός υψηλών χαρακτηριστικών, που είναι κατάλληλος όχι μόνον για θερμικές διεργασίες αλλά και για την κίνηση ατμοστροβίλου (συνδεδεμένου με γεννήτρια ή άλλο μηχάνημα). Στη δεύτερη περίπτωση πρόκειται για σύστημα συνδυασμένου κύκλου (Combined Cycle).

Και στους δύο τρόπους, είναι δυνατή η αύξηση του θερμικού περιεχομένου (δηλ. της θερμοκρασίας) των καυσαερίων, και επομένως της αποδιδόμενης θερμότητας,

όταν απαιτείται. Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου των καυσαερίων. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα, να λειτουργήσουν καυστήρες τοποθετημένοι μετά τον αεριοστρόβιλο οι οποίοι θα χρησιμοποιούν τα καυσαέρια για την καύση πρόσθετου καυσίμου.

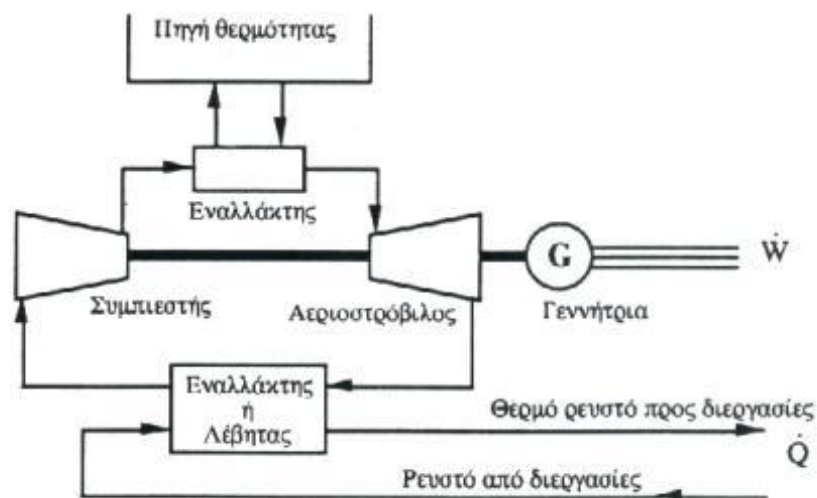


**Σχήμα 16:** Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου [πηγή: *Φραγκόπουλος Χ. Α., Et al., 1994*]

Τα συστήματα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο ανοικτού κύκλου έχουν ισχύ 100kW- 100MW. Λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέριο ή ελαφρά αποστάγματα πετρελαίου (π.χ. καύσιμο Diesel), ενώ ευοίωνες παρουσιάζονται οι προοπτικές για χρήση γαιανθράκων σε εξαερωμένη μορφή. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν καύσιμα αέρια, που παράγονται, π.χ., κατά την καταλυτική σχάση υδρογονανθράκων σε διωλιστήρια πετρελαίου.

Στα συστήματα κλειστού κύκλου, το εργαζόμενο ρευστό (συνήθως ήλιο ή αέρας) κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα. Θερμαίνεται μέχρι την κατάλληλη θερμοκρασία σε εναλλάκτη θερμότητας, πριν από την είσοδο στον αεριοστρόβιλο, και ψύχεται μετά την έξοδό του από αυτόν (Σχήμα 17). Καθώς το ρευστό δεν συμμετέχει στην καύση, διατηρείται καθαρό και έτσι αποφεύγεται η μηχανική και η χημική διάβρωση του αεριοστρόβιλου από τα προϊόντα της καύσης.

Η εξωτερική καύση (πηγή θερμότητας) επιτρέπει τη χρήση οποιουδήποτε καυσίμου στα συστήματα αυτά: άνθρακα, απόβλητα βιομηχανιών ή πόλεων, βιομάζα, υγρά ή αέρια καύσιμα παραγόμενα από βιομάζα, κ.λπ. Πυρηνική ή ηλιακή ενέργεια μπορούν επίσης να αποτελέσουν την πηγή θερμότητας.



Σχήμα 17: Σύστημα συμπαραγωγής με αεριοστρόβιλο κλειστού κύκλου [Φραγκόπουλος Χ. Α., *Et al.*, 1994]

Στην Ευρώπη και στην Ιαπωνία λειτουργούν συστήματα αυτού του τύπου (2-50 MW), ο αριθμός τους όμως είναι περιορισμένος. Μετά την απόκτηση αρκετής εμπειρίας, η αξιοπιστία των συστημάτων κλειστού κύκλου προβλέπεται ότι θα είναι τουλάχιστον ίση με εκείνη των συστημάτων ανοικτού κύκλου, ενώ η διαθεσιμότητα θα είναι υψηλότερη χάρη στις μικρότερες απαιτήσεις συντήρησης, που οφείλονται στην καθαρότητα του εργαζόμενου ρευστού [Φραγκόπουλος Χ. Α., *Et al.*, 1994].

### 2.7.1.2.3 Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης

Τα συστήματα αυτά, δε χρειάζονται συχνή συντήρηση και επισκευή. Η δυναμικότητά τους κυμαίνεται από δεκάδες kW μέχρι και πάνω από 10MW, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μορφές καύσιμης ύλης. Με τα παραπάνω δεδομένα, είναι κατάλληλα για εφαρμογές συμπαραγωγής σε φορτία κατοικιών, εμπορικών συγκροτημάτων και μικρών βιομηχανικών μονάδων [Ονονωίωνα Η. Ι., 2004].

Οι μηχανές Diesel χρησιμοποιούνται ευρέως σε μεγάλης κλίμακας μονάδες ΣΗΘ, αλλά μπορούν να εφαρμοστούν και σε μικρότερη κλίμακα. Λειτουργούν με καύσιμο Diesel ή βαρύ πετρέλαιο, ή ακόμη και με τη μέθοδο του διπλού καυσίμου όπου γίνεται πρωτίστως η καύση με φυσικό αέριο με ένα μικρό ποσοστό πιλοτικού Diesel. Τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν τα παραπάνω συστήματα είναι, η μηχανή, η γεννήτρια, το σύστημα ανάκτησης θερμότητας, το σύστημα εξόδου των καυσαερίων, το σύστημα ηχομόνωσης και τα όργανα ελέγχου. Η γεννήτρια οδηγείται από τη μηχανή και η θερμότητα ανακτάται από το σύστημα εξάτμισης και ψύξης. Οι μηχανές που

χρησιμοποιούνται στα συστήματα ΣΗΘ είναι ελαφρού/ στοιχειομετρικού ( lean/ stoichiometric mixture) μίγματος, καθώς έχουν χαμηλά επίπεδα εκπομπών και το πλεονάζον οξυγόνο στα καυσαέρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συμπληρωματική καύση. Παρόλα αυτά, στις μηχανές αυτές, η αυξημένη ροή καυσαερίων προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας προκαλώντας, χαμηλότερη ανάκτηση θερμότητας στο λέβητα καυσαερίων [Energy Nexus Group, Feb 2002].

Ανάλογα με το μέγεθος της μηχανής και τον τύπο αυτής, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανές υψηλών , μεσαίων και χαμηλών ταχυτήτων. Η αποδιδόμενη ισχύς είναι ανάλογη της ταχύτητας, με αποτέλεσμα οι μηχανές υψηλών ταχυτήτων να πετυχαίνουν τη μέγιστη απόδοση ανά μονάδα εκτοπίσματος (μέγεθος κυλίνδρου). Έτσι, οι μηχανές υψηλών ταχυτήτων, επιτυγχάνουν το χαμηλότερο κόστος ανά παραγόμενη KW. Εντούτοις, οι μηχανές αυτές παρουσιάζουν μεγάλους ρυθμούς αλλοίωσης, συντομεύοντας τις περιόδους συντήρησης.

Όσο αφορά στην σωστή λειτουργία των μηχανών ενός συστήματος ΣΗΘ, αυτή εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία, τις απαιτήσεις συντήρησης και τις εκπομπές. Οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν ένα εύρος απόδοσης από 25 έως 45%. Η συνολική απόδοση ενός συστήματος ΣΗΘ με αυτού του τύπου τις μηχανές φτάνει το 90%, ενώ η ηλεκτρική κυμαίνεται από 28 έως 39% και αυξάνει με το μέγεθος της μηχανής.

Διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Μονάδες μικρής κλίμακας με αεριομηχανή (15-1000 kW) ή κινητήρα Diesel (75-1000 kW).
- Συστήματα μέσης ισχύος (1000-6000 kW) με αεριομηχανή ή κινητήρα Diesel.
- Συστήματα μεγάλης ισχύος (άνω των 6000 kW) με κινητήρα Diesel.

Αεριομηχανές (Gas engines) ονομάζονται οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης που λειτουργούν με αέριο καύσιμο, π.χ., φυσικό αέριο, βιοαέριο, κ.λπ. Εμπορικά είναι διαθέσιμοι οι ακόλουθοι τύποι αεριομηχανών:

- Ø Βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. Είναι συνήθως μικρές μηχανές (15-30 kW), ελαφρές, με μεγάλη συγκέντρωση ισχύος. Η μετατροπή, επηρεάζει πολύ λίγο τον βαθμό απόδοσης, ενώ μειώνει την ισχύ κατά 18% περίπου. Χάρη στη μαζική παραγωγή οι τιμές τους είναι χαμηλές αλλά η διάρκεια ζωής τους είναι σχετικά μικρή (1000-3000 ώρες).



- ∅ Κινητήρες Diesel αυτοκινήτων που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές. Έχουν ισχύ μέχρι 200 kW. Η μετατροπή επιτυγχάνεται με τροποποιήσεις των εμβόλων, των κεφαλών και του μηχανισμού των βαλβίδων, που επιβάλλονται λόγω του ότι η έναυση δεν γίνεται πλέον με απλή συμπίεση αλλά με σπινθηριστή. Συνήθως, η μετατροπή δεν προκαλεί μείωση της ισχύος, καθώς υπάρχει περιθώριο μείωσης της περισσειας αέρα.
- ∅ Σταθερές μηχανές που έχουν μετατραπεί σε αεριομηχανές ή που έχουν από την αρχή σχεδιασθεί ως αεριομηχανές. Οι μηχανές αυτές είναι βαριές και στιβαρές. Κατασκευάζονται για εφαρμογές στη βιομηχανία και στα πλοία. Η ισχύς τους φθάνει 3000 kW. Η ανθεκτική κατασκευή τους μειώνει τις απαιτήσεις συντηρήσεων αλλά αυξάνει το κόστος αγοράς τους. Είναι μηχανές κατάλληλες για συνεχή λειτουργία σε υψηλό φορτίο.
- ∅ Σταθερές μηχανές διπλού καυσίμου. Είναι κινητήρες Diesel ισχύος μέχρι 6000 kW. Το καύσιμο αποτελείται κατά 90% από φυσικό αέριο, η έναυση του οποίου γίνεται όχι με σπινθηριστή αλλά με έγχυση υγρού καυσίμου Diesel (που αποτελεί το υπόλοιπο 10% της προσφερόμενης ενέργειας). Έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να λειτουργούν είτε με φυσικό αέριο είτε με καύσιμο Diesel, το οποίο βέβαια αυξάνει το κόστος αγοράς και συντήρησης.

Όπως και στην περίπτωση των αεριοστροβίλων, τα καυσαέρια των κινητήρων βρίσκουν είτε άμεση είτε έμμεση χρήση. Η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι 300-400°C, δηλ. αισθητά χαμηλότερη από εκείνη του αεριοστροβίλου, γι' αυτό και κάνει πιο συχνή την ανάγκη για συμπληρωματική πηγή θερμότητας. Αυτή αποκτάται, είτε με τοποθέτηση καυστήρα και προσαγωγή αέρα για καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσαερίων (ή στον κλίβανο της θερμικής διεργασίας), είτε με εγκατάσταση βοηθητικού λέβητα. Οι μεγάλοι κινητήρες προσφέρουν τη δυνατότητα συνδυασμένου κύκλου.

Ο βαθμός απόδοσης μικρών και μεσαίων κινητήρων είναι 35-45%, ενώ σε σύγχρονους μεγάλους κινητήρες φθάνει το 50%. Ο βαθμός απόδοσης ενός συστήματος συμπαραγωγής με εμβολοφόρο κινητήρα εσωτερικής καύσης βρίσκεται στην περιοχή του 80%. Τέλος, η διάρκεια ζωής είναι 15-20 έτη και εξαρτάται από το μέγεθος της μονάδας, την ποιότητα του καυσίμου και την ποιότητα της συντήρησης. Οι

παλινδρομικοί κινητήρες απαιτούν τακτικότερη συντήρηση σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα, με αποτέλεσμα μικρότερη μέση ετήσια διαθεσιμότητα: 80-90% [Φραγκόπουλος Χ. Α., *Et al.*, 1994].

Οι μηχανές ηλεκτρονικής ανάφλεξης είναι καταλληλότερες για μικρότερες εφαρμογές συμπαραγωγής, με το σύστημα ανάκτησης θερμότητας να παράγει νερό θερμοκρασίας 160<sup>0</sup> C ή ατμό πίεσης 20bar. Συνήθως τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο, αλλά υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης προπανίου, βενζίνης και βιοαερίου. Γενικώς, τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα μΣΗΘ παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης σε σχέση με άλλες τεχνολογίες συμπαραγωγής, είναι το χαμηλό κόστος κτήσης, η αξιόπιστη επί τόπου (on- site) παροχή ενέργειας, η ευκολία επισκευής και η ευρεία υποδομή συντήρησης [Ononwiona H. I., 2004].

Οι κύριες εκπομπές ρύπων των παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσης είναι, NO<sub>x</sub>, CO, πτητικά οργανικά συστατικά (VOCs), ενώ άλλοι ρύποι όπως SO<sub>x</sub> και σωματιδιακή ύλη, εξαρτώνται από τον τύπο των καυσίμων και της μηχανής που χρησιμοποιείται (Πίνακας 9). Γενικώς, οι εκπομπές SO<sub>x</sub> είναι περισσότερες σε μεγάλες, αργών ταχυτήτων μηχανές diesel που καίνε βαρύ πετρέλαιο [Energy Nexus Group, Feb 2002]. Η σωματιδιακή ύλη εμφανίζεται σε μηχανές diesel που καίνε υγρά καύσιμα.

**Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά εκπομπής των παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσεως που χρησιμοποιούνται στις μονάδες συμπαραγωγής [πηγή: CumminsPower ([www.cumminspower.com](http://www.cumminspower.com)), CoastIntelligen ([coastintelligen.com](http://coastintelligen.com))]**

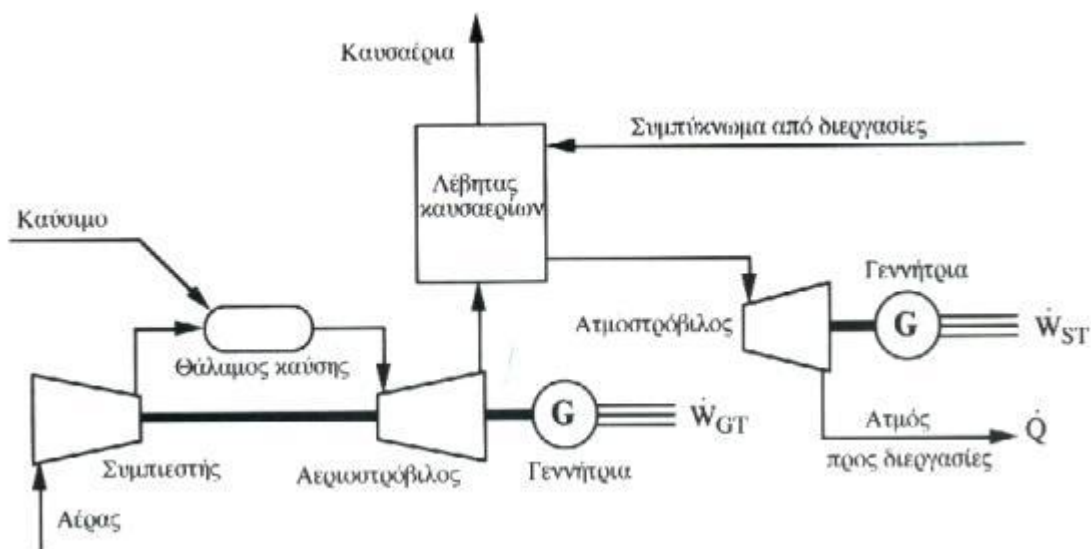
	Cummins Power						Coastintelligen	
Ηλεκτρική Ισχύς (kW)	7.5	16	16	20	35	50	55	80
Μηχανή/ τύπος καυσίμου	Diesel/ diesel	HA/ΦA	Diesel/ diesel	HA/ΦA	Diesel/ diesel	Diesel/ diesel	HA/ΦA	HA/ΦA
Συσκευή ελέγχου εκπομπών	Καμία	Καμία	Καμία	Καμία	Καμία	Turbo-charger	EKM	EKM
Λόγος Αέρα/ καυσίμου		16.8		16.6				
ΛΣ	18.5:1	9.4:1	18.5:1	9.4:1	17.3:1	16.5:1		
NO <sub>x</sub> , (g/bhph)	12.6	7.8	12.6	8.2	6.99	7.97	<0.15 <sup>a</sup>	<0.15 <sup>a</sup>
CO, (g/bhph)	3.13	36.8	3.13	38.6	1.26	0.75	<0.60 <sup>a</sup>	<0.60 <sup>a</sup>
Άκαυστοι υδρογ/κες (g/bhph)	1.64	1.3	1.64	1.2	0.50	0.4	<0.15 <sup>a</sup>	<0.15 <sup>a</sup>
SO <sub>2</sub> , (g/bhph)					0.62	0.6		
Σωματίδια (g/bhph)	0.66	Αμελητέα	0.66	Αμελητέα	N/A	0.13		

<sup>a</sup>: Οι εκπομπές διορθωμένες σε 15% O<sub>2</sub>, ΛΣ: λόγος συμπίεσης, ΦA: Φυσικό αέριο, HA: ηλεκτρονική ανάφλεξη, EKM: εξελιγμένος καταλυτικός μεταλλάκτης.

#### 2.7.1.2.4 Συστήματα συνδυασμένου κύκλου

Ο όρος «συνδυασμένος κύκλος» αναφέρεται σε συστήματα με δύο θερμοδυναμικούς κύκλους, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κάποιο εργαζόμενο ρευστό και λειτουργούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Ο κύκλος υψηλής θερμοκρασίας (κορυφής) αποβάλλει θερμότητα, που ανακτάται και χρησιμοποιείται από τον κύκλο χαμηλής θερμοκρασίας (βάσης) για την παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας, αυξάνοντας έτσι τον βαθμό απόδοσης [Horlock J. H., 1992].

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα συνδυασμένου κύκλου είναι εκείνα με συνδυασμό αεριοστροβίλου - ατμοστροβίλου (κύκλοι Joule - Rankine). Στο Σχήμα 18 απεικονίζονται τα βασικά στοιχεία ενός τέτοιου συστήματος [Φραγκόπουλος X. A., Et al., 1994].



Σχήμα 18: Σύστημα συμπαραγωγής συνδυασμένου κύκλου με ατμοστρόβιλο αντίθλιψης [πηγή:

Φραγκόπουλος X. A., Et al., 1994]

Η υψηλή περιεκτικότητα οξυγόνου στα καυσάεριο του αεριοστροβίλου (περίπου 17%), επιτρέπει την καύση συμπληρωματικού καυσίμου στον λέβητα καυσάεριων, εάν κριθεί αναγκαία για την αύξηση ισχύος του συστήματος. Η συμπληρωματική καύση αυξάνει τον βαθμό απόδοσης του συστήματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο, αλλά κάνει την εγκατάσταση και ιδιαίτερα τις διατάξεις ρύθμισης και ελέγχου πιο περίπλοκες. Η ισχύς των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου κυμαίνεται συνήθως στην περιοχή 20-400 MW, ενώ κατασκευάζονται επίσης και

μικρότερες μονάδες με ισχύ 4-11 MW. Ως προς τα καύσιμα ισχύει ότι αναφέρθηκε για τα συστήματα αεριοστροβίλου.

Ο χρόνος εγκατάστασης είναι 2-3 έτη. Είναι δυνατή η ολοκλήρωση της εγκατάστασης σε δύο πεδία: Εγκαθίσταται πρώτα η μονάδα αεριοστροβίλου, που μπορεί να είναι έτοιμη για λειτουργία σε 12-18 μήνες. Ενώ αυτή λειτουργεί, συμπληρώνεται το σύστημα με τη μονάδα του ατμοστροβίλου. Η αξιοπιστία των συστημάτων συνδυασμένου κύκλου είναι 80-85 %, η μέση ετήσια διαθεσιμότητα 77-85% και ο οικονομικός χρόνος ζωής 15-25 έτη [*Φραγκόπουλος X. A., Et al., 1994*].

Είναι επίσης δυνατός ο συνδυασμός κύκλου Diesel με κύκλο Rankine. Η διάταξη μοιάζει με εκείνη του Σχήματος 18, όπου η μονάδα συμπιεστή - θαλάμου καύσης - αεριοστροβίλου αντικαθίσταται από τον κινητήρα Diesel και τους εναλλάκτες θερμότητας που τον συνοδεύουν.

#### **2.7.1.2.5 Κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά**

Στον κύκλο βάσης του Σχήματος 18, εργαζόμενο μέσο είναι το νερό, που εξατμίζεται με ανάκτηση θερμότητας από αέρια υψηλής θερμοκρασίας (600°C ή και υψηλότερης). Η παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας με ανάκτηση θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας (80-300° C) είναι δυνατή εάν χρησιμοποιηθούν οργανικά ρευστά, π.χ. τολουένη, που έχουν θερμοκρασία βρασμού αρκετά χαμηλότερης εκείνης του νερού. Έτσι, πηγές θερμότητας μπορούν να είναι η ηλιακή ενέργεια, βιομηχανικά απόβλητα, γεωθερμική ενέργεια, καυσαέρια ή θερμότητα ψύξης μηχανών, κ.λπ.

Η ισχύς των συστημάτων αυτών κυμαίνεται στην περιοχή 2 kW - 10 MW. Ο βαθμός απόδοσης είναι μικρός( 10-30%), αλλά σημασία έχει το γεγονός, ότι ένα τέτοιο σύστημα παράγει πρόσθετη ισχύ χωρίς να ξοδεύει καύσιμο. Από κατασκευαστικής πλευράς, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή των υλικών, ώστε να μην παθαίνουν διάβρωση από το οργανικό ρευστό (π.χ. χρήση ανοξειδώτου χάλυβα), και στη στεγανότητα των στοιχείων του συστήματος, ώστε να μην διαφεύγει το οργανικό ρευστό στην ατμόσφαιρα.

Ο χρόνος εγκατάστασης μικρών συστημάτων (μέχρι 50 kW), και ιδιαίτερα εκείνων που είναι κατάλληλα για χρήση στον εμπορικό - κτιριακό τομέα, είναι 4-8 μήνες, ενώ για μεγαλύτερες μονάδες είναι 1-2 έτη. Καθώς η τεχνολογία αυτή είναι σχετικά νέα, δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες για την αξιοπιστία των συστημάτων. Εκτιμάται ότι η μέση ετήσια διαθεσιμότητά τους είναι 80-90%. Η αναμενόμενη διάρκεια ζωής τους είναι περίπου 20 έτη [*Φραγκόπουλος X. A., Et al., 1994*].

### 2.7.1.2.6 Μονάδες συμπαραγωγής μικρής κλίμακας (μΣΗΘ)

Αξίζει να γίνει εκτενής αναφορά στα συστήματα μΣΗΘ, καθώς αναμένεται ότι η μαζική παραγωγή αυτών με ηλεκτρική ισχύ 10-1000kW θα δώσει μεγάλη ώθηση στη διάδοσή τους. Τα συστήματα μΣΗΘ έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος,
- Μικρό όγκο,
- Εύκολη εγκατάσταση (το μόνο που χρειάζεται είναι η σύνδεσή τους με τα υδραυλικά και ηλεκτρικά δίκτυα), και
- αυτοματοποιημένη λειτουργία χωρίς τη συνεχή παρακολούθηση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Τα συστήματα μΣΗΘ (micro CHP) υλοποιούνται σήμερα με τέσσερις τεχνολογίες: [1] κυψέλες καυσίμου στερεού οξέος, [2] κυψέλες καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης, [3] μηχανές εσωτερικής καύσης και [4] μηχανές Stirling. Από αυτές, τα συστήματα που βασίζονται στις μηχανές Stirling αναπτύσσονται ολοένα και περισσότερο και πιστεύεται ότι θα αντικαταστήσουν τα συμβατικά συστήματα κεντρικής θέρμανσης κατοικιών. Από την άλλη, δεν είναι ακόμη σίγουρο ποιοι τύποι κινητήριων μηχανών, ποίου μεγέθους, με ποια διαμόρφωση και λειτουργικά χαρακτηριστικά μΣΗΘ, θα εισχωρήσουν στην αγορά μακροπρόθεσμα. Οπωσδήποτε, απαιτείται έρευνα ώστε να καθοριστούν οι στρατηγικές που θα μεγιστοποιήσουν τα μακροπρόθεσμα οφέλη της μΣΗΘ προσέγγισης, σε σχέση με τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, τα ενεργειακά κόστη για τους καταναλωτές, και τη διαχείριση της ζήτησης στη βιομηχανία ηλεκτρισμού [Peacock et al., 2005].

Η λογική ανάπτυξης των συστημάτων μΣΗΘ σε επίπεδο κατοικίας, βασίζεται σε δυο παράγοντες: Πρώτον, ότι θα είναι οικονομικά ελκυστικά στον καταναλωτή: αν και το κόστος αγοράς ενός συστήματος μΣΗΘ είναι μεγαλύτερο από εκείνο του συμβατικού λέβητα (ο οποίος παράγει μόνο θερμότητα), το μΣΗΘ παρέχει τη δυνατότητα οικονομίας στην κατανάλωση ρεύματος από το δίκτυο, και σε κάποιες περιπτώσεις επιπλέον έσοδα στον ιδιοκτήτη από την πώληση περίσσειας ρεύματος προς το δίκτυο. Δεύτερον, το μΣΗΘ σύστημα θα ικανοποιεί τη ζήτηση σε θέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια με ένα πιο αποδοτικά ενεργειακό τρόπο σε σχέση με τις συμβατικές καταστάσεις, με αποτέλεσμα να μειώνει την χρήση της πρωτογενούς ενέργειας και των εκπομπών του CO<sub>2</sub>. Σε σχέση δε με το θέμα των εκπομπών CO<sub>2</sub>, πιστεύεται ότι η ευρύτερη ανάπτυξη της μΣΗΘ, θα ενθαρρύνει τους καταναλωτές να κάνουν πιο σοφή χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας [Watson J., 2004].

Οι μΣΗΘ μονάδες χαρακτηρίζονται βασικά από το μέγεθος της κινητήριας μηχανής (prime mover size  $P_{oe}$ ), την ηλεκτρική απόδοση (electrical efficiency  $\zeta_e$ ) και την απόδοση ανάκτησης θερμότητας (heat-recovery efficiency  $\zeta_{hr}$ ). Η κινητήρια μηχανή έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (απόδοση λειτουργίας, ικανότητα παρακολούθησης του φορτίου, χαρακτηριστικά έναρξης-παύσης λειτουργίας, απαιτήσεις για service, αναμενόμενος χρόνος ζωής κλπ), τα οποία επηρεάζουν την απόδοσή της.

Πέρα από την κινητήρια μηχανή και τον εναλλάκτη θερμότητας, το σύστημα μΣΗΘ μπορεί να περιλαμβάνει, σύστημα αποθήκευσης θερμότητας, βοηθητικό λέβητα, ακόμη και συσκευή ηλεκτρικής αποθήκευσης. Η λειτουργία του συστήματος ελέγχεται από έναν λογικό ελεγκτή που βασίζεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της κατοικίας για θέρμανση και ηλεκτρισμό. Μπορεί επίσης να λαμβάνει και δεδομένα τιμών αγοράς-πώλησης ενέργειας.

Η μεταβαλλόμενη ζήτηση θερμότητας ή ενέργειας μιας κατοικίας (που σχετίζονται με την περιοχή, το βιοτικό επίπεδο, την έκταση της κατοικίας, και άλλες παραμέτρους), προκαλεί δυσκολίες σε μια απλή μονάδα συμπαραγωγής στο να ικανοποιήσει εξ' ολοκλήρου την παραπάνω ζήτηση χωρίς τις βοηθητικές πηγές ενέργειας που προαναφέραμε.

Ο χρόνος ζωής ενός συστήματος μΣΗΘ που βασίζεται σε κάποια συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να εκτιμηθεί από τον αριθμό των αλλαγών κατάστασης έναρξης/παύση λειτουργίας. Για παράδειγμα, σε ένα σύστημα μΣΗΘ που βασίζεται σε μηχανή Stirling, πρέπει να αποφεύγονται οι πολλές αλλαγές κατάστασης της μηχανής.

Η οικονομική απόδοση ενός συστήματος μΣΗΘ εξαρτάται, αφενός από τη διαφορά στην τιμή μονάδας αερίου (ή άλλου ορυκτού καυσίμου) και ηλεκτρισμού, αφετέρου από την τιμή μονάδας ηλεκτρισμού που εξάγεται από την αυτόνομη μονάδα παραγωγής προς το δίκτυο. Παρόλο που είναι δύσκολο να γίνει πρόβλεψη της πρώτης παραμέτρου σε βάθος χρόνου, είναι πολύ πιθανό (από έρευνα που έγινε στην Μ. Βρετανία) να είναι οικονομικά βιώσιμη η εφαρμογή μΣΗΘ. Όσο αφορά στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, τα συστήματα μΣΗΘ παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με την κλασική εφαρμογή τοπικού λέβητα-ηλεκτροδότησης από το δίκτυο [Peacock et al., 2005].

Η ανάπτυξη συστημάτων ΣΗΘ για χρήση σε επίπεδο κατοικίας, είναι πλέον εφικτή χάρη στις πρόσφατες τεχνολογικές προόδους στις μηχανές μικρής κλίμακας. Οι μηχανές Stirling που εφαρμόζονται στα συστήματα μΣΗΘ και οι κυψέλες καυσίμου

είναι πολλά υποσχόμενες σε εφαρμογές μΣΗΘ για κατοικίες, καθώς πετυχαίνουν υψηλές αποδόσεις και χαμηλά επίπεδα εκπομπών, αλλά επί του παρόντος, οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι τα μόνα διαθέσιμα συστήματα σε προσιτή τιμή [Voorpools KR et al., 2002]. Επίσης, οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι μια καλή λύση για εφαρμογές μΣΗΘ λόγω της γνωστής τεχνολογίας και της στιβαρότητάς τους. Οι μικροτουρμίνες (microturbines) είναι και αυτές μια καλή λύση αλλά είναι πιο ακριβές από τα συστήματα συμπαραγωγής με παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης [Pilavachi P. A., 2002].

Εντούτοις, έχουν δημοσιευτεί πολύ λίγα στοιχεία που να αναφέρονται στα δυνητικά οφέλη αυτών των εφαρμογών για τους καταναλωτές, στο επίπεδο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, στην ενδεχόμενη επίπτωση στο ηλεκτρικό δίκτυο που μπορεί να προκληθεί από την ευρεία εγκατάσταση των συστημάτων μΣΗΘ, καθώς και στις διάφορες τεχνολογίες που υλοποιούν αυτά τα συστήματα. Τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη εξαρτώνται ισχυρά από τα βασικά χαρακτηριστικά των συστημάτων μΣΗΘ, καθώς και από τις ενεργειακές απαιτήσεις κάθε κατοικίας.

Κτιριακές εφαρμογές, κατάλληλες για συμπαραγωγή είναι τα νοσοκομεία, συγκροτήματα ιδρυμάτων, ξενοδοχεία, συγκροτήματα γραφείων και κτίρια αυτόνομα ή συγκροτήματα κτιρίων που στεγάζουν πολλές οικογένειες. Στην περίπτωση του αυτόνομου κτιρίου μιας οικογένειας, ο σχεδιασμός αυτών των συστημάτων θέτει σημαντικές τεχνικές προκλήσεις εξαιτίας του ότι υπάρχει ετεροχρονισμός στο ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο, οπότε δημιουργείται η ανάγκη για εγκατάσταση επιπλέον μονάδας αποθήκευσης θερμικής/ ηλεκτρικής ενέργειας, ή παράλληλη σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Παρόλα αυτά, τα συστήματα συμπαραγωγής για συγκροτήματα κατοικιών, εμπορικά κτίρια ή και μεγαλύτερης κλίμακας, επωφελούνται από την ποικιλία θερμικού/ ηλεκτρικού φορτίου που εφαρμόζεται στο χρόνο και εξομαλύνει τις βυθίσεις ή τις επιπλέον απαιτήσεις σε ζήτηση ενέργειας καθενός καταναλωτή ξεχωριστά, εξαλείφοντας την ανάγκη για εγκατάσταση αποθήκευσης [Ononwiona H. I. Et al., 2004].

Οι εφαρμογές συμπαραγωγής στα κτίρια, πρέπει να ικανοποιούν ή τη ζήτηση σε θέρμανση και ηλεκτρισμό, ή τη θερμική ζήτηση και μέρος της ηλεκτρικής, ή το αντίστροφο. Ανάλογα με το μέγεθος του ηλεκτρικού και θερμικού φορτίου, αν ταιριάζουν ή όχι, και ανάλογα με τη στρατηγική εφαρμογής, το σύστημα ΣΗΘ μπορεί να λειτουργεί σε συνθήκες μερικού φορτίου, οπότε η επιπλέον ενέργεια (ηλεκτρική/ θερμική) θα πρέπει να αποθηκεύεται ή να πωλείται, και η ανεπάρκεια θα πρέπει να

καλύπτεται με αγορά ενέργειας από άλλες πηγές (ηλεκτρικό δίκτυο, σταθμός παραγωγής θερμικής ενέργειας, λέβητας κλπ) [Gilijamse W. Et al., 1995]. Η πλεονάζουσα παραγόμενη θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκεύεται σε μια συσκευή όπως μια δεξαμενή νερού, ενώ η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκεύεται σε συσκευές αποθήκευσης όπως, μπαταρίες ή πυκνωτές. Επίσης, η λειτουργία συστήματος ΣΗΘ μπορεί να εξαρτάται από τις μεταβαλλόμενες τιμές στην KWh, οπότε σε περιόδους υψηλών τιμών αυτής, το σύστημα θα αποτελεί μια ελκυστική λύση.

Η απόδοση του συστήματος ΣΗΘ, υπολογίζεται από το κλάσμα του καυσίμου που μετατρέπεται σε θερμότητα και ηλεκτρισμό. Η εναπομένουσα ενέργεια, χάνεται με τη μορφή θερμότητας των καυσαερίων και με την θερμότητα που εκπέμπουν τα μηχανικά μέρη του συστήματος (μηχανή και γεννήτρια). Όταν το καύσιμο (υδρογονάνθρακας) καίγεται παρουσία  $O_2$ , το νερό παράγεται ως προϊόν καύσης με τη μορφή ατμού. Οι κατασκευαστές, συσχετίζουν την απόδοση με τη θερμότητα χαμηλής αξίας (Low Heating Value, LHV). Η LHV ορίζεται ως η θερμότητα υψηλής αξίας (High Heating Value, HHV), μειωμένη κατά το ποσό της ενέργειας που απαιτείται για να εξατμιστεί το παραγόμενο νερό κατά τη διάρκεια της καύσης. Η HHV είναι η συνολική θερμότητα που παράγεται από την καύση του καυσίμου. Η LHV είναι γνωστή και ως καθαρή θερμαντική ικανότητα (Net Calorific Value, NCV).

Η απόδοση, εκφράζεται γενικώς σε σχέση με την ηλεκτρική απόδοση και τη συνολική απόδοση [Ononwiona H. I. Et al., 2004]:

$$\text{Ηλεκτρική απόδοση} = \frac{\text{Ηλεκτρική παραγωγή (kW)}}{\text{είσοδη καυσίμου (kW)}}$$

$$\text{Συνολική απόδοση} = \frac{\text{Χρήσιμη θερμική} + \text{ηλεκτρική παραγωγή (kW)}}{\text{είσοδη καυσίμου (kW)}}$$

Επίσης, η απόδοση ενός συστήματος ΣΗΘ εξαρτάται από τον τύπο της κινητήριας μηχανής, το μέγεθός της και τη θερμοκρασία της χρήσιμης ανακτώμενης θερμότητας. Εξαρτάται επίσης, από τις συνθήκες λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘ. Το καθεστώς λειτουργίας είναι κρίσιμη παράμετρος, διότι τα συστήματα ΣΗΘ σπάνια λειτουργούν σε ποσοστό μικρότερο του 50% από την ονομαστική τους απόδοση. Σε χαμηλό φορτίο, η ηλεκτρική απόδοση πέφτει σημαντικά εκτός από τα συστήματα που βασίζονται σε μηχανές Stirling και κυψέλες καυσίμου, τα οποία παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά στο χειρισμό των ατελών (μερικών) φορτίων. Η χαμηλή



θερμότητα, προκαλεί διακυμάνσεις στην παραγόμενη ισχύ, απαιτήσεις για αυξημένη συντήρηση και μείωση του χρόνου ζωής. Η θερμική απόδοση μεγιστοποιείται, όταν τα συστήματα ελέγχονται για να ακολουθούν το θερμικό φορτίο του κτιρίου [*Ononwiona H. I. Et al., 2004*].

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος ΣΗΘ για κτιριακή εφαρμογή, θα πρέπει να υπολογιστεί το επίπεδο αξιοποίησης αυτού, το οποίο δεν πρέπει να είναι κάτω από 4500 ώρες ανά έτος, ώστε να αποφεύγονται οι συχνές επισκευές. Η βασική συντήρηση γίνεται μια φορά το χρόνο και πρέπει να λαμβάνονται μέτρα αποφυγής συχνών διακοπών λειτουργίας (outages). Οι απρογραμματίστες διακοπές καθορίζουν επίσης και το βαθμό αξιοπιστίας του συστήματος.

Πέρα από την ενεργειακή απόδοση του συστήματος ΣΗΘ για τις προαναφερόμενες εφαρμογές, παράγοντες κόστους (καυσίμων και συντήρησης), περιβαλλοντικά οφέλη κλπ, επηρεάζουν τη δυναμικότητα της συμπαραγωγής. Τα συστήματα ΣΗΘ μεγάλης κλίμακας πλεονεκτούν στην οικονομία κλίμακας και παρουσιάζουν μικρότερο κόστος εγκατάστασης ανά μονάδα παραγόμενης ισχύος. Αντίθετα, οι μονάδες μΣΗΘ, απαιτούν υψηλότερο κόστος το οποίο αποτελεί εμπόδιο στην υλοποίησή τους, ενώ η χαμηλή αξιοπιστία και διάρκεια ζωής των επί μέρους εξαρτημάτων (hardware), η ασυμβατότητα με την τεχνολογία HVAC (συστήματα Θέρμανσης, Αερισμού και Κλιματισμού, Heat Ventilation and Air Conditioning) και η έλλειψη δυνατότητας διασύνδεσης στο ηλεκτρικό δίκτυο, έχουν περιορίσει τη χρήση τους στον τομέα της κατοικίας [*Caneta Research, 1992*].

Οι κύριες δαπάνες, εξαρτώνται από τα επιμέρους εξαρτήματα που ολοκληρώνουν το σύστημα και από τις προδιαγραφές αυτού. Αυτά τα εξαρτήματα περιλαμβάνουν τα εξής: την κινητήρια μηχανή και το σύνολο της γεννήτριας, το σύστημα ανάκτησης και απόρριψης θερμότητας, το σύστημα εκπομπής καυσαερίων, τον εφοδιασμό καυσίμων, τον πίνακα ελέγχου, τη σωλήνωση, τα συστήματα εξαερισμού και καύσης, τα έξοδα μεταφοράς, και τους φόρους, εάν βέβαια επιβάλλονται. Οι δαπάνες εγκατάστασης αποτελούνται από τις άδειες εγκαταστάσεων, την αγορά χώρου χρήσης, την οικοδόμηση κτιρίου και την εγκατάσταση του εξοπλισμού. Κάποια από αυτά τα έξοδα μπορεί να μην εφαρμόζονται στις κατοικίες ή στα μικρά εμπορικά κτίρια. Επιπλέον έξοδα περιλαμβάνουν, τα καύσιμα, το προσωπικό, και τα κόστη συντήρησης και ασφάλισης [*Ononwiona H. I. Et al., 2004*].

Τα πακέτα συμπαραγωγής με κινητήρα Diesel είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για τις εφαρμογές του εμπορικού-κτιριακού τομέα. [*Katsigiannis P. A. et al. (2005)*,

Φραγκόπουλος X. A., et al. (1994)]. Το 27-35% της ενέργειας του καυσίμου μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό και το 50-55% σε θερμότητα [Φραγκόπουλος X. A., Et al. (1994), Cardona E. et al. (2005)]. Βέβαια, σε ισχείς μικρότερες των 100 kW είναι δυνατή η χρήση και του αεριοστροβίλου. Μπορούν να λειτουργούν με υγρό ή αέριο καύσιμο. Το φυσικό αέριο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο καύσιμο για τις μονάδες αυτές χάρη στην καθαρότητα, την έλλειψη ανάγκης αποθήκευσης και τη χαμηλή τιμή του [Φραγκόπουλος X. A., Et al. (1994)].

Συστήματα που βασίζονται σε παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης, εκμεταλλεύονται το 70- 80% της ενέργειας που παρέχεται από τα καύσιμα με την ανάκτηση θερμότητας από τα στάδια ψύξης και εξάτμισης, για παραγωγή ηλεκτρισμού και θέρμανσης (Πίνακας 10).

**Πίνακας 10: Ποσοστό εκμετάλλευσης της ενέργειας σε παλινδρομικές μηχανές με και χωρίς ανάκτηση θερμότητας [πηγή: Energy Nexus Group Feb. 2002]**

	Χωρίς ανάκτηση θερμότητας (%)	Με ανάκτηση θερμότητας (%)
Έξοδος στο σφόνδυλο	35 <sup>a</sup>	35 <sup>a</sup>
Μη ανακτημένη θερμότητα	65	21
Ανακτημένη θερμότητα	0	44 <sup>a</sup>
Συνολική χρήσιμη ενέργεια	35 <sup>a</sup>	79 <sup>a</sup>

Η διαθεσιμότητα των μονάδων με επιμελημένη κατασκευή και συντήρηση φθάνει το 90%. Σημαντική συμβολή στο σημείο αυτό έχει ο αυτόματος έλεγχος της λειτουργίας των μονάδων. Μικροεπεξεργαστές, εγκατεστημένοι στον χώρο όπου βρίσκεται η μονάδα, παρακολουθούν τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων και μεταβιβάζουν τα σχετικές πληροφορίες, μέσω αποκλειστικής τηλεφωνικής γραμμής, σε κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή. Όταν η εξέλιξη των τιμών ορισμένων παραμέτρων δείχνει επερχόμενη βλάβη, ειδοποιείται η ομάδα συντήρησης, που επεμβαίνει πριν ακόμη η βλάβη εκδηλωθεί. Ένα τέτοιο δίκτυο παρακολούθησης συστημάτων μΣΗΘ έχει εγκατασταθεί στην Αγγλία με πολύ καλά αποτελέσματα. Έντονη διάδοση των μονάδων αυτών παρατηρείται επίσης στην Ολλανδία και Γερμανία [Φραγκόπουλος X. A., Et al. (1994)].

#### **2.7.1.2.7 Μικροστροβίλοι (microturbines, MT)**

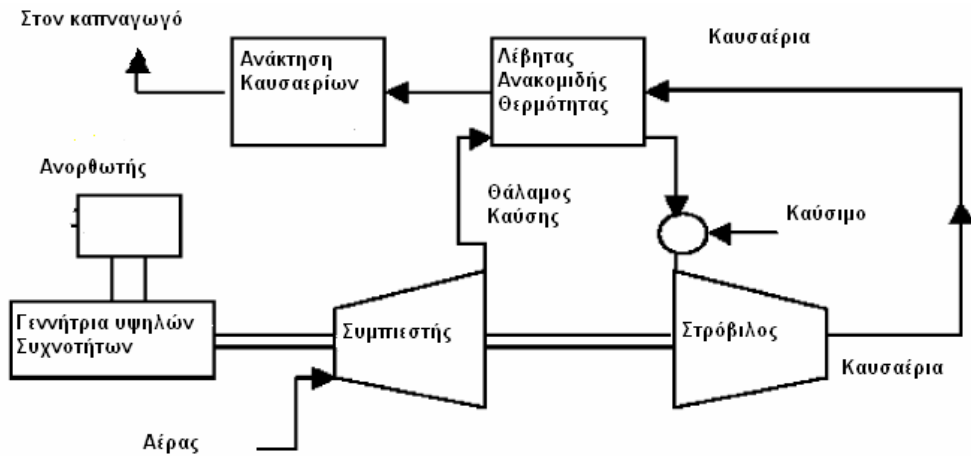
Τα συστήματα μικροστροβίλων έχουν ηλεκτρική απόδοση γύρω στο 30%, μπορούν να δεχτούν πολλά ήδη καυσίμων, έχουν μικρά επίπεδα εκπομπών, και δυνατότητα για ανάκτηση θερμότητας, ενώ δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση

(χρειάζεται όμως καταρτισμένο τεχνικό προσωπικό). Για τα συστήματα ΣΗΘ μπορούν να εξασφαλίσουν απόδοση πάνω από 80% [Pilavachi P. A., 2002]. Η ισχύς κυμαίνεται από 25 -80 kW, δυναμικότητα που μπορεί να καλύψει άνετα τις ανάγκες μιας κατοικίας, ή ενός συγκροτήματος κτιρίων. Γίνονται επίσης έρευνες για ανάπτυξη συστημάτων ισχύος μικρότερης από 25kW [Pilavachi P. A., 2002]. Στις μικρότερης κλίμακας ισχύος όμως, οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι μικροστρόβιλοι, έχουν να κάνουν με το μικρό τους μέγεθος και βάρος, το μικρό αριθμό κινούμενων μερών, και τη χαμηλή στάθμη θορύβου κατά τη λειτουργία. Εκτός από φυσικό αέριο, μπορούν να χρησιμοποιήσουν και άλλα καύσιμα όπως, diesel, βιοαέριο, αιθανόλη, κλπ.

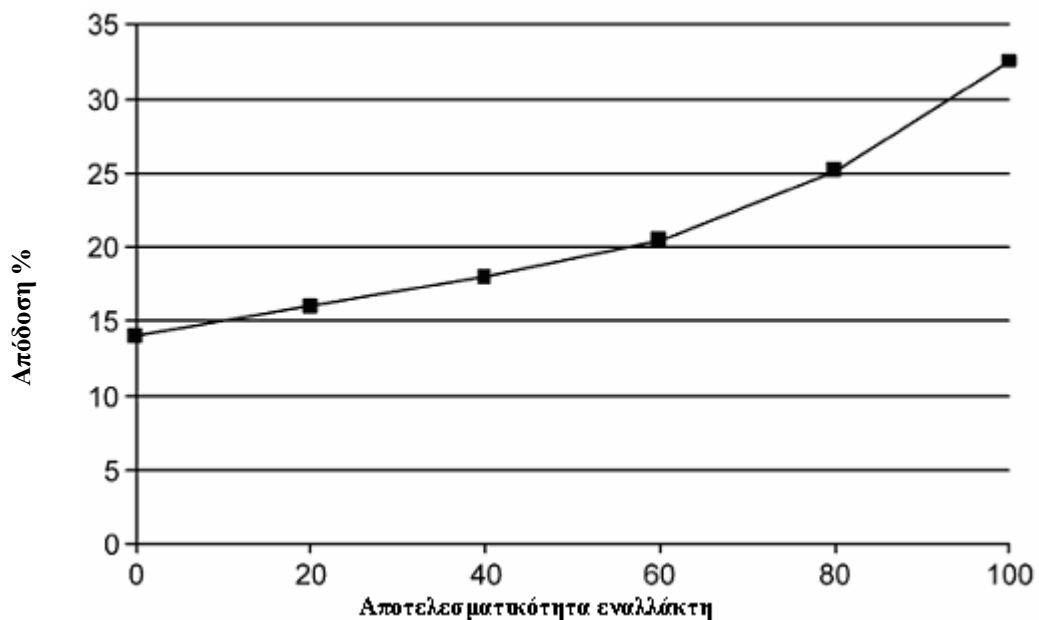
Τα στάδια θερμοδυναμικής λειτουργίας ενός συστήματος μικροστρόβιλου είναι, η είσοδος αέρα στη μονάδα του συμπιεστή, συμπίεση αέρα, ανάμιξη και καύση με την καύσιμη ύλη στο θάλαμο καύσης. Στη συνέχεια, τα θερμά αέρια καύσης εκτονώνονται κινώντας τη τουρμπίνα, η οποία με τη σειρά της οδηγεί το συμπιεστή και παρέχεται ισχύς στον άξονα του συμπιεστή της τουρμπίνας. Τα εξερχόμενα θερμά αέρια καύσης, περνάν μέσα από τον εναλλάκτη θερμότητας (λέβητας ανακομιδής θερμότητας), και προθερμαίνουν τον αέρα πριν περάσει από τη μονάδα συμπίεσης στο θάλαμο καύσης. (Σχήμα 19).

Δεν υπάρχουν ακόμη επαρκή στοιχεία για την πραγματική απόδοση, το χρόνο ζωής, τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης τέτοιων μονάδων, εξαιτίας περιορισμένων δοκιμών της επί τόπου λειτουργίας. Επίσης, δεν είναι σαφείς οι πληροφορίες για την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα, αν και οι κατασκευαστές ισχυρίζονται υψηλές τιμές διαθεσιμότητας.



Σχήμα 19: Διάγραμμα μονάδας συμπαραγωγής βασισμένης σε μικροτουρμπίνα με λέβητα ανακομιδής θερμότητας [πηγή: Energy Nexus Group, Mar. 2002].

Οι Μικροτουρμπίνες είναι πιο πολύπλοκες κατασκευαστικά απ' ότι οι συμβατικοί αεριοστρόβιλοι, λόγω της ύπαρξης του λέβητα ανακομιδής θερμότητας που με τη λειτουργία του σκοπός είναι η μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και η περαιτέρω αύξηση της απόδοσης. Μπορεί να επιτευχθεί μείωση στην κατανάλωση καυσίμου της τάξης του 30- 40%. Έτσι, αυξάνοντας την απόδοση του λέβητα, αυξάνεται ανάλογα και η απόδοση της μικροτουρμπίνας (Σχήμα 20) [Energy Nexus Group, Mar 2002].



Σχήμα 20: Η απόδοση της μικροτουρμπίνας σε συνάρτηση της απόδοσης του λέβητα ανακομιδής θερμότητας [πηγή: Energy Nexus Group, Mar 2002]

Η απόδοση του μικροστρόβιλου σε ένα σύστημα συμπαραγωγής, μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω με την παράλληλη αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας και πίεσης του κύκλου, γεγονός όμως που απαιτεί την κατασκευή του συστήματος με υλικά υψηλής θερμικής αντοχής. Εντούτοις, οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν μεγαλύτερες εκπομπές NO<sub>x</sub>, δημιουργώντας την ανάγκη για διαφορετική σχεδίαση του συμπιεστή προκειμένου να αποφευχθούν οι επιπλέον εκπομπές [Pilavachi P. A., 2002].

Οι μικροστρόβιλοι διακρίνονται γενικότερα για τις χαμηλές εκπομπές ρύπων. Είναι σχεδιασμένοι ώστε σε πλήρες φορτίο να εκπέμπουν λίγους ρύπους, αλλά η λειτουργία τους σε χαμηλό φορτίο αυξάνει τις εκπομπές. Οι κύριοι ρύποι είναι, NO<sub>x</sub>, CO, υδρογονάνθρακες και μικρές ποσότητες SO<sub>2</sub> [Πίνακας 11]. Τα NO<sub>x</sub>, αποτελούνται κυρίως από NO και NO<sub>2</sub>.

**Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά εκπομπών μικροτουρμπίνων [πηγή: Energy Nexus Group, Mar 2002]**

	Capstone model 330 micro-turbine	IR energy systems 70LM	Turbec T100
Ονομαστική Ισχύς(kW)	30	70	100
Ηλεκτρική Απόδοση(%) HHV	23	25	27
NO <sub>x</sub> , ppmv	9	9	15
NO <sub>x</sub> , lb/MW ha	0.54	0.50	0.80
CO, ppmv	40	9	15
CO, lb/MW h	1.46	0.30	0.49
THC, ppmv	<9	<9	<10
THC, lb/MW h	<0.19	<0.17	<0.19
CO <sub>2</sub> , lb/MW h	1928	1774	1706
Άνθρακας, lb/MW h	526	484	465

#### 2.7.1.2.8 Συμπαραγωγή με κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κέντρα ενός συστήματος το οποίο χρησιμοποιεί το υδρογόνο ως καύσιμο. Είναι αυτές οι οποίες αναλαμβάνουν τη μετατροπή του καυσίμου σε χρήσιμη ηλεκτρική ενέργεια. Η έννοια της κατάλυσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη λειτουργία μιας κυψέλης καυσίμου, και η έρευνα για τη βελτίωση της αποδόσεων της γίνεται κυρίως σε αυτόν τον τομέα, τομέας εξ ορισμού μελετώμενος στην κλίμακα του νανομέτρου. Στη βασική της μορφή λειτουργεί ως εξής: υδρογόνο και οξυγόνο αντιδρούν με την παρουσία ηλεκτρολύτη και παράγουν νερό, ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσεται ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που προκαλεί ροή

ηλεκτρικού ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα (φορτίο). Καθώς η αντίδραση είναι εξώθερμη, παράγεται θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ωφέλιμα [Τσιτάρης Γ., 2004].

Όσο αφορά τη συμπαραγωγή, οι κυψέλες καυσίμου είναι κατάλληλες στον βιομηχανικό και εμπορικό- κτιριακό τομέα (ιδιαίτερα σε συνδυασμό με το φυσικό αέριο). Κύρια πλεονεκτήματά τους είναι τα ακόλουθα [Φραγκόπουλος Χ. Α., *Et al.* (1994)]:

- αρθρωτή (modular) δομή, που διευκολύνει την κατασκευή μονάδων με την επιθυμητή ισχύ,
- διατήρηση υψηλού ηλεκτρικού βαθμού απόδοσης ακόμη και σε μερικό φορτίο ( δηλ. φορτίο μικρότερο του ονομαστικού),
- ευκολία αυτοματισμού,
- χαμηλές εκπομπές ρύπων,
- χαμηλή στάθμη θορύβου.

Το απαιτούμενο υδρογόνο παράγεται από ορυκτά καύσιμα και συνήθως μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), που αποτελεί το κύριο συστατικό του φυσικού αερίου. Ορισμένοι τύποι κυψελών μπορούν να λειτουργήσουν και με διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) ή υδρογονάνθρακες. Από τους διάφορους τύπους κυψελών καυσίμου μόνον οι κυψέλες φωσφορικού οξέως έχουν αναπτυχθεί σε βαθμό που είναι ήδη κατάλληλες για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και είναι σήμερα εμπορικά διαθέσιμες. Επιδεικτικές μονάδες ισχύος 25 kW - 11 MW έχουν κατασκευασθεί σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες, στις Η.Π.Α. και στην Ιαπωνία. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους (περίπου 200°C) περιορίζει τη θερμοκρασία της ανακτώμενης θερμότητας. Υπάρχουν σήμερα τυποποιημένες μονάδες συμπαραγωγής, με θερμότητα που είναι διαθέσιμη σε θερμοκρασία 80-90 °C [Φραγκόπουλος Χ. Α., *Et al.* (1994)]. Για τις κυψέλες καυσίμου και το πεδίο εφαρμογής τους θα γίνει λεπτομερής αναφορά σε επόμενη ενότητα.

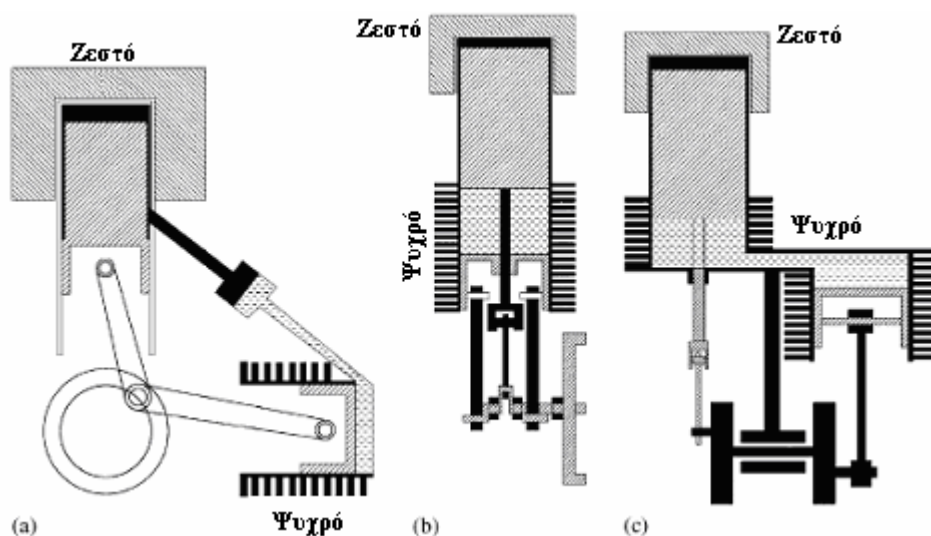
#### **2.7.1.2.9 Μηχανές Stirling**

Η συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας είναι επίσης δυνατή με μηχανές Stirling. Η μηχανή Stirling είναι παλινδρομική, εξωτερικής καύσης που αναπτύχθηκε από τον Robert Stirling το 1817. Χρησιμοποιεί μια εξωτερική πηγή ενέργειας, για τη θέρμανση του αερίου που βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο. Αυτό το αέριο, κάτω από πίεση, εκτονώνεται όταν θερμαίνεται, οδηγώντας ένα έμβολο (πιστόνι) στην παραγωγή έργου. Ο όγκος του εκτονωμένου αερίου, έχοντας ελευθερώσει το μεγαλύτερο μέρος

της ενέργειας, ψύχεται και συμπιέζεται πριν τον επόμενο κύκλο [Corria M. E., Et al., 2005].

Η μηχανή κύκλου Stirling είναι κατάλληλη για μόνιμη παραγωγή ενέργειας. Είναι εξ' ορισμού «πράσινη», καθώς μπορεί να χρησιμοποιήσει διάφορους τύπους εναλλακτικών πηγών ενέργειας, περιλαμβανομένης της ηλιακής και γεωθερμικής, της βιομάζας και του βιοαερίου από διάφορες πηγές απορριμμάτων. Η λειτουργία της μηχανής γίνεται με συνεχή καύση του καυσίμου σε αντίθεση με την ασυνεχή (διακοπτόμενη) καύση των μηχανών εσωτερικής καύσης, με αποτέλεσμα αφενός, να γίνεται πιο ολοκληρωμένη καύση του καυσίμου, αφετέρου, να επιτυγχάνονται λιγότερες εκπομπές ανεπιθύμητων αερίων [McKenna J., 2003].

Κατασκευαστικά, οι μηχανές Stirling κατηγοριοποιούνται σε τρεις τύπους: άλφα, βήτα και γάμα (Σχήμα 21) [Corria M. E., Et al., 2005].



Σχήμα 21: Τύποι μηχανών Stirling: (a) άλφα, (b) βήτα (c) γάμα [πηγή: Corria M. E., Et al., 2005]

Η μηχανή άλφα τύπου αποτελείται από δυο ανεξάρτητους κυλίνδρους, τοποθετημένοι σε γωνία  $90^{\circ}$ , με δυο πιστόνια (έμβολα). Ο ένας κύλινδρος θερμαίνεται, ενώ ο άλλος ψύχεται μέσα από μια λεπτή επιφάνεια μεταφοράς που χρησιμοποιεί αέρα ή νερό. Η βήτα τύπου βασίζεται στη πρωτότυπη μηχανή Stirling και αποτελείται από ένα κύλινδρο με μια θερμή και μια ψυχρή ζώνη. Ο εκτοπιστής βρίσκεται εντός του κυλίνδρου. Η μηχανή γάμα τύπου προέκυψε από την τύπου βήτα, και είναι πιο εύκολα υλοποιήσιμη. Αποτελείται από δυο ξεχωριστούς κυλίνδρους ενώ, ο εκτοπιστής είναι μέσα σε έναν από αυτούς και ο κινητήριος κύλινδρος μέσα στον άλλο.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι μηχανές Stirling είναι:

- ∅ Δυνατότητα υλοποίησης συμπαραγωγής.
- ∅ Συνολική απόδοση γύρω στο 30%, γεγονός που τις κάνει ανταγωνιστικές σε σχέση με τις υπόλοιπες γεννήτριες μικρής κλίμακας [Corria M. E., Et al., 2005].
- ∅ Υψηλές αποδόσεις κατά τη διάρκεια μερικής λειτουργίας του φορτίου [SOLO Stirling Engine, 2005].
- ∅ Περιβαλλοντικά φιλικές σε σχέση με τις μηχανές εσωτερικής καύσης, με ιδιαίτερα χαμηλές εκπομπές NOx και CO (Σχήμα 22) [SOLO Stirling Engine (2005), Abdullah S. et al. (2005)].
- ∅ Ασφαλής λειτουργία και χαμηλά επίπεδα θορύβου, γεγονός που τις κάνει ιδανικές για χρήση σε στρατιωτικές και ιατρικές εφαρμογές [Abdullah S. et al., 2005].
- ∅ Χαμηλό κόστος συντήρησης, πολύ χαμηλότερο από τις αντίστοιχες μηχανές εσωτερικής καύσης [McKenna J., 2003].
- ∅ Δυνατότητα χρήσης μεγάλης ποικιλίας καυσίμων [McKenna J., 2003].
- ∅ Αναμενόμενος χρόνος ζωής 25000 ώρες.

Τα μειονεκτήματα που μπορούν να αναφερθούν είναι [Corria M. E., Et al., 2005]:

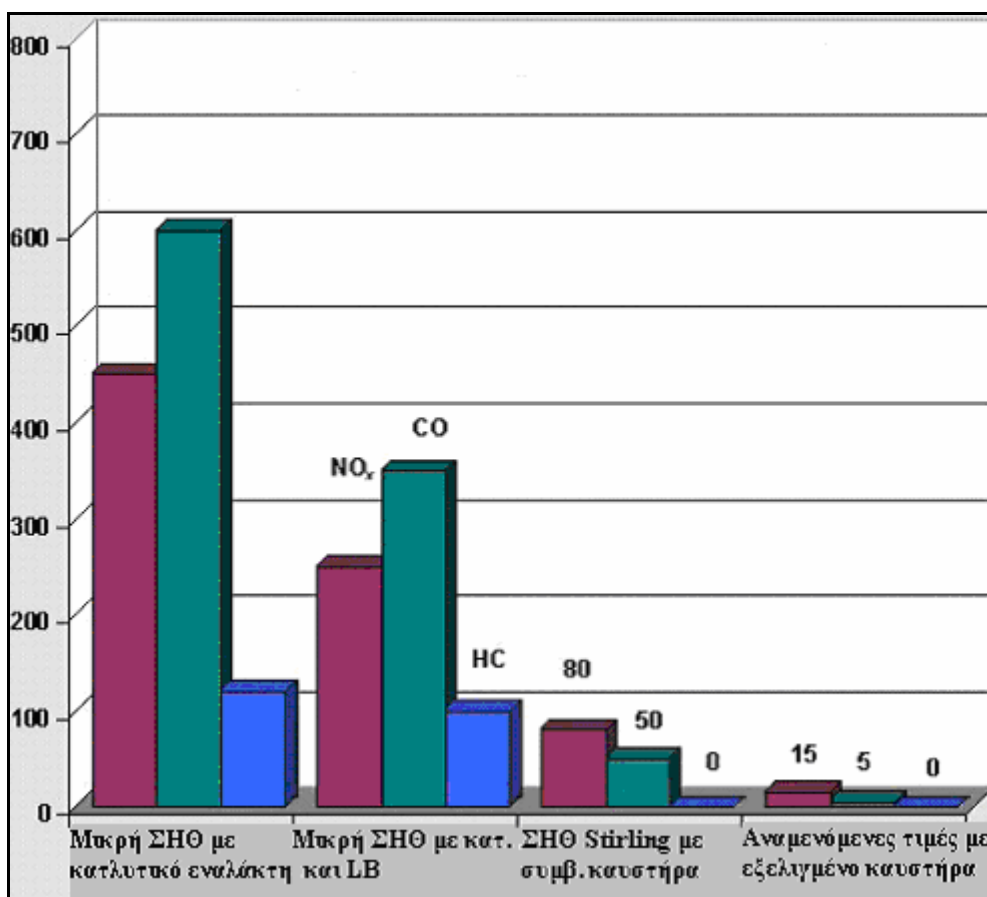
- ∅ Τα έξοδα κεφαλαίου είναι σχετικά υψηλά, κυρίως διότι οι μηχανές κατασκευάζονται σε μικρές ποσότητες.
- ∅ Έχει δοκιμαστεί περιορισμένος αριθμός καυσίμων. Προβλήματα μπορεί να προκύψουν με τη χρήση υπολειμματικών καυσίμων. Σκουριά, πίσσα ή σωματίδια ενδέχεται να μειώσουν την απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας.
- ∅ Έχουν δοκιμαστεί μόνο μικρής ιπποδύναμης μηχανές (9-52 kWe), ενώ μηχανές μέχρι και 300kWe πρόκειται να δοκιμαστούν [McKenna J., 2003].
- ∅ Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία που να αφορούν στην αξιοπιστία και στο προσδόκιμο ζωής των μηχανών αυτών.

Στο Σχήμα 22, βλέπουμε τις τιμές εκπομπών για τους κυριότερους ρύπους για τις μηχανές Stirling σε σχέση με συμβατικές ΣΗΘ μονάδες.

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης της βιομάζας ως καύσιμης ύλης, κάνει ελκυστική τη χρήση των μηχανών Stirling σε απομονωμένες περιοχές όπου, αυτή η πηγή ενέργειας είναι διαθέσιμη και η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του δικτύου



ισχύος είναι εντελώς ανέφικτη [Corria M. E., Et al., 2005]. Συγκρινόμενες με άλλες ενεργειακές εναλλακτικές που συνήθως χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές (ηλιακή και αιολική ενέργεια, μηχανές εσωτερικής καύσης), καθώς και άλλες υποσχόμενες τεχνολογίες (μικροτουρμπίνες, κυψέλες καυσίμου), οι μηχανές Stirling με καύσιμο βιομάζα, είναι πιο ελκυστικές διότι παρέχουν συνεχόμενη και σταθερή υπηρεσία, δεν απαιτούν επιπλέον βοηθητικές πηγές παραγωγής και τέλος, εξαλείφουν τα υψηλά κόστη που έχουν να κάνουν με την κατανάλωση και τη μεταφορά των ορυκτών καυσίμων [Corria M. E., Et al., 2005].



Σχήμα 22: Εκπομπές NO<sub>x</sub>, CO και HC από συμβατικές και Stirling μονάδες συμπαραγωγής [πηγή: SOLO Stirling Engine, 2005]

Οι εκπομπές των μηχανών Stirling μπορεί να είναι έως και 10 φορές χαμηλότερες από εκείνες των μηχανών αερίου κύκλου Otto με καταλυτικό μετατροπέα, και στο ίδιο περίπου επίπεδο με τη νεώτερη τεχνολογία μηχανών με καυστήρα αερίου (gas burner technology). Οι μηχανή Stirling που κατασκευάζεται από τη Γερμανική εταιρία SOLO, χρησιμοποιεί προθερμαινόμενο αέρα για την καύση, πετυχαίνοντας υψηλή απόδοση καύσης και χαμηλά επίπεδα εκπομπών [SOLO Stirling Engine, 2005]. Συνδυασμένα τα καυσάερια από τα εσωτερικά συστήματα επανακυκλοφορίας με τον

προθερμαινόμενο αέρα και το αέριο καύσιμο, περιορίζουν τη μέγιστη θερμοκρασία μέσα στα όρια της οξειδωσης (κάτω από τους 1400<sup>0</sup> C), περιορίζοντας παράλληλα το σχηματισμό NO<sub>x</sub>. Επιπλέον, με τη συνεχή καύση μειώνονται τα επίπεδα εκπομπών συγκρινόμενα με αυτά των συμβατικών μηχανών εσωτερικής καύσης.

Η απόδοση και τα επίπεδα εκπομπών παρουσιάζονται στον Πίνακα12.

**Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά εκπομπών των μηχανών Stirling**

Χαρακτηριστικά εκπομπών	SOLO <sup>a</sup>	DTE energy <sup>b</sup>	
Ηλεκτρική ισχύς (kW)	2–9	20	25
Ηλεκτρική απόδοση (%)	22–24	29.6	29.6
Συνολική απόδοση (%)	> 90	82	82
NO <sub>x</sub> (gm/bhph)	0.08–0.12	0.288 (Βασικό) 0.15 (Χαμηλές)	0.288 (Βασικό) 0.15 (Χαμηλές)
CO (gm/bhph)	0.04–0.06	0.32 (Βασικό) 0.32 (Χαμηλές)	0.32 (Βασικό) 0.32 (Χαμηλές)

a: <http://www.stirling-engine.de/eng/index.html>,

b: [http://www.dtetech.com/pressroom/pdf/enx\\_25\\_spec.pdf](http://www.dtetech.com/pressroom/pdf/enx_25_spec.pdf)

### 2.7.2 Κυψέλες καυσίμου

Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου είναι μια νέα αναπτυσσόμενη στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, αλλά και της συμπαραγωγής με σημαντικές αποδόσεις και χαμηλές τιμές εκπομπών ρύπων. Τα βασικά τους χαρακτηριστικά στην ολοκλήρωση με συστήματα ΣΗΘ είναι, η χαμηλή στάθμη θορύβου, οι χαμηλές εκπομπές ρύπων, η υψηλή απόδοση (85- 90%) ακόμη και στις μικρές μονάδες, η πολύ καλή διαχείριση σε χαμηλό φορτίο και οι μικρές απαιτήσεις συντήρησης [*Ononwiona H. I. Et al., 2004*].

Χρησιμοποιούν ως καύσιμη ύλη συνήθως φυσικό αέριο ενώ, οι εκπομπές αερίων ρύπων είναι σαφώς χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των μονάδων συμπαραγωγής βασισμένες στην τεχνολογία μηχανών εσωτερικής καύσης. Οι εκπομπές του CO<sub>2</sub> μπορούν να μειωθούν κατά 49%, των NO<sub>x</sub> κατά 91%, του CO κατά 68% και των πτητικών υδρογονανθράκων κατά 93%. Η ιδιαίτερα χαμηλή στάθμη θορύβου, αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα των κυψελών καυσίμου κάνοντάς τις ιδανικές για χρήση σε κατοικίες, εμπορικά κτίρια, κλπ. Το μεγάλο τους μειονέκτημα είναι, το υψηλό τους κόστος και η περιορισμένη διάρκεια ζωής. Για το λόγο αυτό γίνονται πολλές έρευνες προκειμένου να λυθούν τα τεχνολογικά προβλήματα και να αναπτυχθούν νέα υλικά με μικρότερο κόστος σε μαζική παραγωγή [*Educogen, 2001*].

Η τεχνολογία των κυψελών καυσίμου βασίζεται στην αντίδραση του υδρογόνου με το οξυγόνο με την παρουσία ηλεκτρολύτη για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς την εφαρμογή μηχανικού έργου και χωρίς καύση. Το νερό και η θερμότητα είναι

τα υποπροϊόντα της αντίδρασης. Σε γενικές γραμμές, η αντίδραση πραγματοποιείται μέσω ηλεκτροχημικής οξειδωσης του καυσίμου (Υδρογόνο) και ταυτόχρονης ηλεκτροχημικής μείωσης του  $O_2$ . Η συνολική αντίδραση είναι εξώθερμη, άρα η θερμότητα που απελευθερώνεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων και για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το υδρογόνο ως καύσιμο μπορεί να παραχθεί από άλλες πηγές όπως προπάνιο, φυσικό αέριο, άνθρακα, ή με την ηλεκτρόλυση του νερού.

Το σύστημα περιλαμβάνει, το μηχανισμό αναμόρφωσης, τις μονάδες ανόδου-καθόδου, τον καταλύτη και άλλα βοηθητικά συστήματα. Η διαδικασία αναμόρφωσης αφορά τη παραγωγή υδρογόνου από μια πηγή καυσίμου όπως είναι το φυσικό αέριο και μπορεί να είναι εσωτερική ή εξωτερική, ανάλογα με τον τύπο της κυψέλης. Οι γενικές αρχές σχεδιασμού των κυψελών είναι ίδιες, εκτός από τον τύπο του χρησιμοποιούμενου ηλεκτρολύτη.

Σήμερα υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες κυψελών καυσίμου οι οποίες βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Αυτές περιλαμβάνουν:

- Την κυψέλη φωσφορικού οξέος (phosphoric acid fuel cell, PAFC),
- Την κυψέλη καυσίμου πολυμερισμένης μεμβράνης (polymer electrolyte membrane, PEMFC),
- Την κυψέλη καυσίμου τηγμένου άνθρακα (molten carbonate fuel cell, MCFC),
- Την κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου (solid oxide fuel cell, SOFC),
- Την κυψέλη καυσίμου μεθανόλης (direct methanol fuel cell, DMFC), και,
- Την αλκαλική κυψέλη καυσίμου (alkaline fuel cell, AFC).

Οι κυψέλες PAFCs είναι οι πλέον εξελιγμένες κυψέλες καυσίμου και οι πρώτες που βγήκαν στο εμπόριο [Educogen, 2001]. Η θερμοκρασία λειτουργίας φτάνει τους  $200^0$  C, έτσι μπορούν να υλοποιήσουν εφαρμογές ΣΗΘ. Ο ηλεκτρολύτης που χρησιμοποιείται είναι το φωσφορικό οξύ με αέρα ως οξειδωτικό μέσο. Το υδρογόνο παράγεται στη μονάδα αναμόρφωσης από το φυσικό αέριο, ή τη μεθανόλη. Υπάρχουν μονάδες ολοκληρωμένες 200- 250 kW ισχύος, ενώ βρίσκονται στο στάδιο επίδειξης συστήματα 11- 25 MW που κατασκευάζονται στην Ευρώπη, ΗΠΑ και Ιαπωνία [Educogen, 2001].

Η PEMFC αποτελείται από τον ηλεκτρολύτη που είναι πλαστικό οργανικό πολυμερές και συνηθέστερα ονομάζεται μεμβράνη (membrane), και βρίσκεται μεταξύ

των δύο ηλεκτροδίων της κυψέλης καυσίμου. Στην άνοδο, το καύσιμο υδρογόνο χωρίζεται σε πρωτόνια και ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια ρέουν με τη μορφή πλέον ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα, ενώ τα πρωτόνια στην κάθοδο συνδυάζονται με το οξυγόνο του αέρα και τα ηλεκτρόνια από το εξωτερικό κύκλωμα σχηματίζοντας νερό και θερμότητα. Η αντίδραση είναι εξώθερμη, ενώ η θερμοκρασία λειτουργίας είναι γύρω στους 80<sup>0</sup> C. Γι' αυτό το λόγο, χαρακτηρίζονται ως κυψέλες καυσίμου χαμηλής θερμοκρασίας. Έχουν κατασκευαστεί μονάδες ισχύος 100 kW, κατάλληλες για εφαρμογές σε επίπεδο κατοικίας, με σχετικά χαμηλό κόστος κτήσης και επίτευξη χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας (περίπου 100<sup>0</sup> C).

Οι κυψέλη MCFC, χρησιμοποιεί για ηλεκτρολύτη ενώσεις του άνθρακα με λίθιο, νάτριο και κάλιο σε υγρή μορφή εμποτισμένες σε κατάλληλο υλικό. Στην υγρή μορφή, ο ηλεκτρολύτης λειτουργεί σε θερμοκρασίες 600- 700<sup>0</sup> C. Στις θερμοκρασίες αυτές είναι δυνατή η εσωτερική αναμόρφωση. Το καύσιμο αποτελείται από αέριο μείγμα H<sub>2</sub>, CO και CO<sub>2</sub>, το οποίο παράγεται από αναμορφωμένο υδρογονάνθρακα όπως το φυσικό αέριο. Η τεχνολογία MCFC, βρίσκεται ακόμη σε στάδιο ανάπτυξης με την κατασκευή πιλοτικών μονάδων και τα μέχρι τώρα πειράματα δείχνουν ότι θα βρει εφαρμογή στο βιομηχανικό τομέα, ειδικά σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας [Educogen, 2001].

Οι κυψέλες SOFCs χρησιμοποιούν συνήθως ως ηλεκτρολύτη ένα σκληρό κεραμικό υλικό στερεού οξειδίου ζirkονίου και μια μικρή ποσότητα υτρίου (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ZrO<sub>2</sub>), αντί για ηλεκτρολύτη υγρής μορφής, επιτρέποντας έτσι θερμοκρασίες μέχρι και 1000<sup>0</sup> C [H<sub>2</sub>]. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου ή του μίγματος H<sub>2</sub> και CO, παρέχεται από την εσωτερική αναμόρφωση υδρογονάνθρακα ή από αεριοποιημένο άνθρακα. Η υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας των κυψελών SOFCs, καθώς και η υψηλή θερμοκρασία υπολειμματικής θερμότητας που παράγεται, τους δίνει τη δυνατότητα για θέρμανση χώρων και δημιουργία ζεστού νερού χρήσης.

Οι κυψέλες DMFCs είναι το νεότερο μέλος της οικογένειας των κυψελών. Παρουσιάζουν όμοια χαρακτηριστικά με τις PEMFCs, επειδή χρησιμοποιούν τον ίδιο τύπο ηλεκτρολύτη (μεμβράνη). Ωστόσο, ο συγκεκριμένος τύπος κυψελών χρησιμοποιεί ως καύσιμο μεθανόλη χωρίς να απαιτεί τη μετατροπή της σε υδρογόνο. Σε αυτή την περίπτωση η μεθανόλη είναι αυτή που οξειδώνεται στην άνοδο.

Οι κυψέλες AFCs, χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν από τη NASA και συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται σε αποστολές στο διάστημα. Ως ηλεκτρολύτης

χρησιμοποιείται το υδροξείδιο καλίου σε συγκεντρώσεις γύρω στο 30%. Οι συγκεκριμένες κυψέλες έχουν θερμοκρασία λειτουργίας 60- 80<sup>0</sup> C. Έχουν κατασκευαστεί μονάδες μέχρι και 100 kW ισχύος.

Τα συστήματα συμπαραγωγής που βασίζονται στις κυψέλες PEMFC και SOFC, έχουν πολύ υψηλές αποδόσεις στη συμπαραγωγή (80%), χρησιμοποιούν λίγα καύσιμα, προκαλούν ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και θεωρούνται καλή λύση για εφαρμογή σε επίπεδο μΣΗΘ [Krist K. Et al., 1999]. Ειδικά οι κυψέλες PEMFC, υπερέχουν έναντι των υπολοίπων λόγω της σημαντικής προόδου που έχει συντελεστεί στην τεχνολογία αυτή από το 1960. Η απόδοση των συστημάτων των κυψελών καυσίμου είναι συνάρτηση του τύπου της κυψέλης και της δυναμικότητάς της. Η ηλεκτρική απόδοση μιας κυψέλης, καθορίζεται από τις αντίστοιχες αποδόσεις των επί μέρους υποσυστημάτων που τη συνθέτουν [Energy Nexus Group, Apr. 2002].

Οι κυψέλες καυσίμου, απαιτούν πολύ λίγα έξοδα συντήρησης, επειδή έχουν λίγα κινούμενα μέρη σε σχέση με τις παλινδρομικές μηχανές και τις μικροτουρμπίνες. Εντούτοις, η συντήρηση των βοηθητικών συστημάτων όπως είναι οι αντλίες και οι πτερωτές μπορεί να απαιτείται συχνά με αποτέλεσμα να προκύψουν περισσότερα έξοδα. Επιπλέον, εξαιτίας των συστημάτων αυτών μπορεί να αυξηθούν οι διακοπές λειτουργίας.

Στον Πίνακα 13, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά εκπομπών των συστημάτων κυψελών καυσίμου, βασισμένα σε προδιαγραφές που θέτουν κάποιοι κατασκευαστές.

**Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά εκπομπών των συστημάτων κυψελών καυσίμου\* [πηγή: Energy Nexus Group, Apr. 2002]**

Τύπος κυψέλης	PEMFC	PEMFC	PAFC	SOFC	MCFC	MCFC
Ονομαστική ισχύς (kW)	10	200	200	100	250	2000
Ηλεκτρική απόδοση (%) HHV	30	35	36	45	43	46
<b>Εκπομπές:</b>						
NOx (ppmv at 15% O <sub>2</sub> )	1.8	1.8	1.0	2.0	2.0	2.0
NOx (Ib/MW h)	0.06	0.06	0.03	0.05	0.06	0.05
CO (ppmv at 15% O <sub>2</sub> )	2.8	2.8	2.0	2.0	2.0	2.0
CO (Ib/MW h)	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04	0.04
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (ppmv σε 15% O <sub>2</sub> )	0.4	0.4	0.7	1.0	0.5	1.0
Άκαυστοι υδρογονάνθρακες (Ib/MW h)	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
CO <sub>2</sub> (Ib/MW h)	1360	1170	1135	910	950	890
Άνθρακας (Ib/MW h)	370	315	310	245	260	240

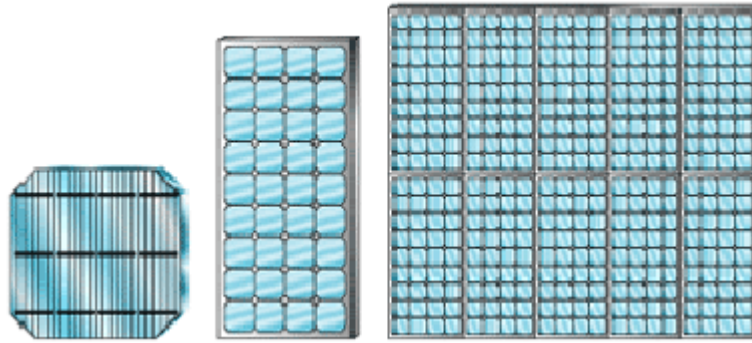
\*: Οι εκπομπές δεν αφορούν εφαρμογές συμπαραγωγής, το ίδιο και οι εκπομπές που εκφράζονται σε Ib/MWh.

### 2.7.3 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, είναι η απευθείας μετατροπή της ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω των λεγόμενων ηλιακών κυττάρων [Ζαχαρίας Θ., 1986].

Ο Γάλλος φυσικός Edmont Becquerel (1839) είναι εκείνος που παρατήρησε την ανάπτυξη τάσεως μεταξύ δυο ηλεκτροδίων μέσα σε ηλεκτρολύτη, όταν ηλιακό φως πέσει σε ένα από αυτά. Αργότερα (1876), το ίδιο φαινόμενο παρατηρήθηκε στο σελήνιο. Μόνο το 1954 επιτεύχθηκε μεγάλος βαθμός απόδοσης (6%) στο πυρίτιο (Si) και στη συνέχεια στο θειούχο κάδμιο (CdS). Η πρώτη αξιόλογη εφαρμογή αναφέρεται στο δορυφόρο VANGUARD I (1958), ενώ στη συνέχεια, όλο το διαστημικό πρόγραμμα στηρίχθηκε στη χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών κυττάρων πυριτίου. Διαδοχικές τεχνολογικές βελτιώσεις, ανύψωσαν το βαθμό απόδοσης στην τάξη του 15%. Η ενεργειακή κρίση του 1973, έδωσε μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας για επίγειες εφαρμογές. Στην αρχή βέβαια είχαν σκοπό να καλύψουν εφαρμογές που απαιτούσαν μικρή ισχύ, αλλά σύντομα στράφηκαν σε εφαρμογές που απαιτούν μέσες ισχύς (άντληση νερού, άρδευση, αγροτικός εξηλεκτρισμός, με σκοπό να αντικαταστήσουν ή και να συμπληρώσουν τις νηζελογεννήτριες) ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Με παραπέρα μείωση του κόστους και αύξηση του βαθμού απόδοσης, καλύπτουν μεγάλες ενεργειακές ανάγκες (οικιακές, εμπορικές, γραφεία, σχολεία, ξενοδοχεία, εργοστάσια κλπ) [Boyle G., 1998].

Σε γενικές γραμμές, το φωτοβολταϊκό φαινόμενο στηρίζεται, αφενός στην ηλιακή ακτινοβολία, αφετέρου στις ιδιότητες των ημιαγωγικών υλικών. Το άτομο του πυριτίου που είναι ένα ημιαγωγικό υλικό, έχει τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους. Ένας μεγάλος αριθμός ατόμων αλληλοσυνδέονται μέσω αυτών των ηλεκτρονίων (δεσμοί BONDS) και σχηματίζουν ένα κρυσταλλικό πλέγμα (crystal lattice). Όταν το ηλιακό φως πέσει στο κρυσταλλικό πυρίτιο, μια από τις περιπτώσεις είναι να απορροφηθεί. Τότε, και εφόσον το φως είναι υψηλής ενέργειας ( $E=hf$ ,  $h$ : σταθερά Planck), είναι δυνατό να αλλάξει τις ηλεκτρικές ιδιότητες του κρυστάλλου. Το ηλεκτρόνιο αφήνοντας τη θέση του, αφήνει πίσω και μια «οπή» (έλλειψη ηλεκτρονίου). Με την υπερπήδηση και του φράγματος δυναμικού (potential barrier, η διαφορά δυναμικού πέρα του οποίου προκαλείται μικρή πιθανότητα επανασύνδεσης των ζευγών ηλεκτρονίων – οπών), είναι δυνατό να τροφοδοτηθεί με ρεύμα ένα εξωτερικό κύκλωμα [Ζαχαρίας (1986), Boyle (1998)].



**Σχήμα 23:** Από αριστερά προς τα δεξιά: κυψέλη (κύτταρο), πλαίσιο (module), πάνελ [πηγή: *EERE (Energy Efficiency and Renewable Energy)*, [www.eere.gov/solar](http://www.eere.gov/solar)]

Η πρόοδος στις τεχνολογίες κατασκευής των φωτοβολταϊκών ήταν ένας από τους βασικούς λόγους της μεγάλης αύξησης σε παγκόσμιο επίπεδο της αγοράς των PV. Παγκοσμίως, υπάρχουν πάνω από 100 κατασκευαστές ΦΒ (το 30% στις ΗΠΑ) [McConnell, R.D., et al., 1998].



**Σχήμα 24:** Τυπικές ΦΒ συστοιχίες στη νέα πόλη Kiyomi-no στην Ιαπωνία.

Ο πρόγονος της ΦΒ τεχνολογίας, το κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si), συνεχίζει να είναι η τεχνολογική επιλογή στη σημερινή αγορά. Το 1997 κατείχε το 87% των παγκόσμιων πωλήσεων, ενώ σήμερα κατέχει το 93% των παγκόσμιων πωλήσεων [SolarBuzz, 2005]. Αν και είναι παλαιά τεχνολογία, έχουν σημειωθεί σημαντικές βελτιώσεις στον κατασκευαστικό τομέα. Λόγω της εμπειρίας που έχει αποκτηθεί στην παραγωγική διαδικασία, αλλά και στο κόστος αυτής, οι εξελκτικές βελτιώσεις

συνεχίζουν να γίνονται σε συνδυασμό με την οικονομία κλίμακας και τις αυτοματοποιημένες διαδικασίες. Οι αποδόσεις των στοιχείων αυτών σε εργαστηριακό επίπεδο (24% για το μονοκρυσταλλικό και 18,6% για το πολυκρυσταλλικό) δείχνουν ότι υπάρχει δυναμικό για περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης εφόσον μπορούν να περιοριστούν τα επιπλέον έξοδα. Σήμερα, διατίθενται στην αγορά κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου με αποδόσεις 11- 16% (50- 66% της ονομαστικής απόδοσης) [*SolarBuzz*].

Το άμορφο πυρίτιο (a- Si) και τα πολυκρυσταλλικά υλικά όπως το Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe) και ο δισελινιούχος ινδικός (γάλλιο) χαλκός (CIS ή CIGS), αποτελούν υλικά που προέκυψαν μετά την προσπάθεια μείωσης του αυξημένου κόστους κατασκευής του c- Si (η πλάκα πυριτίου κοστίζει γύρω στο 40- 50% μιας ολοκληρωμένης κυψέλης). Το πάχος τους είναι σημαντικά μικρότερο και ανήκουν στη κατηγορία τεχνολογιών λεπτού φιλμ (thin film cells).

Υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής μεγάλης κλίμακας a- Si, ενώ έχουν κατασκευαστεί συστήματα πολλών εκατοντάδων kW ισχύος. Οι αποδόσεις κυμαίνονται από 8- 12%. Οι κατασκευαστές εστιάζονται στη βελτίωση της απόδοσης καθώς και σε νέες τεχνολογίες της μορφής αυτής. Παρόλα αυτά, υπάρχει αβεβαιότητα όσο αφορά στις υψηλές και σταθερές αποδόσεις καθώς και στην μακροχρόνια σταθερή επίδοση, αφού όπως όλα τα υλικά τεχνολογίας λεπτού φιλμ, έτσι και αυτό εμφανίζει σημαντική υποβάθμιση της απόδοσης (15- 35%) όταν εκτίθεται στον ήλιο [*McConnell et al. (1998), SolarBuzz (2005)*].



Σχήμα 25: ΦΒ Κυψέλη από πλάκα πολυκρυσταλλικού πυριτίου [πηγή: [www.wisconsun.org](http://www.wisconsun.org)]

Τα στοιχεία που βασίζονται στο Τελλουριούχο Κάδμιο (CdTe), ξεκίνησαν με μια παγκόσμια παραγωγή της τάξης του 1% το 1997. Τα στοιχεία αυτά προήλθαν από πιλοτικές παραγωγικές μονάδες, με δυναμικότητες δεκάδων kW, με τάση για οικιακή χρήση. Η απόδοση φτάνει το 15% για το κύτταρο, και το 9% για το πλαίσιο (module).



Η έρευνα εστιάζεται στις διαδικασίες εναπόθεσης, στις σταθερές επαφές και στη σωστή διαχείριση που έχει να κάνει με το περιβάλλον, την ασφάλεια και τα θέματα υγείας που συνδέονται με το Κάδμιο.

Τα ΦΒ στοιχεία που βασίζονται στο δισελνιούχο ινδικό χαλκό με διάφορες προσμίξεις (κυρίως γάλλιο) (CIGS), αποτελούν μια από τις νεότερες γενιές ΦΒ τεχνολογίας. Αν και μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, δεν είχε πουληθεί κανένα προϊόν, εντούτοις πολλές εταιρίες ανέπτυξαν πιλοτικές μονάδες παραγωγής, και δοκιμάστηκαν πειραματικά συστήματα 1 kW ισχύος. Οι αποδόσεις φτάνουν το 17,7% για τα κύτταρα και το 11% για τα πλαίσια. Αν και τα κόστη και οι διαδικασίες δεν έχουν ακόμη εξακριβωθεί, αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να επιφέρει παραγωγή μεγάλης κλίμακας και μείωση του κατασκευαστικού κόστους.

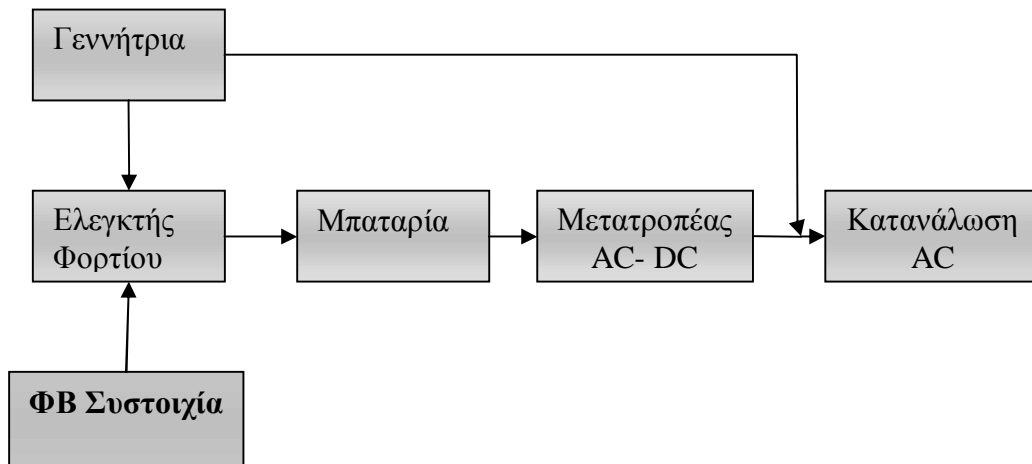
Η τεχνολογία των συγκεντρωτικών ΦΒ στοιχείων (concentrator PV), δεν έχει ακόμη διεισδύσει στην παγκόσμια αγορά. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας υπήρχαν περίπου 10 εργοστάσια ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας ΦΒ. Οι αποδόσεις είναι σχετικά υψηλές, με τα κύτταρα να ξεπερνάν το 26%, ενώ κύτταρα που βασίζονται σε αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) και κράματα αυτών έχουν πετύχει αποδόσεις της τάξης του 32,6%. Τα τελευταία, κύτταρα αποτελούν την επιλογή για μονάδες παραγωγής ενέργειας σε εφαρμογές στο διάστημα. Το βασικό μειονέκτημα όμως του GaAs είναι η τοξικότητα του As και η έλλειψη επαρκών ποσοτήτων Ga (άρα μεγάλο κόστος) [Ζαχαρίας Θ., 1986].

Τα ΦΒ συστήματα, χρησιμοποιούνται πλέον συχνά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες εφαρμογές, όπως σε περιοχές όπου η επέκταση του δικτύου μεταφοράς και διανομής είτε δεν είναι δυνατή, είτε δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα κλπ. Γενικότερα επικρατούν δυο φιλοσοφίες εφαρμογών:

- Αυτόνομα ΦΒ συστήματα
- Διασυνδεδεμένα ΦΒ συστήματα

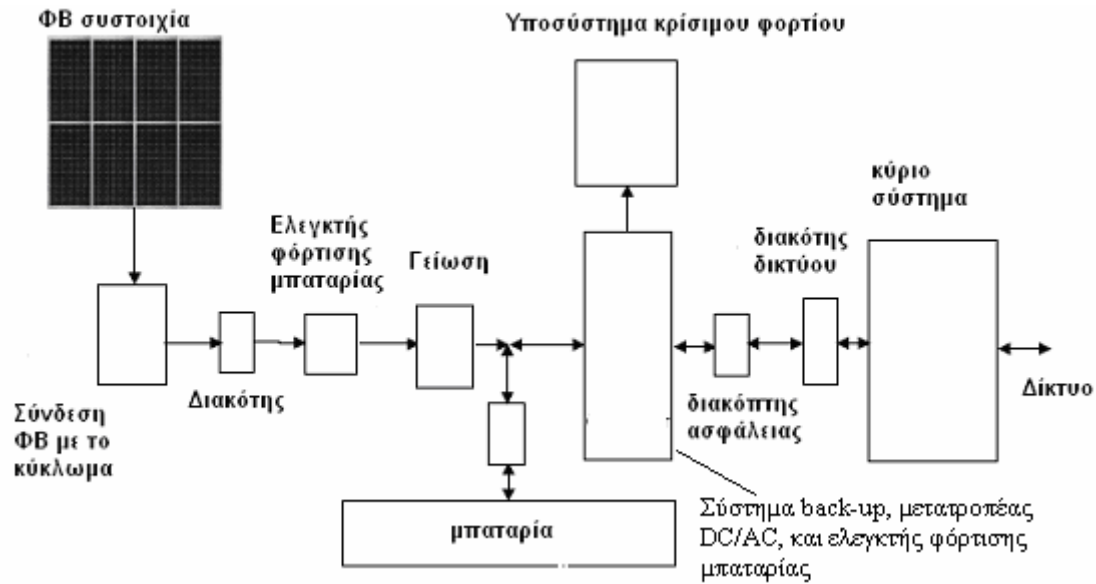
Στη πρώτη περίπτωση, μια τέτοια εφαρμογή προκειμένου να εξυπηρετήσει τις ανάγκες ενός φορτίου (μιας κατοικίας), θα πρέπει να μπορεί να καλύψει τουλάχιστο τις καθαρές ηλεκτρικές ανάγκες. Επιπλέον, θα απαιτηθεί και μια μονάδα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρία) καθώς και μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος προκειμένου να καλυφθούν οι επιπλέον ενεργειακές απαιτήσεις, αλλά και για να είναι πιο ασφαλής η σταθερή παροχή [Boyle, 1998]. Η οικονομική βιωσιμότητα τέτοιας εφαρμογής, εξαρτάται από το κόστος της KWh σε σχέση με άλλες μορφές παραγωγής.

Ένα διάγραμμα ενός πλήρους συνόλου ΦΒ συστήματος φαίνεται στο παρακάτω  
Σχήμα 26:



Σχήμα 26: Τα κύρια μέρη ενός ΦΒ συστήματος [πηγή: Boyle, 1998]

Στα διασυνδεδεμένα συστήματα, ουσιαστικά το ρόλο της μπαταρίας τον παίζει το δίκτυο. Η καλύτερη βέβαια τακτική είναι να υπάρχει και συνδεδεμένο σύστημα συσσωρευτών για τη μέγιστη ασφάλεια λειτουργίας. [Endecon Engineering, 2001]. Το σύστημα αυτό, ουσιαστικά εφαρμόζει αποθήκευση ενέργειας (με τη μορφή συσσωρευτών) για να διατηρήσει τη λειτουργία κάποιων κρίσιμων φορτίων σε περίπτωση διακοπής τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο, όταν η ΦΒ συστοιχία αδυνατεί (τη νύχτα). Αυτά τα κρίσιμα φορτία είναι απευθείας συνδεδεμένα σε ένα ξεχωριστό σύστημα τροφοδοσίας, το οποίο ενεργοποιείται όταν συμβεί η παραπάνω περίπτωση. Σε διαφορετική περίπτωση, όπου η ΦΒ συστοιχία είναι ικανή να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια (πχ την ημέρα), το υποσύστημα τροφοδοσίας παραμένει ανενεργό (Σχήμα 27).



Σχήμα 27: Διασυνδεδεμένο ΦΒ σύστημα με εφεδρική υποστήριξη μπαταρίας [πηγή: *Endecon Engineering, 2001*]

Οι τεχνολογίες φωτοβολταϊκών που εντάσσονται στις ανανεώσιμες είναι σημαντικά ασφαλέστερες, παρέχοντας μια λύση σε πολλά περιβαλλοντικά και κοινωνικά προβλήματα που σχετίζονται με τα ορυκτά καύσιμα και την πυρηνική ενέργεια [EC, 1995]. Μη συμπεριλαμβανομένης της εξάντλησης των φυσικών πόρων, το κύριο πλεονέκτημά τους σχετίζεται με τις μειωμένες εκπομπές του CO<sub>2</sub>, και με την απουσία άλλων εκπομπών ή αποβλήτων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Σε σχέση με το περιβάλλον, η χρήση φωτοβολταϊκών φέρει τα επιπλέον πλεονεκτήματα [Tsoutsos T., Et al., 2005]:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (κυρίως CO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub>) και προφύλαξη από τις εκπομπές τοξικών αερίων (SO<sub>2</sub>, σωματιδιακή ύλη).
- Αποκατάσταση υποβαθμισμένης γης.
- Μείωση των απαιτούμενων γραμμών μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου.
- Βελτίωση της ποιότητας των υδατικών πόρων.

Σε σχέση με τον κοινωνικοοικονομικό τομέα, τα οφέλη από την εκμετάλλευση των ΦΒ περιλαμβάνουν:

- Αύξηση της ενεργειακής ανεξαρτησίας σε περιφερειακό/ εθνικό επίπεδο.
- Προώθηση σημαντικών ευκαιριών απασχόλησης.
- Ποικιλία και ασφάλεια στην παροχή ενέργειας.

- Υποστήριξη της απελευθέρωσης της ενεργειακής αγοράς.
- Επιτάχυνση της ηλεκτροδότησης σε απομακρυσμένες και αγροτικές περιοχές στα αναπτυσσόμενα κράτη.

Τα ΦΒ είναι μια από τις πιο βιώσιμες ανανεώσιμες ενεργειακές τεχνολογίες για τη χρήση σε αστικό περιβάλλον, και ταιριάζουν με τα υλικά επένδυσης των κτιρίων. Αποτελούν επίσης μια ελκυστική επιλογή για τη χρήση στις φυσικές περιοχές και τα εθνικά πάρκα, όπου η αποφυγή των πυλώνων και των καλωδίων είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα.

Η επίπτωση στη χρήση γης στα φυσικά οικοσυστήματα, εξαρτάται από ειδικούς παράγοντες όπως είναι η τοπογραφία του τοπίου, η περιοχή του εδάφους που καλύπτεται από τα ΦΒ συστήματα, ο τύπος του εδάφους, η απόσταση από περιοχές φυσικού κάλους ή από ευαίσθητα οικοσυστήματα και η βιοποικιλότητα. Οι επιπτώσεις και η αλλαγή του τοπίου είναι πιθανό να επέλθουν κατά τη διαδικασία κατασκευής. Επιπλέον, η εφαρμογή ενός ΦΒ συστήματος σε μια πρώην καλλιεργήσιμη έκταση είναι πιθανό να ζημιώσει τις καλλιεργήσιμες περιοχές. Το συναισθηματικό δέσιμο του παραγωγού με τη γη του, είναι πιθανό να αποτελέσει την αιτία για διαφωνίες και δυσαρέσκειες.

Κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής λειτουργίας, τα ΦΒ συστήματα δεν εκπέμπουν αέρια, ή υγρά απόβλητα, αλλά ούτε και ραδιενεργά κατάλοιπα. Στη περίπτωση των στοιχείων Δισελινιούχου Ινδικού χαλκού (CIS) ή του Τελουριούχου Καδμίου (CdTe), που περιέχουν μικρές ποσότητες τοξικών ουσιών, υπάρχει κίνδυνος έπειτα από πυρκαγιά σε κάποια συστοιχία, αυτά τα στοιχεία να ελευθερωθούν στο περιβάλλον [Boyle, 1998]. Ειδικότερα, στην περίπτωση κεντρικού σταθμού μεγάλης κλίμακας, υπάρχει ο κίνδυνος να ελευθερωθούν τοξικές ουσίες λόγω κάποιας δυσλειτουργίας, θέτοντας σε κίνδυνο την υγεία των κατοίκων που ζουν εκεί κοντά. Επίσης, μπορεί να προκύψουν προβλήματα στο έδαφος και στον υπόγειο υδροφόρο σε περίπτωση πλημμελούς διάθεσης των υλικών [OECD/IEA, 1998].

Η οπτική ρύπανση εξαρτάται από τον τύπο, το σχήμα και από το περιβάλλον ενός ΦΒ συστήματος. Προφανώς, εάν εγκατασταθεί ένα σύστημα σε μια περιοχή φυσικού κάλους, θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό αρνητικά την περιοχή. Όμως, με προσεκτική και σωστά μελετημένη σχεδίαση τοποθέτησης ενός συστήματος σε ένα μοντέρνο κτίριο θα επηρεάσει θετικά τον περιβάλλοντα χώρο. Η επένδυση των εξωτερικών επιφανειών εμπορικών κτιρίων με ΦΒ συστήματα, αναδεικνύει την αρχιτεκτονική πλευρά της τεχνολογίας. Με βάση αυτή την οπτική, έχουν αναπτυχθεί

διάφορα είδη φωτοβολταϊκών πλαισίων με σκοπό την αρχιτεκτονική, αισθητική και λειτουργική αναβάθμιση κτιριακών και άλλων κατασκευών [Hesnes A. G., 1999].

Σήμερα, η παραγωγή της νέας γενιάς ΦΒ συστημάτων είναι ενεργειακά πολύ απαιτητική, ειδικά όσο αφορά τα μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά στοιχεία (Πίνακας 14). Η ενεργειακές απαιτήσεις, περιορίζονται μόνο στη διαδικασία κατασκευής των κυψελών, ενώ δε λαμβάνονται υπόψη οι ενδεχόμενες ενεργειακές απαιτήσεις (και κατ' επέκταση οι εκπομπές αερίων ρύπων) για τη διαδικασία μεταφοράς προς τοποθέτηση, καθώς θεωρούνται αμελητέες σε σχέση με τις απαιτήσεις κατασκευής. Τα στοιχεία λεπτού φιλμ, απαιτούν σημαντικά λιγότερη ενέργεια ανά W σε σχέση με την τεχνολογία c-Si και a-Si (άμορφου πυριτίου), λόγω της διαφορετικής απόδοσης της κυψέλης. Επίσης, απαιτούνται μικρές ποσότητες σπάνιων στοιχείων όπως (In, Te, Ga), όπως και τοξικών (Cd).

**Πίνακας 14: Ταξινόμηση των ενεργειακών αναγκών για παραγωγή c-Si (σε MJ πρωτογενούς ενέργειας) [πηγή: Alsema E. A., 2000]**

Διαδικασία	mc-Si <sup>1</sup>	sc-Si <sup>2</sup>	Μονάδες
Παραγωγή πυριτίου	450	450	MJ/m <sup>2</sup> πλαισίου
Καθαρισμός πυριτίου	1800	1800	MJ/m <sup>2</sup> πλαισίου
Κρυσταλοποίηση	750	2300	MJ/m <sup>2</sup> πλαισίου
Επικόλληση	250	250	MJ/m <sup>2</sup> πλαισίου
Κατασκευή κυψέλης	600	550	MJ/m <sup>2</sup> πλαισίου
Συναρμολόγηση πλαισίου	350	350	MJ/m <sup>2</sup> πλαισίου
Σύνολο πλαισίου (χωρίς σκελετό)	4200	5700	MJ/m <sup>2</sup> πλαισίου
Σύνολο πλαισίου (χωρίς σκελετό)	32	41	MJ/Wp

1: πολυκρυσταλλικό, 2: μονοκρυσταλλικό

Οι εκπομπές Cd κατά τη διαδικασία παραγωγής κυψελών CdTe, αντιστοιχούν στο 0,001% του χρησιμοποιούμενου Cd, τιμή που αντιστοιχεί σε 0,01g Cd/ GWh. Από την άλλη βέβαια, το Cd αποτελεί υποπροϊόν της παραγωγής Zn, οπότε το χειρότερο σενάριο θα ήταν να διατεθεί στο περιβάλλον [Tsoutsos T., Et al., 2005].

Προκειμένου να μειωθούν οι προαναφερθέντες κίνδυνοι, πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες κατά τη διαδικασία παραγωγής ΦΒ συστημάτων:

- Δυνατότητα παραγωγής λεπτότερων επιπέδων κυψελών.
- Πλήρης ανάπτυξη των τεχνολογιών συγκεντρωτικών κυψελών (concentrator PV technologies).
- Αποδοτικότερη εκμετάλλευση υλικών.
- Ασφαλέστερα και εναλλακτικά υλικά.
- Τεχνολογία ανακύκλωσης κυψελών

Στην περίπτωση των αυτόνομων συστημάτων, τα οποία όμως αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της αγοράς [Tsoutsos T., et al., 2004], θα πρέπει να μελετηθούν οι επιδράσεις των χημικών στοιχείων που βρίσκονται στους συσσωρευτές.

#### 2.7.4 Ανεμογεννήτριες

Η αιολική ενέργεια είναι από τις μορφές εκείνες που ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε πριν χιλιάδες χρόνια. Μέχρι και τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, το αιολικό δυναμικό χρησιμοποιούταν στους αλευρόμυλους και για άντληση νερού. Με τη βιομηχανοποίηση, η ευμετάβλητη αιολική ενέργεια, παραχώρησε τη θέση της στις μηχανές που λειτουργούσαν με ορυκτά καύσιμα, ή στο ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο παράγαγε πιο σταθερή ισχύ.

Στις αρχές του 1970, με τη πρώτη πετρελαϊκή κρίση, η αιολική ενέργεια επανέκαμψε. Αυτή τη φορά όμως, η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού στράφηκε αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πρώτες ανεμογεννήτριες είχαν ήδη αναπτυχθεί στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, και σταδιακά μέχρι τη δεκαετία του 1970 η τεχνολογία είχε κάνει άλματα προόδου. Από τη δεκαετία του 1990 και έπειτα, η αιολική ενέργεια ήταν η σημαντικότερη από τις αειφόρες ενεργειακές πηγές. Από τότε, η παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας διπλασιάζεται κάθε τρία χρόνια. Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας έπεσε στο 1/6 από τις αρχές του 1980 και πιστεύεται ότι θα συνεχίσει με παρόμοιους ρυθμούς.

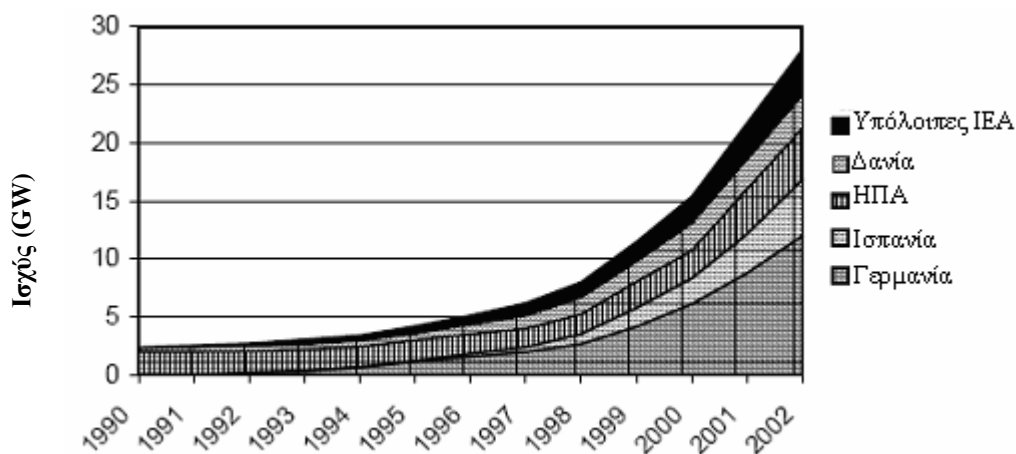
Αξιοσημείωτη είναι η ανάπτυξη της τεχνολογίας στις ανεμογεννήτριες. Στα τέλη του 1980, η κορυφαία τεχνολογία έφτανε τα 300kW με διάμετρο πτερύγων 30 μέτρα. Από τα τέλη του 1990 πλέον, είναι διαθέσιμες ανεμογεννήτριες ισχύος 1500kW με διάμετρο πτερυγίων 70 μέτρα, ενώ έχουν εγκατασταθεί ανεμογεννήτριες ισχύος 2, 3.5 MW κλπ [Voorspools K. R. Et al., 2006].

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι περισσότερο από το 79% της παγκόσμιας παραγωγής αιολικής ενέργειας, προέρχεται από πέντε κράτη: Γερμανία, Ισπανία ΗΠΑ, Δανία και Ινδία. Μαζί με άλλες πέντε χώρες ( Ιταλία, Ολλανδία, Μ. Βρετανία, Ιαπωνία και Κίνα), το ποσοστό ξεπερνάει το 89.8% της παγκόσμιας παραγωγής [GWEC, 2005] (Πίνακας 15). Συνάγεται έτσι το συμπέρασμα, ότι οι γνώσεις στο συγκεκριμένο γνωστικό ζήτημα προέρχονται κυρίως από τις παραπάνω περιοχές. Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών απαιτεί ένα μεγάλο πεδίο επιστημονικής βάσης που στηρίζεται κυρίως στην αεροδυναμική, τη δυναμική κατασκευών, τη μηχανολογία και την ηλεκτρολογία. Επομένως, δεδομένου ότι ξεφεύγει από το σκοπό της παρούσας

εργασίας η αναλυτική τεχνική περιγραφή, θα γίνει προσπάθεια μιας σύντομης επισκόπησης της παρούσας κατάστασης στον τεχνολογικό, περιβαλλοντικό, οικονομικό και κοινωνικό τομέα.

**Πίνακας 15: Οι δέκα κυριότερες χώρες- Συνολική εγκατεστημένη αιολική ενέργεια μέχρι τα τέλη του 2004 (σε MW) [πηγή: GUEC, 2005]**

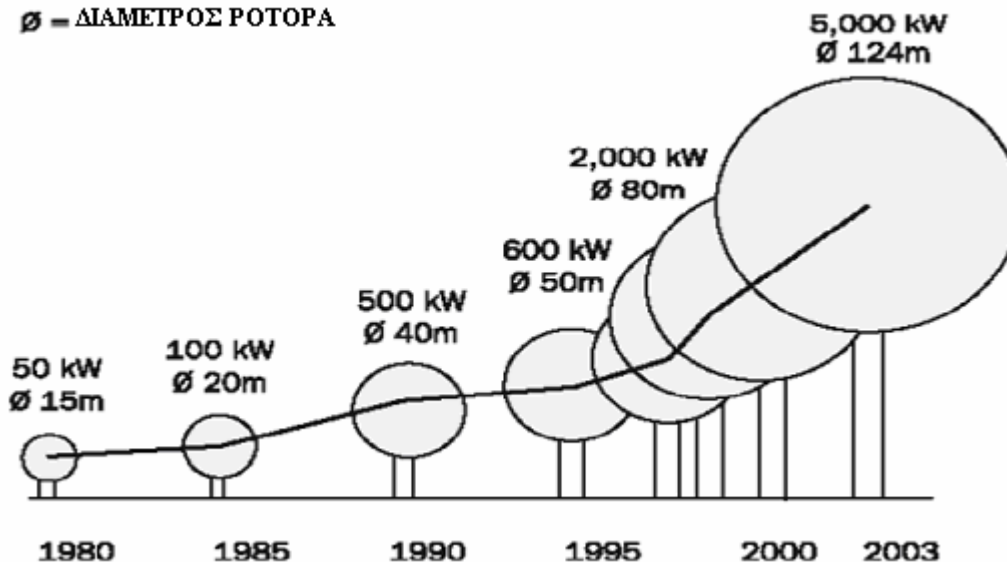
	MW	%
Γερμανία	16,629	35.1
Ισπανία	8,263	17.5
Η. Π. Α.	6,740	14.2
Δανία	3,117	6.6
Ινδία	3,000	6.3
Ιταλία	1,125	2.4
Ολλανδία	1,078	2.3
Η. Βασίλειο	888	1.9
Ιαπωνία	874	1.8
Κίνα	764	1.6
<b>Σύνολο των 10 κυριότερων</b>	<b>42,478</b>	<b>89.8</b>
<b>Υπόλοιπος κόσμος</b>	<b>4,840</b>	<b>10.2</b>
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>47,317</b>	<b>100.0</b>



**Σχήμα 28: Εγκατεστημένη αιολική ισχύς στα κράτη μέλη της ΙΕΑ, 1990- 2002**

[πηγή: *International Energy Agency, 2004*]

Ø = ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΡΟΤΟΡΑ



Σχήμα 29: Μεταβολή του μεγέθους των ανεμογεννητριών από το 1980- 2003

[πηγή: *Wind Power Technology, European Wind energy Association, 2004*]

Στον Πίνακα 15, είδαμε ότι η εγκατεστημένη αιολική ενέργεια δεν είναι ισομερώς κατανομημένη στο κόσμο. Το 2004, το 72% περίπου της αιολικής ενέργειας εγκαταστάθηκε στην Ευρώπη.

Πίνακας 16: Νέα εγκατεστημένη αιολική ενέργεια το 2004 [πηγή: *GUEC*]

	MW	%
Ευρώπη	5,774	72.4
Ασία	1,269	15.9
Βόρεια Αμερική	512	6.4
Περιοχή Ειρηνικού	325	4.1
Λατινική Αμερική και Καραϊβική	49	0.6
Αφρική	47	0.6
<b>Σύνολο παγκοσμίως</b>	<b>7,976</b>	<b>100.0</b>

Επίσης, στην τετραετία 1995- 1999, περίπου το 75% όλων των ανεμογεννητριών που συνδέθηκαν στο ηλεκτρικό δίκτυο παγκοσμίως, εγκαταστάθηκε στην Ευρώπη. Ο κύριος μοχλός αυτής της ανάπτυξης ήταν η δημιουργία του πάγιου τιμολογίου παροχής (fixed feed-in tariffs). Στη βιβλιογραφία, ο όρος τιμολόγιο παροχής (feed-in tariff), αναφέρεται στη κυβερνητική ρύθμιση βάση της οποίας, η εκάστοτε δημόσια επιχείρηση ηλεκτρισμού υποχρεούται να καταβάλει ένα ελάχιστο χρηματικό ποσό ανά kWh, σε ιδιοκτήτη μονάδας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο. Βέβαια, πολύ συχνά το παραπάνω μέτρο εννοείται για το συνολικό ποσό ανά kWh που λαμβάνεται από τον ιδιώτη παραγωγό, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει την επιδότηση παραγωγής και/ ή την επιστροφή φόρου, ενώ σε



εξαιρετικές περιπτώσεις, αναφέρεται μονάχα στην επιπλέον τιμή που πληρώνεται επιπλέον της τιμής αγοράς της ενέργειας [Sijm J. P. M., 2002]. Με το πάγιο τιμολόγιο παροχής, μειώνεται ο κίνδυνος αλλαγών στο τιμολόγιο της ενέργειας, με αποτέλεσμα να παρέχεται ένα σταθερό εισόδημα στους επενδυτές.

Σε άλλα μέρη (Αγγλία, Σκοτία και Ιρλανδία), εφαρμόζονται οι διαδικασίες προσφοράς (bidding processes). Οι υποψήφιοι παραγωγοί ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) καλούνται να καταθέσουν προσφορές για την δημιουργία νέας μονάδας παραγωγής. Εκείνοι, καταθέτουν προσφορές σε διαφορετικά είδη τεχνολογίας (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες, κλπ), για τιμολόγιο παροχής, ή για το ποσό της οικονομικής επιδότησης που θα πληρωθεί για κάθε kWh που θα τροφοδοτήσει το δίκτυο από ΑΠΕ. Ο ανάδοχος θα αμειφθεί με το τιμολόγιο παροχής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Επίσης, σε κάποιες χώρες εφαρμόζεται το σχήμα γνωστό ως προκαθορισμένο μερίδιο συνδυασμένο με πράσινο πιστοποιητικό (fixed quotas combined with green certificate trading). Με βάση το παραπάνω σχήμα, η κυβέρνηση ορίζει για τις επιχειρήσεις ηλεκτρισμού ένα προκαθορισμένο ποσό ενέργειας από ΑΠΕ που πρέπει να πουλήσουν μέσω του δικτύου. Από την άλλη, οι παραγωγοί ΑΠΕ λαμβάνουν ένα πιστοποιητικό για το ποσό της ενέργειας από ΑΠΕ που διοχέτευσαν στο δίκτυο. Εν συνεχεία, οι επιχειρήσεις πρέπει να αγοράσουν αυτά τα πιστοποιητικά ώστε να δείξουν ότι έχουν εκπληρώσει την υποχρέωση.

Μελέτες έχουν δείξει ότι το αιολικό δυναμικό είναι πρακτικά απεριορίστο (υπάρχουν βέβαια περιορισμοί χώρου, πρόσβασης κλπ). Τα αποτελέσματα μελετών για την αιολική ενέργεια, εξαρτώνται από την ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων καθώς και από τις υποθέσεις για την τεχνολογία και το διαθέσιμο χώρο. Τέτοιες μελέτες μπορούν να παρέχουν μια προσέγγιση του συνολικού αιολικού δυναμικού. Επιπλέον, πρέπει να επισημανθεί ότι το αιολικό δυναμικό μπορεί να ποικίλει για διαφορετικές περιοχές.

Οι ανεμογεννήτριες εκμεταλλεύονται την αιολική ενέργεια κοντά στο επίπεδο του εδάφους. Το ρεύμα αέρα είναι τυρβώδες στη περιοχή αυτή. Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται με το ύψος και η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες. Υπάρχει επίσης και μια κατανομή της διεύθυνσης του ανέμου ανάλογα με το ύψος. Έτσι, κατά μήκος του ρότορα του ανεμοκινητήρα πνέουν άνεμοι με διαφορετικές κατανομές ταχύτητας και κατεύθυνσης.

Ακόμη ένα σημαντικό ζήτημα, είναι οι μακροπρόθεσμες μεταβολές του αιολικού δυναμικού. Οι έρευνες έχουν δείξει, ότι η μεταβολή της μέσης ισχύος από τη μια εικοσαετή περίοδο στην επόμενη, έχει μια σταθερή απόκλιση της τάξης του 10% ή λιγότερο [Petersen et al., 1998]. Επομένως, η αβεβαιότητα του αιολικού δυναμικού δεν είναι σημαντική σε σχέση με το χρόνο ζωής μιας ανεμογεννήτριας.

Οι ανεμοκινητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου σε [Boyle, 1998]:

- Οριζόντιου άξονα, στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου(Σχήμα 30), και
- Κάθετου άξονα, στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου(Σχήμα 31).

Οι ανεμοκινητήρες οριζόντιου άξονα έχουν συνήθως δυο ή τρία πτερύγια, ή και πολλά περισσότερα. Οι ανεμοκινητήρες με πολλά πτερύγια, μοιάζουν με ένα συμπαγή δίσκο που αποτελείται από συμπαγή πτερύγια και αποκαλούνται high- solidity συσκευές (hs). Τέτοιοι ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται στην άντληση νερού κλπ. Όταν αντίθετα η περιοχή σάρωσης είναι κενή λόγω ύπαρξης δύο ή τριών πτερυγίων τότε οι συσκευές αναφέρονται ως low- solidity devices (ls). Οι τελευταίες αποτελούν και τη πιο συνηθισμένη περίπτωση ανεμογεννητριών σήμερα. Οι δρομείς τους έχουν δύο ή τρία πτερύγια, και έχουν δυνατότητα παραγωγής 1MW ισχύος. Κατασκευάζονται στη Δανία, στις ΗΠΑ, στη Μ. Βρετανία, στην Ολλανδία, στη Γερμανία, στην Ιταλία, στο Βέλγιο, στην Ιαπωνία, στην Αυστρία και στην Κίνα.

Οι Thresher et al. (1998), ξεχωρίζουν τρεις διαφορετικές σχεδιαστικές φιλοσοφίες, αλλά αυτή που προτείνουν βασίζεται στη λογική ότι η ανεμογεννήτρια πρέπει να διαχειρίζεται φορτία με μηχανικό και/ ή ηλεκτρικό τρόπο, να παρέχεται ο βέλτιστος έλεγχος, να βασίζεται σε μηχανολογικές και ηλεκτρολογικές καινοτομίες (σύγχρονες αεροτομές, γεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας κλπ), να έχει δύο ή το πολύ τρεις έλικες και να μην έχει πολύ μεγάλο λόγο ταχυτήτων ακροπτερυγίου λ.

Οι ανεμογεννήτριες με τρία πτερύγια έχουν κυριαρχήσει στην αγορά. Από την άλλη, οι ανεμογεννήτριες με δυο πτερύγια έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι ελαφρύτερες, με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερη η διαδικασία κατασκευής τους, άρα και φθηνότερη. Γενικότερα όμως, ο τρίπτερος δρομέας είναι κατά 5% αποδοτικότερος από τον δίπτερο, ενώ τα φορτία που ενεργούν σε κάθε πτερύγιο είναι μικρότερα. Αντίθετα, ο μονόπτερος είναι ο φθηνότερος από όλους, έχει 10% μικρότερη απόδοση

από τον δίπτερο, αλλά έχει θορυβώδη λειτουργία και η ζυγοστάθμισή του παρουσιάζει σοβαρό πρόβλημα [Μπεργελές Γ., *Threshel et al. (1998)*].



**Σχήμα 30:** Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα [πηγή: *British Wind energy Association*]

Οι ανεμοκινητήρες κάθετου άξονα, είναι κατασκευαστικά απλούστεροι από τους ανεμοκινητήρες οριζόντιου άξονα, διότι:

- Δεν απαιτούν περύγιο ή σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμό του δρομέα στη διεύθυνση πνοής του ανέμου
- Το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του δρομέα σε άλλη μορφή ενέργειας βρίσκεται στο έδαφος, στη βάση του ανεμοκινητήρα.

Συνεπώς, τα έξοδα αυτοματισμού, συντήρησης ή επισκευών είναι σαφώς μικρότερα σε σύγκριση με τον ανεμοκινητήρα οριζόντιου άξονα. Λόγω όμως των ιδιόμορφων περυγίων (ιδιαίτερα του Darrieus- τύπου) είναι πολύ δύσκολη η κατασκευή τους αλλά και η μεταφορά τους στο σημείο εγκατάστασης. Προς το παρόν πάντως οι ανεμοκινητήρες κάθετου άξονα δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστικοί των ανεμοκινητήρων οριζόντιου άξονα [Boyle, 1998].



**Σχήμα 31: Ανεμογεννήτρια τύπου H-Darrieus-turbine**

Οι ανεμογεννήτριες αγγίζουν τη μέγιστη απόδοση σε ταχύτητες ανέμου 12- 16 m/s. Στις ταχύτητες αυτές, η παραγωγή ενέργειας προσεγγίζει την ονομαστική τιμή. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες η παραγόμενη ισχύς του δρομέα είναι αναγκαίο να περιοριστεί.

Στις περισσότερες περιοχές παγκοσμίως, η παρεχόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τις ανεμογεννήτριες αποτελεί ένα πολύ μικρό ποσοστό της συνολικής ζήτησης ενέργειας. Ωστόσο, στη Βόρεια Γερμανία, στη Δανία ή στο νησί Γκότλαντ της Σουηδίας, καλύπτεται ένα πολύ μεγάλο μέρος της ενεργειακής ζήτησης από ανεμογεννήτριες. Αξίζει να αναφερθεί ότι το έτος 2000, η ηλεκτρική ενέργεια από ανεμογεννήτριες κάλυψε το 25% της ενεργειακής ζήτησης της Περιφέρειας Schleswig-Holstein της Γερμανίας (3,372 GWh από τις 13,000 GWh). Στην Ελλάδα, το 2003 παρήχθησαν 648 GWh από αιολικά πάρκα σε σύνολο κατανάλωσης 48.829 GWh [πηγή: ΔΕΣΜΗΕ (2003), IEA (2002), Eurostat (2002)]. Το ποσοστό αυτό, ήταν σαφώς μειωμένο σε σχέση με το έτος 2002 όταν οι αντίστοιχες τιμές ήταν 834 GWh παραγωγή από ανεμογεννήτριες σε συνολική κατανάλωση 50.900. Δηλαδή υπήρξε μια πτώση στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες, αλλά υπήρξε συνολική αύξηση των ΑΠΕ από 7,1% σε 10,6% [Eurostat (2003), ΔΕΣΜΗΕ (2003)].

Με την αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας, η διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες καθώς και η επιρροή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί ένα σοβαρό θέμα καθώς κάθε δίκτυο διανομής είναι σχεδιασμένο με

ένα μοναδικό τρόπο. Η ηλεκτρική παραγωγή από τις ανεμογεννήτριες, παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις στο πεδίο του χρόνου, εξαιτίας της αστάθειας της ταχύτητας του ανέμου. Οι διακυμάνσεις που προκαλούνται από τις απότομες ριπές των ανέμων, προκαλούν αλυσιδωτά και διακυμάνσεις στο προφίλ της παραγόμενης τάσης εξόδου, που με τη σειρά της προκαλεί σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος στο διασυνδεδεμένο δίκτυο. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται μερικώς με τη χρησιμοποίηση γεννητριών μεταβαλλόμενης ταχύτητας, καταφέροντας μια ομαλότερη ισχύ εξόδου.

Υπάρχουν βέβαια και άλλες τεχνικές απόσβεσης τέτοιων φαινομένων. Μια από αυτές είναι η εγκατάσταση σε ένα αιολικό πάρκο αρκετών ανεμογεννητριών. Η συνολική ισχύς εξόδου είναι εξομαλυσμένη καθώς οι ριπές ανέμου δε προσπίπτουν σε όλες τις ανεμογεννήτριες. Κατ' αυτό τον τρόπο και κάτω από ιδανικές συνθήκες οι διακυμάνσεις της παραγόμενης ισχύος μειώνονται κατά ένα συντελεστή  $(n)^{-1/2}$ , όπου  $n$  ο αριθμός των ανεμογεννητριών.

Στη δεκαετία του 1990, το κόστος κατασκευής ανεμογεννητριών μειωνόταν στο 20% κάθε φορά που διπλασιαζόταν η παραγωγή τους [Sorensen P., 2001]. Σήμερα, η κατασκευή ανεμογεννητριών που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο διπλασιάζεται κάθε τρία χρόνια. Ανάλογες περίπου αυξήσεις συμβαίνουν και στον τομέα των φωτοβολταϊκών και της βιομάζας. Η DEA (Danish Energy Agency) προβλέπει, ότι μέχρι το 2020 θα έχει επέλθει μείωση του κόστους ενέργειας σε ποσοστό 50%, ενώ το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης εκτιμά στη Λευκή Βίβλο, ότι το ενεργειακό κόστος της αιολικής ενέργειας θα έχει μειωθεί τουλάχιστο 30% μέχρι το 2010 [Sorensen P., 2001]. Εντούτοις, μια γενική σύγκριση του κόστους ηλεκτρικής παραγωγής είναι ένα πολύ δύσκολο εγχείρημα εξαιτίας του ότι αυτά διαφέρουν μεταξύ των κρατών, ένεκα της διαφορετικής διαθεσιμότητας πόρων, των διαφορετικών φορολογικών ρυθμίσεων κλπ.

Συνοψίζοντας, θα λέγαμε ότι τελικά το κόστος εγκατάστασης ανεμογεννητριών καθορίζεται από τους παρακάτω παράγοντες [Ackerman et al., 1999,]:

- Ετήσια ταχύτητα ανέμου και κατανομή αυτής.
- Παρεμπόδιση μεταξύ των ανεμογεννητριών.
- Ύψος επένδυσης.
- Κόστος μελέτης και σύνδεσης των ανεμογεννητριών.
- Κόστος συντήρησης.

- Χρόνος ζωής.
- Κόστος αποσυναρμολόγησης.

Το μέλλον στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό και από την αποδοχή της κοινής γνώμης. Αυτή εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούν οι εγκαταστάσεις των αιολικών πάρκων (οπτική ρύπανση, θόρυβος, επίδραση στη χλωρίδα και πανίδα κλπ). Τα οικονομικά των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας εξαρτώνται από το προφίλ των επικρατούντων ανέμων σε κάθε περιοχή, αλλά οι αποτυχημένες επενδύσεις μπορεί να προκληθούν και από αναξιόπιστες μετρήσεις των ανέμων ή ανακριβή μοντελοποίηση των ροών αυτών. Ακολουθεί ένα απλό παράδειγμα: Η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη της 3<sup>ης</sup> δύναμης της ταχύτητάς του. Έτσι, μια απόκλιση 10% στην ταχύτητα του ανέμου, θα συνεπάγεται απόκλιση 30% στην αναμενόμενη ισχύ αυτού. Άρα, οι ακριβείς επί τόπου μετρήσεις είναι απολύτως αναγκαίες για την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων.

Οι μετρήσεις αυτές έχουν το μειονέκτημα, ότι τα δεδομένα είναι περιορισμένα σε μια συγκεκριμένη περιοχή υποψήφια για εγκατάσταση εφαρμογής ανεμογεννητριών. Επιπλέον, οι μετρήσεις δεν γίνονται στο κατάλληλο εκείνο ύψος όπου θα βρίσκεται ο δρομέας, εισάγοντας ακόμη ένα σφάλμα. Η λύση βρίσκεται στην εφαρμογή υπολογιστικών μοντέλων με βάση τα οποία θα γίνεται αξιολόγηση των συνθηκών ανέμου στο ζητούμενο ύψος, στη συγκεκριμένη περιοχή, με δεδομένα που θα συλλέγονται από ένα βολικό σημείο και τέλος, θα λαμβάνονται υπόψη και άλλα στοιχεία επιρροής, όπως εμπόδια, κατοικίες κλπ.

Η αιολική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί περιβαλλοντικά φιλική, εντούτοις η παραγωγή των πτερυγίων, του πύργου, της ατράκτου, η εξαγωγή των πρώτων υλών, η μεταφορά και η εγκατάσταση του εξοπλισμού, οδηγούν σε κατανάλωση ενεργειακών πόρων, οπότε υπάρχουν εκπομπές όσο οι ενεργειακοί πόροι βασίζονται κατά κόρο στα ορυκτά καύσιμα. Αυτές οι εκπομπές ονομάζονται έμμεσες εκπομπές. Στον Πίνακα 8, παρουσιάστηκαν περιληπτικά οι κυριότερες εκπομπές που σχετίζονται με την παραγωγή ενέργειας, βασισμένη σε διαφορετικές τεχνολογίες. Περιλαμβάνονται οι έμμεσες και άμεσες εκπομπές.

Επιπρόσθετα, ο θόρυβος και η οπτική ρύπανση που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες, είναι σημαντικές παράμετροι κοινωνικής αποδοχής, ειδικότερα αν οι ανεμογεννήτριες είναι εγκατεστημένες κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Ο θόρυβος βέβαια, μπορεί να ελαττωθεί με την κατάλληλη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.

Μικρά συστήματα ανεμογεννητριών (μέχρι 10 kW) χρησιμοποιούνται κυρίως για αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε κατοικίες, και γενικότερα σε περιοχές που δεν υπάρχει διασύνδεση με το δίκτυο διανομής. Επίσης, χρησιμοποιούνται συνήθως και για να τροφοδοτούν απομονωμένες εγκαταστάσεις (τηλεπικοινωνιακά συστήματα, κατοικίες κλπ). Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται για αυτές τις εφαρμογές φτάνουν τα 30 kW. Για συστήματα ηλεκτροδότησης σε υπαίθριες περιοχές και χωριά μέχρι 300 kW, οι ανεμογεννήτριες συνδυάζονται με ντιζελογεννήτριες, ή συστήματα συσσωρευτών. Αυτόνομοι ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται επίσης για παραγωγή μηχανικού έργου, όπως άντληση νερού κλπ.

Δεν υπάρχουν λεπτομερή στοιχεία για την παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ αυτόνομων ή μικρής κλίμακας ανεμογεννητριών. Εκτιμάται πάντως ότι η ζήτηση για αυτόνομα συστήματα θα αυξηθεί στα επόμενα χρόνια. Γενικώς, τρέχουν διάφορα προγράμματα για εφαρμογή τέτοιων υβριδικών συστημάτων με σκοπό να καλύψουν περιοχές αραιοκατοικημένες όπως είναι ο Καναδάς και η Αυστραλία, καθώς και νησιά.

Ο σχεδιασμός των μικρών ανεμογεννητριών διαφέρει σημαντικά από το σχεδιασμό των μεγάλων που διασυνδέονται στο δίκτυο. Για παράδειγμα, οι μικρές απαιτούν διαφορετικό αεροδυναμικό προφίλ, εξαιτίας του διαφορετικού λόγου ταχυτήτων ακροπτερυγίου (tip speed ratio). Η βιομηχανία, δίνει λιγότερη έμφαση στην ανάπτυξη νέων αεροδυναμικών προφίλ σε σχέση με τις μεγάλες ανεμογεννήτριες. Συνεπώς, η αεροδυναμική απόδοση των μικρών ανεμογεννητριών είναι σαφώς μικρότερη από την αντίστοιχη των μεγάλων.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

### 3.1 Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου σχεδιασμού και ανάλυσης

Με βάση τα όσα αναπτύχθηκαν νωρίτερα, γίνεται κατανοητό ότι η κατανεμημένη παραγωγή βρίσκεται σε τέτοιο στάδιο, που δεν έχει ακόμη εδραιώσει μια ενιαία δομή σαφώς ορισμένη ώστε να ενταχθεί σε ένα πλαίσιο δράσεων που θα υποδεικνύουν τους κανόνες συμμετοχής της στην νέα απελευθερωμένη αγορά ενέργειας. Αυτό, ίσως να αποτελεί το βασικότερο εμπόδιο στην ευρύτερη εξάπλωση και εφαρμογή της κατανεμημένης παραγωγής. Σήμερα όμως, που οι δομές στον ενεργειακό τομέα υφίστανται αλλαγή εκ βάθρων, αφενός λόγω των περιβαλλοντικών πιέσεων, αφετέρου λόγω της οικονομικής ανασυγκρότησης στον τομέα της αγοράς και της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, με απαιτήσεις για ασφαλέστερη και πιο αξιόπιστη παροχή ενέργειας, δίνεται η ευκαιρία σε νέες αξιόπιστες, αποδοτικές και εξελιγμένες μορφές και συστήματα ενεργειακής παραγωγής να εισέλθουν δυναμικά στο χώρο, υπό την προϋπόθεση ότι αποδεδειγμένα αποτελούν ανταγωνιστικές επιλογές.

Κρίνεται λοιπόν αναγκαίο, να αναπτυχθεί ένα συμπαγές πλαίσιο ανάλυσης και σχεδιασμού μιας εφαρμογής κατανεμημένης παραγωγής με σκοπό τη δημιουργία ισχυρού δυναμικού ένταξης της στον ανταγωνιστικό χώρο της αγοράς ενέργειας. Η εφαρμογή ενός συστήματος κατανεμημένης παραγωγής σε μια περιοχή, θα απαιτεί μια μελέτη, η οποία θα λαμβάνει υπόψη παραμέτρους που σχετίζονται με οικονομικά, περιβαλλοντικά, τεχνικά, νομοθετικά και κοινωνικά θέματα.

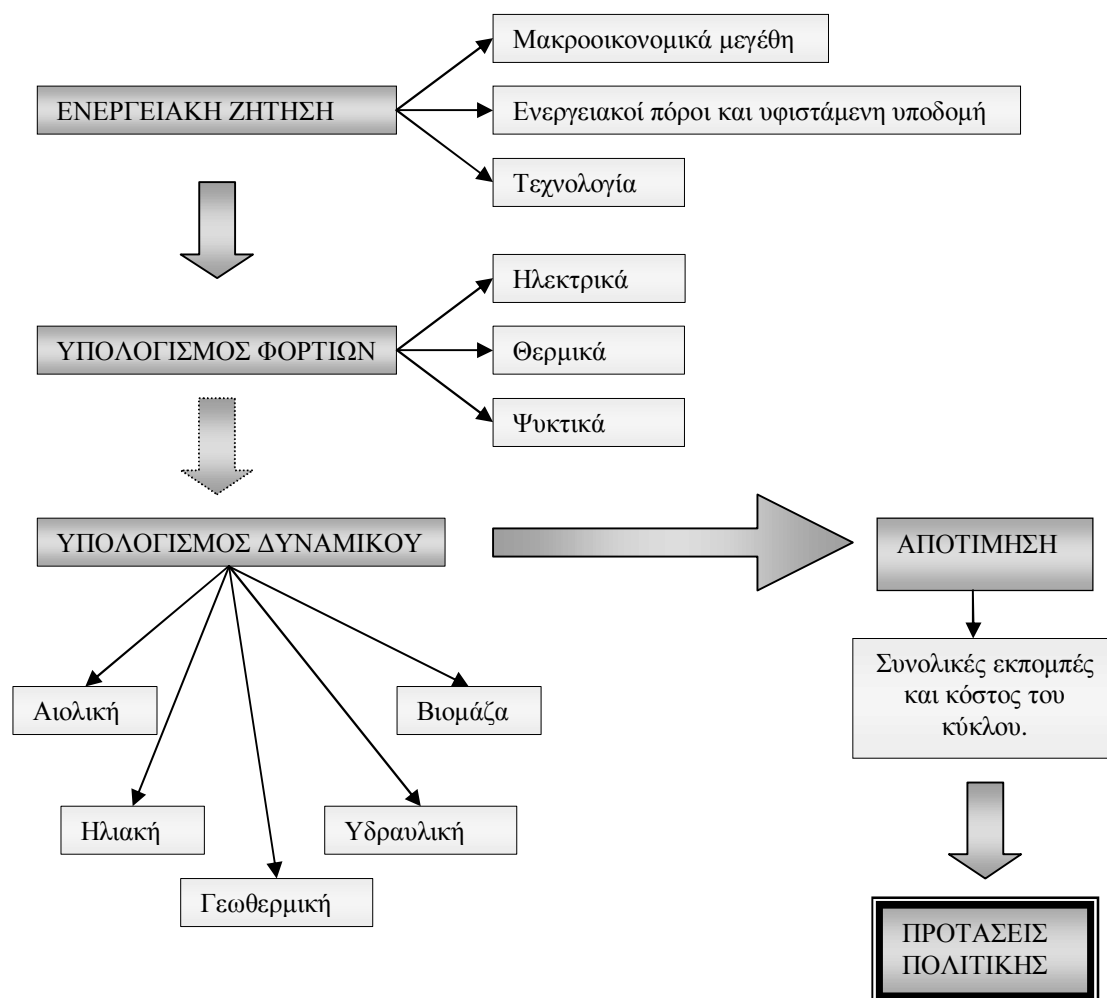
Στη συνέχεια, θα γίνει η ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου για τον υπολογισμό ενός κατανεμημένου συστήματος παραγωγής, με βάση τον ορισμό που δόθηκε στο Κεφάλαιο 2. Με το μεθοδολογικό πλαίσιο που θα αναπτυχθεί, προτείνονται μια σειρά από βήματα που θα περιλαμβάνουν υπολογισμούς και αξιολογήσεις και θα οδηγούν σε ένα αποτέλεσμα, βάση του οποίου θα κρίνεται κατά πόσο είναι δυνατή η εφαρμογή ενός συστήματος κατανεμημένης παραγωγής σε μια περιοχή και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Κατά κανόνα, η ανάπτυξη ενός συστήματος κατανεμημένης παραγωγής ενέργειας, βασίζεται είτε στην εφαρμογή των τεχνολογιών ΑΠΕ (ιδιαίτερα της αιολικής και ηλιακής ενέργειας), για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ή στην εφαρμογή τεχνολογιών ΑΠΕ σε συνδυασμό με συμπαραγωγή, ή τέλος στην ανάπτυξη της συμπαραγωγής με συστήματα που βασίζονται σε διάφορες τεχνολογίες, αφού όπως

είδαμε νωρίτερα, όλες αυτές οι εφαρμογές χαρακτηρίζονται από χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, υψηλές αποδόσεις, λιγότερη (ή και καθόλου) και πιο αποδοτική χρήση των ορυκτών καυσίμων, καθώς και αξιόπιστη λειτουργία.

Στο Σχήμα 32, απεικονίζονται διαγραμματικά τα βασικά στάδια της μεθόδου. Αυτά είναι:

1. Η ενεργειακή ζήτηση.
2. Ο υπολογισμός των φορτίων.
3. Ο υπολογισμός του δυναμικού των ΑΠΕ.
4. Η συνολική αποτίμηση.



**Σχήμα 32: Τα στάδια του μεθοδολογικού πλαισίου για τον υπολογισμό ενός καταναμημένου συστήματος παραγωγής**

### 3.1.1 Ενεργειακή ζήτηση

Καθώς οι επενδύσεις στην ενέργεια για την παραγωγή και χρήση απαιτούν μια περίοδο ωρίμανσης κάποιων ετών, είναι ουσιαστικό για τον ιδιωτικό και κρατικό τομέα να υπάρχει μια καθαρή προοπτική μελλοντικής προσφοράς και ζήτησης ενέργειας. Όλοι οι φορείς που συμμετέχουν σε μια πολιτική δράσης ενεργειακού σχεδιασμού, θα πρέπει καταρχήν να μεριμνήσουν για την επίτευξη εξοικονόμησης ενέργειας. Αυτό μπορεί να υλοποιηθεί, αφενός με την ενημέρωση του κοινού πάνω σε θέματα εξοικονόμησης ενέργειας, αφετέρου με τεχνικές επεμβάσεις σε υφιστάμενα συστήματα παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας που θα κρίνονται αναγκαίες κατόπιν ενεργειακής διαγνωστικής. Με τον τρόπο αυτό θα επιτυγχάνεται μείωση του φορτίου που θα πρέπει να καλυφθεί και συγχρόνως, αύξηση της αξίας της νέας επένδυσης. Στη συνέχεια, θα πρέπει να συμπεριλάβουν υπεύθυνα την παράμετρο της ενεργειακής ζήτησης ως παράγοντα στρατηγικής σημασίας. Σε αντίθετη περίπτωση, η ανεπιτυχής πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης μπορεί να επιφέρει σημαντικά προβλήματα στην ανάπτυξη του τόπου.

Η ενεργειακή ζήτηση μιας περιοχής, θα υπολογιστεί βάση των μακροοικονομικών μεγεθών, της ενεργειακής υποδομής και ενεργειακών πόρων και τέλος, βάση της τεχνολογικής κατάστασης.

Τα μακροοικονομικά μεγέθη θα καθορίζονται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Τα φυσικογεωγραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Αυτά περιλαμβάνουν:
  - 1) την γεωγραφική κατανομή της περιοχής, το πληθυσμιακό μέγεθος αυτής, την κατανομή του πληθυσμού στην ευρύτερη περιοχή και την πληθυσμιακή πυκνότητα εκάστης περιοχής.
  - 2) Τις γεωγραφικές ενότητες και τα διοικητικά διαμερίσματα.
  - 3) Τη γεωγραφική συνοχή των υποπεριοχών και τη διάταξη αυτών στο χώρο απ' όπου καθορίζεται και η γεωγραφική φυσιογνωμία της συνολικής περιοχής.
  - 4) Το ανάγλυφο του εδάφους, και τη κατανομή της γεωλογικής, υδρογεωλογικής και εδαφολογικής σύστασής του.
  - 5) Τη μορφή των ακτογραμμών (εφόσον υπάρχουν).
  - 6) Τις ιδιαιτερότητες της περιοχής, ή των υποπεριοχών αυτής.
- Την οικονομική φυσιογνωμία της περιοχής. Αυτή περιλαμβάνει:

- 1) Τα στοιχεία του πρωτογενούς τομέα (παραγόμενα προϊόντα, αγροτική- κτηνοτροφική ανάπτυξη, παραγωγικότητα κλπ).
  - 2) Τα στοιχεία του δευτερογενούς τομέα (αριθμός επιχειρήσεων, μέγεθος αυτών, τελικά προϊόντα).
  - 3) Τα στοιχεία του τριτογενούς τομέα (εξειδικευμένο προσωπικό, ανάπτυξη τριτογενών δραστηριοτήτων, ανάπτυξη πολιτιστικών πόρων κλπ).
- Τα κοινωνικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Αυτά, θα καθορίζονται αφενός από την ιστορία της περιοχής, που περιλαμβάνει την επιχειρηματική, πνευματική, πολιτιστική και πολιτική εξέλιξή της στο χρόνο, αφετέρου από την παρούσα οικονομική κατάσταση (π χ το ΑΕΠ).
  - Τα υφιστάμενα προβλήματα και τις ιδιαιτερότητες που αντιμετωπίζει σήμερα η οικονομία και η κοινωνία της περιοχής.
  - Το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει τον τόπο, και κυρίως τις ρυθμίσεις που αφορούν στην αγορά ενέργειας, όπως είναι τα υποστηρικτικά μέτρα που εφαρμόζονται (πχ feed in tariffs κλπ), οι γραφειοκρατικές διαδικασίες που απαιτούνται για την ανάπτυξη και υλοποίηση καταναμημένης παραγωγής, οι διεθνείς δεσμεύσεις για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας κ. ά.

Η ενεργειακή υποδομή και οι ενεργειακοί πόροι, είναι η δεύτερη παράμετρος κλειδί και κρίνεται μείζονος σημασίας, αφού με βάση τα στοιχεία που προκύπτουν από αυτήν, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό το σχέδιο δράσης. Η ενεργειακή υποδομή σε γενικές γραμμές περιλαμβάνει:

- Το είδος του ενεργειακού συστήματος (Εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα ή Αυτόνομοι Σταθμοί Παραγωγής).
- Τις υφιστάμενες μονάδες παραγωγής ενέργειας.
- Τη δυναμικότητα και το είδος των μονάδων παραγωγής.
- Το είδος των καυσίμων που χρησιμοποιούν, την ποσότητα αυτών και τη μέθοδο μεταφοράς και αποθήκευσης (μέθοδος εφοδιασμού).
- Τους διαχειριστές των μονάδων παραγωγής (ΔΕΚΟ, ιδιωτικές εταιρίες κλπ).
- Το κόστος παραγωγής ενέργειας.

- Το δίκτυο μεταφοράς και διανομής ενέργειας.
- Το απόθεμα σε ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και το βαθμό εκμετάλλευσης αυτών.
- Την ετήσια συνολική παραγωγή ενέργειας.
- Την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.
- Τις ετήσιες εκπομπές αερίων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου ένεκα της παραγωγής ενέργειας.

Η τεχνολογική κατάσταση, αναφέρεται στις παρούσες τεχνολογίες καταναμημένης παραγωγής, στις υφιστάμενες τεχνολογίες διασύνδεσης και στο οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος αυτών. Οι παρούσες τεχνολογίες που υπάρχουν στο εμπόριο- όπως έχει προαναφερθεί- και εφαρμόζονται στην καταναμημένη παραγωγή, είναι σε γενικές γραμμές οι παρακάτω:

- Οι συμβατικοί ατμοστρόβιλοι,
- Οι αεριοστρόβιλοι,
- Οι μηχανές εσωτερικής καύσης,
- Οι μικροτουρμίνες,
- Οι κυψέλες καυσίμου,
- Οι μηχανές Stirling,
- Τα φωτοβολταϊκά,
- Οι ανεμογεννήτριες και
- Τα συστήματα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας.

Η διασύνδεση, είναι ένα καθαρά τεχνικό ζήτημα που πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό για την εγκατάσταση μιας μονάδας καταναμημένης παραγωγής. Σχετίζεται με τη σύνδεση των μονάδων καταναμημένης παραγωγής στο υφιστάμενο δίκτυο (ως συνήθως στο δίκτυο διανομής), χωρίς να προκαλεί αρνητικές επιπτώσεις στην ασφάλεια, στην αξιοπιστία και στη ποιότητα της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας [Dondi et al. (2002), Popovic D. H. (2005)]. Η διασύνδεση των καταναμημένων μονάδων απαιτεί κάποιες τροποποιήσεις στις διατάξεις ασφάλειας του δικτύου χαμηλής και μέσης τάσης, προκειμένου να είναι δυνατή η αντίστροφη ροή ηλεκτρικής ενέργειας πίσω στο δίκτυο. Προφανώς, αυτή η απαίτηση ανεβάζει το κόστος και δημιουργεί ανακατατάξεις στην τοπολογία του δικτύου.

Το κόστος των τεχνολογιών καταναμημένης παραγωγής, αποτελεί έναν επίσης σημαντικό παράγοντα που μεταξύ άλλων, δίνει τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ των

υποψήφιων τεχνολογιών καταναεμημένης παραγωγής. Το κόστος αυτών των τεχνολογιών (όπως και κάθε προϊόντος), δεν είναι σταθερό στο πεδίο του χρόνου και αυτό με τη σειρά του καθορίζεται από τις τρέχουσες τεχνολογικές εξελίξεις, από το νόμο προσφοράς και ζήτησης, από τις οικονομίες κλίμακας, από τις τρέχουσες τιμές των συμβατικών καυσίμων κλπ. Σε γενικές γραμμές, το κόστος συνίσταται από:

- το κόστος κτήσης και εγκατάστασης της μονάδας παραγωγής,
- το κόστος λειτουργίας και συντήρησης,
- το κόστος καυσίμου που καταναλώνεται ανά μονάδα παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ( €kWh) και
- το χρόνο ζωής της μονάδας.

Ενδεικτικά, στον Πίνακα 17 γίνεται σύγκριση κάποιων τεχνολογιών καταναεμημένης παραγωγής.

**Πίνακας 17: Σύγκριση τεχνολογιών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [πηγή: CBO (Congressional Budget Office), 2003]**

	Ισχύς (kW)	Κόστος <sup>α</sup> κεφαλαίου (\$/kW)	Κόστος καυσίμου (\$/kWh)	Κόστος Λ& Σ (\$/kWh)	Χρόνος λειτουργίας (Ετη)	ΘΥΑ <sup>β</sup> (HHV) (Btu/kWh)
Μικροστρόβιλος- Μόνο Ηλεκτρισμός	100	1,485	0.075	0.015	12.5	13,127
Μικροστρόβιλος- ΣΗΘ	100	1,765	0.035	0.015	12.5	6,166
ΜΕΚ (αερίου)- Μόνο Ηλεκτρισμός	100	1,030	0.067	0.018	12.5	11,780
ΜΕΚ (αερίου)- ΣΗΘ	100	1,491	0.027	0.018	12.5	4,717
Κυψέλη καυσίμου- ΣΗΘ	200	3,674	0.029	0.010	12.5	5,106
Φωτοβολταϊκό	100	6,675	0	0.005	20	Δ. Ε
Μικρή ανεμογεννήτρια	10	3,866	0	0.005	20	Δ. Ε
Μεγάλη ανεμογεννήτρια	1000	1,500	0	0.005	20	Δ. Ε
Ατμοστρόβιλογεννήτρια	10000	715	0.067	0.006	20	11,765
Ατμοστρόβιλος- ΣΗΘ	10000	921	0.032	0.006	20	5,562
Σύστημα συνδυασμένου κύκλου	100000	690	0.032	0.006	20	5,642

Σημείωση: kW = kilowatt, kWh = kilowatt-hour, Λ& Σ = λειτουργία και συντήρηση, Btu = British thermal unit, ΣΗΘ = συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, ΜΕΚ= μηχανή εσωτερικής καύσης, Δ. Ε= δεν εφαρμόζεται.

Οι τιμές είναι σε \$ το έτος 2000. Τα κόστη των καυσίμων υπολογίστηκαν με βάση τις μέσες τιμές ΗΠΑ για το φυσικό αέριο που πουλήθηκε σε εμπορικούς πελάτες το 2000 στις ΗΠΑ.

α. Το κόστος κτήσης και εγκατάστασης της μονάδας παραγωγής. Δεν περιλαμβάνει φόρους ή επιδοτήσεις για συγκεκριμένες τεχνολογίες.

β. Θερμότητα υψηλής αξίας (High heat value).

### 3.1.2 Υπολογισμός των φορτίων

Το επόμενο στάδιο της μεθόδου, είναι ο υπολογισμός των φορτίων της εξεταζόμενης περιοχής. Προκειμένου να υπολογιστεί με ακρίβεια η ζήτηση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, απαιτείται να προσδιοριστούν με τη μεγαλύτερη δυνατή

ακρίβεια τα φορτία της κατανάλωσης. Οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν πλέον και με ειδικά λογισμικά πακέτα ηλεκτρομηχανολογικών εφαρμογών (πχ FINE της 4M κ. ά.). Τα φορτία που υπολογίζονται είναι τα εξής:

1. Ηλεκτρικά φορτία. Ο υπολογισμός των ηλεκτρικών φορτίων γίνεται με βάση τους κανονισμούς εγκαταστάσεων χαμηλής τάσης. Για την Ελλάδα, πρόσφατα εκδόθηκε το νέο πρότυπο ΕΛ. Ο. Τ. HD 384, αλλά συναντώνται και άλλοι διεθνείς κανονισμοί (IEC, VDE, DIN, IEE Wiring Regulations, NEC κλπ).
2. Θερμικά φορτία. Ο υπολογισμός των θερμικών φορτίων (όπου απαιτείται, σε περίπτωση εφαρμογής ΣΗΘ), βασίζεται σε διάφορα πρότυπα. Ένα από αυτά είναι το πρότυπο EN 832.
3. Ψυκτικά φορτία. Ομοίως, για τα ψυκτικά φορτία απαιτούνται υπολογισμοί με βάση εγκεκριμένα διεθνή πρότυπα (ASH RAE CLTD, ASH RAE TFM, Carrier), σε περίπτωση εφαρμογής ΣΗΘ.

### **3.1.3 Υπολογισμός δυναμικού των ΑΠΕ**

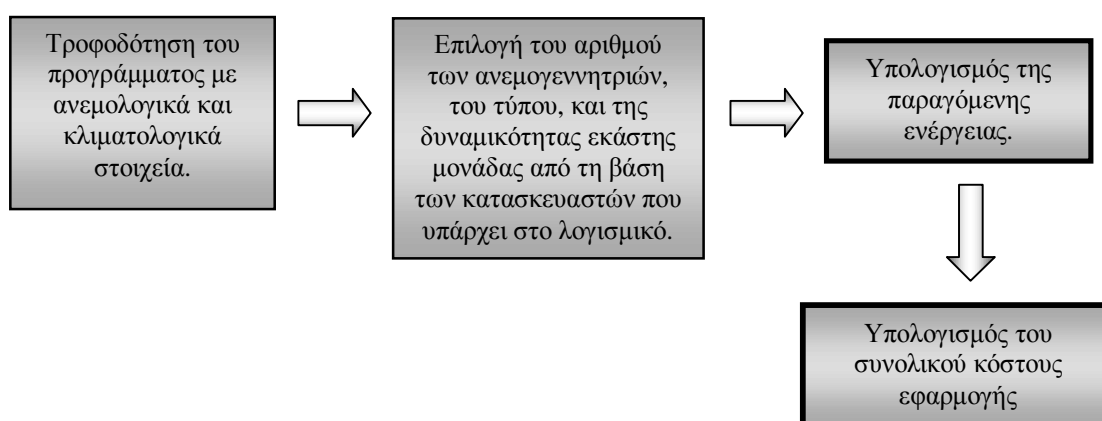
Προκειμένου να εξεταστεί η δυνατότητα εκμετάλλευσης των ήπιων μορφών ενέργειας, ώστε να εφαρμοστούν στη καταναλωμένη παραγωγή, είναι αναγκαίο να γίνει ο υπολογισμός του δυναμικού κάποιων από τις παρακάτω μορφές ενέργειας στην εξεταζόμενη περιοχή:

- Αιολικού.
- Υδροηλεκτρικού.
- Ηλιακού (φωτοβολταϊκού, θέρμανση αέρα, θέρμανση νερού, παθητική θέρμανση).
- Βιομάζας και άλλων.

Μια μέθοδος αξιολόγησης της ενεργειακής παραγωγής και του κόστους κύκλου ζωής για διάφορα είδη προτεινόμενων τεχνολογιών ενεργειακής επίδοσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία εφαρμόζεται σε διεθνές επίπεδο, βασίζεται στο λογισμικό ανάλυσης διεθνών έργων καθαρής ενέργειας RETScreen (International Clean Energy Project Model RETScreen). Το διεθνές κέντρο υποστήριξης αποφάσεων (RETScreen) αποσκοπεί στην ενίσχυση του ανθρωπίνου δυναμικού για το σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων για την εφαρμογή έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ενεργειακής απόδοσης. Όλα τα μοντέλα των καθαρών ενεργειακών τεχνολογιών στο λογισμικό RETScreen, περιλαμβάνουν μια πλήρη βάση δεδομένων με ολοκληρωμένα

προϊόντα και το κόστος αυτών, καθώς και μια ενημερωμένη βάση δεδομένων για τον καιρό από τουλάχιστο 1000 σταθμούς μέτρησης.

Έστω, ότι στην υπό μελέτη περιοχή υπάρχουν ενδείξεις διαθέσιμης ενέργειας από κάποια ή κάποιες μορφές ΑΠΕ (π χ ικανή ταχύτητα ανέμου). Τότε, τροφοδοτώντας το λογισμικό με τα αναγκαία δεδομένα της περιοχής (π χ ανεμολόγιο, θερμοκρασία, πίεση, υψόμετρο κλπ), μπορεί να γίνει η εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής και η εκτίμηση του κόστους του κύκλου ζωής της εγκατάστασης. Στο Σχήμα 33, απεικονίζεται το διάγραμμα ροής του μοντέλου για τη περίπτωση εκτίμησης της ενεργειακής παραγωγής και του κόστους ζωής μιας εφαρμογής ανεμογεννητριών.



**Σχήμα 33: Το διάγραμμα ροής του μοντέλου RETScreen, για τη περίπτωση εκτίμησης της ενεργειακής παραγωγής και του κόστους ζωής μιας εφαρμογής ανεμογεννητριών.**

### 3.1.4 Αποτίμηση

Στο στάδιο αυτό, γίνεται η περιβαλλοντική και οικονομική αποτίμηση της μεθόδου που προτείνεται. Μια μέθοδος αποτίμησης για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη παραγωγή ενέργειας, είναι το πρόγραμμα GEMIS (Global Emission Model For Integrated Systems).

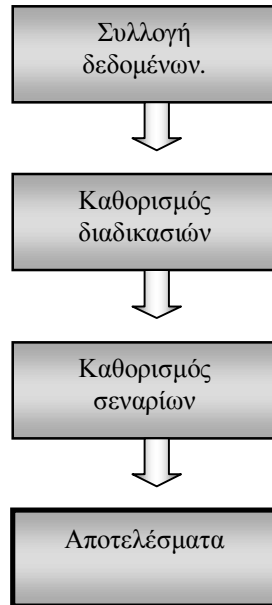
Το GEMIS, είναι ένα πρόγραμμα ανάλυσης κύκλου ζωής (life-cycle analysis) και αποτελείται από μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων που περιλαμβάνει συστήματα ενέργειας, μεταφοράς και ύλης. Ουσιαστικά, το μοντέλο εξάγει τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις περιβαλλοντικές πιέσεις που προκύπτουν από την ανάλυση κύκλου ζωής ενός συστήματος. Η βασική έκδοση του προγράμματος δημιουργήθηκε την περίοδο 1987- 1989, από το Öko- Institut και το Gesamthochschule Kassel (GhK). Από τότε, το μοντέλο συνεχώς αναβαθμίζεται. Η βάση δεδομένων GEMIS περιέχει δεδομένα για:

- Τα είδη καυσίμων (ορυκτά, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κλπ).



- Τις πρώτες ύλες.
- Τα μεταφορικά μέσα.
- Τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Το πρόγραμμα GEMIS μεταξύ άλλων, υπολογίζει για κάθε διαδικασία τις εκπομπές ρυπογόνων αερίων (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO κλπ), αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> κλπ), τη χρήση γης, τα στερεά και υγρά απόβλητα καθώς και τη διάρκεια ζωής της διαδικασίας. Στο Σχήμα 34, παρατίθεται ένα τυπικό διάγραμμα ροής του μοντέλου.



**Σχήμα 34:** Ένα τυπικό διάγραμμα ροής του μοντέλου GEMIS.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

**4.1 Επίλυση του ενεργειακού προβλήματος του Αγίου Ευστρατίου**

Στο παρόν κεφάλαιο, εξετάζεται το ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το νησί του Αγίου Ευστρατίου. Το νησί βρίσκεται βορειοανατολικά της νήσου Λέσβου. Στο νησί υπάρχει μόνο ένας οικισμός. Στον οικισμό είναι εγκατεστημένες μια νητζελογεννήτρια βάσης ισχύος 220 kW και άλλες τέσσερις με ισχύ 90 kW κάθε μια. Το σύνολο συνεπώς της εγκατεστημένης ισχύος ανέρχεται στα 580 kW. Ο σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του οικισμού, παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια ασταθή απόδοση, με συχνές διακοπές λειτουργίας, ενώ απαιτείται και συχνή συντήρηση λόγω παλαιότητας των μηχανών. Επιπλέον, λόγω των αυξημένων ενεργειακών αναγκών κατά περιόδους, ο σταθμός δεν επαρκεί για την πλήρη κάλυψη του φορτίου. Τέλος, στα περισσότερα κτίρια είναι εγκατεστημένα αυτόνομα συστήματα κεντρικής θέρμανσης ισχύος 10 kW κατά μέσο όρο έκαστο. Στα περισσότερα από τα υφιστάμενα συστήματα κεντρικής θέρμανσης, οι αποδόσεις είναι πολύ χαμηλές, οι συντηρήσεις αυτών πλημμελείς, ενώ πολλά από αυτά χρήζουν αντικατάστασης.

Η τοπική αρχή, αναζητά ολοκληρωμένες προτάσεις βελτίωσης της υφιστάμενης κατάστασης, με την εφαρμογή ενός νέου, ολοκληρωμένου, οικονομικά βιώσιμου, περιβαλλοντικά φιλικού ενεργειακού συστήματος, με σκοπό τη βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και την επίτευξη συνθηκών ικανών για την οικονομική, κοινωνική και πολιτιστική ανάδειξη του τόπου.

Οι λύσεις που εξετάζονται είναι οι παρακάτω<sup>1</sup>:

1. Η εγκατάσταση ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μια νητζελογεννήτρια βάσης, ισχύος 1,2 MW, και η εγκατάσταση (όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο) συστήματος κεντρικής θέρμανσης σε κάθε κτίριο, ισχύος 10 KWh για την κάλυψη των θερμικών αναγκών.

---

<sup>1</sup> Οι μόνιμες κατοικίες και τα κτίρια χρήσης υπολογίζονται στα 240, ενώ ο μόνιμος πληθυσμός προσεγγίζει τους 300 κατοίκους. Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής και θερμικής ζήτησης, έγινε με βάση τις εξής παραδοχές: Θεωρήθηκε ότι το θερμικό φορτίο κάθε κτιρίου, ισούται με 9,5 KWh (πολύ καλή μόνωση) [Τρουλινάκης Ν., 2003]. Άρα, η συνολική κατανάλωση θερμικής ισχύος είναι  $9,5 \times 240 = 2280$  kWh, ενώ η συνολική κατανάλωση θερμικής ενέργειας είναι 3800 MWh. Όσο αφορά στα στοιχεία της ηλεκτρικής ζήτησης, η βασική παραδοχή είναι 4 kW κατανάλωσης ηλεκτρικής ισχύος ανά κάτοικο, άρα συνολικά 1,2 MW (300 κάτοικοι). Λαμβάνοντας συντελεστή φορτίου 0,25 και δεδομένου ότι αναφερόμαστε σε ετήσια χρονική περίοδο (ανοιγμένη σε ώρες λειτουργίας στο έτος), η ηλεκτρική κατανάλωση στη διάρκεια του έτους είναι:  $1,2 \text{ MW} \times 0,25 \times 8760 \text{ h} = 2628 \text{ MWh}$ .

2. Η εγκατάσταση ενός μικτού συστήματος κατανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και συμπαραγωγής, με σκοπό την πλήρη κάλυψη της ζήτησης σε θέρμανση και ηλεκτρισμό, που θα περιλαμβάνει:

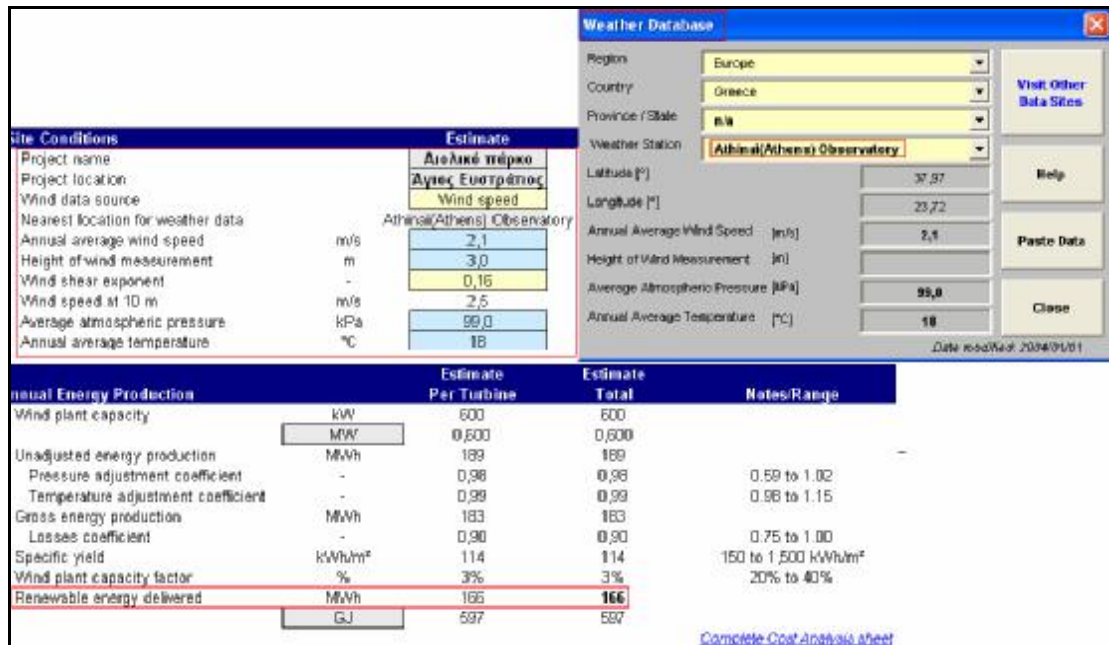
- δύο ανεμογεννήτριες ισχύος 100 και 600 kW αντίστοιχα,
- 6 μονάδες ΣΗΘ με μηχανές εσωτερικής καύσης, θερμικής ισχύος 150 kWth έκαστη, με λόγο *θέρμανση/ ηλεκτρισμό* 1/ 0,65 συνδεδεμένες στο τοπικό δίκτυο διανομής θερμού νερού και
- δύο κεντρικούς λέβητες παραγωγής ζεστού νερού για τη λειτουργία αιχμής.

Έχοντας συλλέξει κλιματολογικά δεδομένα και γνωρίζοντας το γεωγραφικό ανάγλυφο του νησιού, είναι δυνατό με τη χρήση του μοντέλου RETScreen, να γίνει η αξιολόγηση της ενεργειακής παραγωγής και του κόστους κύκλου ζωής για τα προτεινόμενα είδη τεχνολογιών ΑΠΕ και ΣΗΘ που θα εφαρμοστούν. Η ανάλυση εκκινεί από την εξέταση της πιθανής εγκατάστασης ανεμογεννήτριας ισχύος 600 kW. Τα βήματα λειτουργίας του μοντέλου RETScreen είναι:

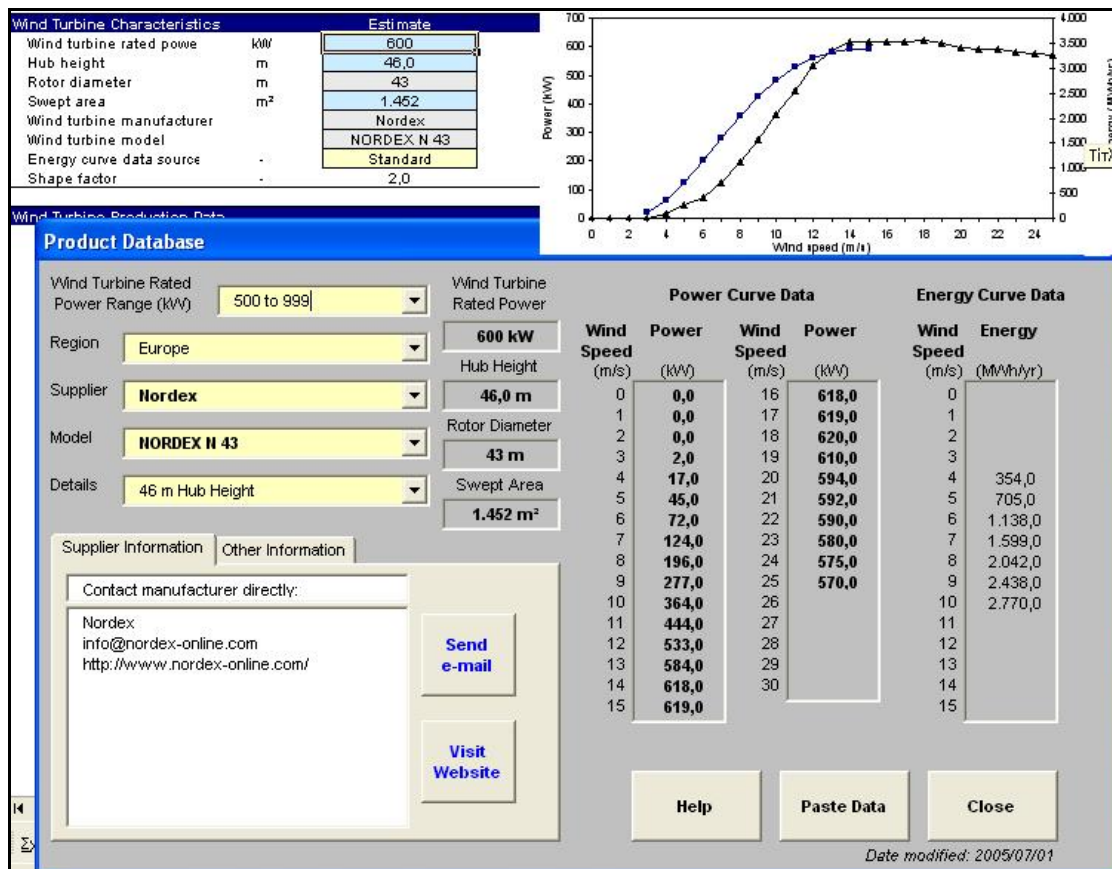
- ο η ανάπτυξη του ενεργειακού μοντέλου, η ανάλυση του κόστους της εφαρμογής,
- ο η ανάλυση των αερίων του θερμοκηπίου (θα είναι εκτενέστερη για το σύνολο των προτάσεων, με το μοντέλο GEMIS 4.2),
- ο η χρηματοοικονομική περίληψη και τέλος,
- ο η ανάλυση ευαισθησίας και κινδύνου.

Στο φύλλο εργασίας *Energy Model*, ορίζεται το project, καθορίζεται η πηγή των κλιματολογικών δεδομένων από την online βάση δεδομένων και στη συνέχεια τροφοδοτούνται με τα απαραίτητα στοιχεία (τύπος δικτύου, τύπος- ισχύς και αριθμός ανεμογεννητριών, κλπ) τα διάφορα φύλλα εργασίας. Στο Σχήμα 35, απεικονίζονται κάποια μέρη του φύλλου εργασίας *Energy Model*, όπου φαίνονται τα συμπληρωμένα πεδία, τα κλιματολογικά δεδομένα από το σταθμό που επιλέχθηκε, όπως και τα πεδία των αποτελεσμάτων και πιο συγκεκριμένα, η απόδοση του συστήματος. Στο Σχήμα 36, απεικονίζεται ένα μέρος του φύλλου εργασίας *Equipment Data*, όπου περιλαμβάνονται, ο τύπος της ανεμογεννήτριας που επιλέχθηκε καθώς και το διάγραμμα ισχύος-ενέργειας αυτής.

Τέλος, γίνεται η ανάλυση του κόστους της εφαρμογής (Σχήμα 37) και η ανάλυση οικονομικών και κινδύνου, η οποία θα βοηθήσει στη ασφαλέστερη λήψη απόφασης όσο αφορά στο καθαρά οικονομικό σκέλος της μελέτης.



Σχήμα 35: Φύλλο εργασίας *Energy Model* του μοντέλου RETScreen.



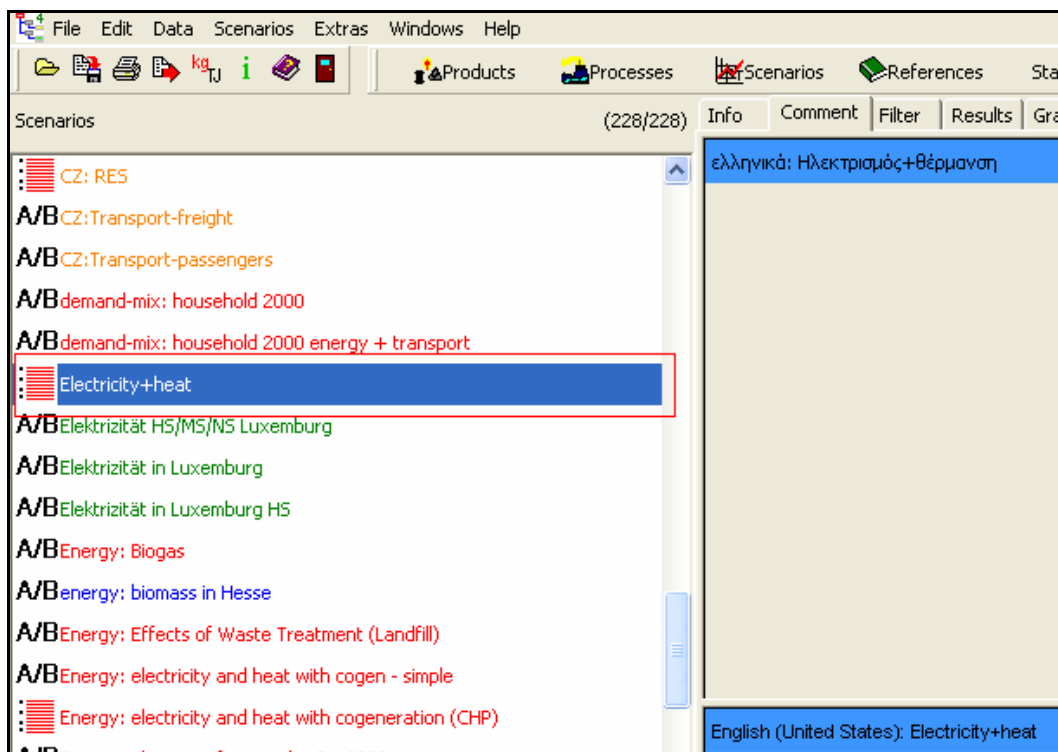
Σχήμα 36: Φύλλο εργασίας *Equipment Data* του μοντέλου RETScreen.

Engineering						
Engineering	Cost	1	€	610.500	€	610.500
Sub-total:					€	610.500
Energy Equipment						
Wind turbine(s)	kW	600	€	1.000	€	600.000
Spare parts	%	3,0%	€	600.000	€	18.000
Transportation	turbine	1	€	33.000	€	33.000
Other - Energy equipment	Cost	0	€	-	€	-
Sub-total:					€	651.000
Balance of Plant						
Balance of plant	Cost	1	€	5.868.000	€	5.868.000
Sub-total:					€	5.868.000
Miscellaneous						
Contingencies	%	5%	€	8.210.200	€	410.510
Interest during construction	6,0%	12 month(s)	€	8.620.710	€	258.621
Sub-total:					€	669.131
<b>Initial Costs - Total</b>					€	<b>8.879.331</b>

Σχήμα 37: Ανάλυση του κόστους εφαρμογής στο μοντέλο RETScreen.

Έχοντας αναλύσει το δυναμικό των καθαρών τεχνολογιών (ΑΠΕ, ΣΗΘ) και το κόστος του κύκλου ζωής αυτών, το επόμενο στάδιο είναι, με τη χρήση του μοντέλου GEMIS 4.2, να γίνει η σύγκριση των συνολικών εκπομπών αερίων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου και της χρήσης πόρων και γης, για τις δυο προτάσεις, με τη προϋπόθεση ότι συμπίπτουν οι ζητήσεις. Δημιουργήθηκε λοιπόν, το παραπάνω ενεργειακό σενάριο με τη χρήση της επιλογής “energy only”. Με βάση αυτό, η διαδικασία ανάπτυξης έχει ως εξής:

1. Ορισμός του σεναρίου *electricity and heat* (Σχήμα 38).



Σχήμα 38: Ορισμός του σεναρίου electricity and heat (GEMIS 4.2).

2. Καθορισμός των δύο περιπτώσεων (συμβατική παραγωγή- εγκατάσταση κεντρικής θέρμανσης και κατακεντρωμένη παραγωγή) (Σχήμα 39).

#	Options	electric power [kW]
1	Powerplant+oil heating system	0
2	Cogeneration+Wind+Boiler	0

Σχήμα 39: Καθορισμός των δύο περιπτώσεων (GEMIS 4.2).

3. Καθορισμός των διαδικασιών για κάθε περίπτωση (Σχήμα 40).

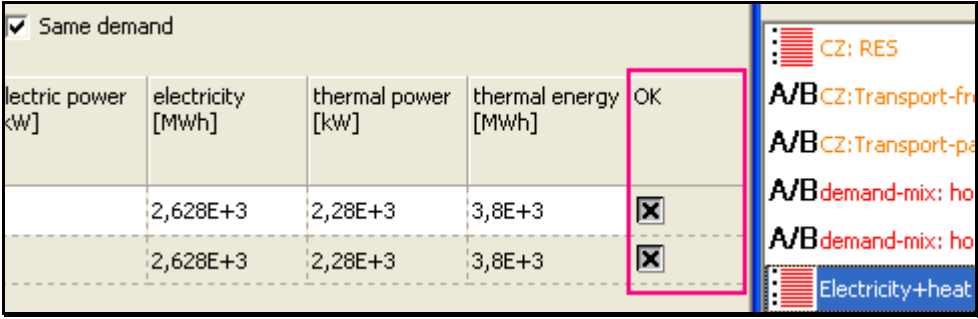
Σχήμα 40: Ορισμός των διαδικασιών (GEMIS 4.2).

4. Εισαγωγή των δεδομένων (Σχήμα 41).

Generation	Units	Operating time [h/a]	electric power [kW]	electricity [MWh]	thermal power [kW]	thermal energy [MWh]
diesel-ICE-cogen-OxCat-D-th/el-coal	6	2500	5,85E+2	1,4625E+3	9E+2	2,25E+3
wind-turbine-single (100) generic	1	1000	1E+2	1E+2	0	0
wind-turbine-single (600)	1	1775,83	6E+2	1,0655E+3	0	0
oil-lite-heat plant-small-D	2	862,67	0	0	2E+3	1,72533E+3
Sum			5,85E+2	2,628E+3	2,9E+3	3,97533E+3

Σχήμα 41: Εισαγωγή των δεδομένων στα αντίστοιχα πεδία (GEMIS 4.2).

## 5. Έλεγχος επιτυχούς εκτέλεσης (Σχήμα 42).



Same demand				
electric power [kW]	electricity [MWh]	thermal power [kW]	thermal energy [MWh]	OK
	2,628E+3	2,28E+3	3,8E+3	<input checked="" type="checkbox"/>
	2,628E+3	2,28E+3	3,8E+3	<input checked="" type="checkbox"/>

Resources list on the right:

- CZ: RES
- A/B CZ: Transport-fr
- A/B CZ: Transport-pa
- A/B demand-mix: ho
- A/B demand-mix: ho
- Electricity+heat

Σχήμα 42: Έλεγχος επιτυχούς εκτέλεσης του μοντέλου (GEMIS 4.2).

Εφόσον η εκτέλεση των παραπάνω βημάτων ήταν επιτυχής, τότε το μοντέλο είναι δυνατό να εξάγει τα συγκριτικά αποτελέσματα.

Με τη χρήση και του μοντέλου GEMIS, και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, ολοκληρώνεται η ανάπτυξη της μεθόδου σχεδιασμού και ανάλυσης εφαρμογής κατανεμημένης παραγωγής. Με βάση τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, παρέχεται η δυνατότητα αποτίμησης των εναλλακτικών λύσεων, η οποία θα οδηγήσει σε ολοκληρωμένες προτάσεις πολιτικής για την ανάπτυξη βιώσιμων και αποδοτικών ενεργειακών υποδομών.

## 4.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων

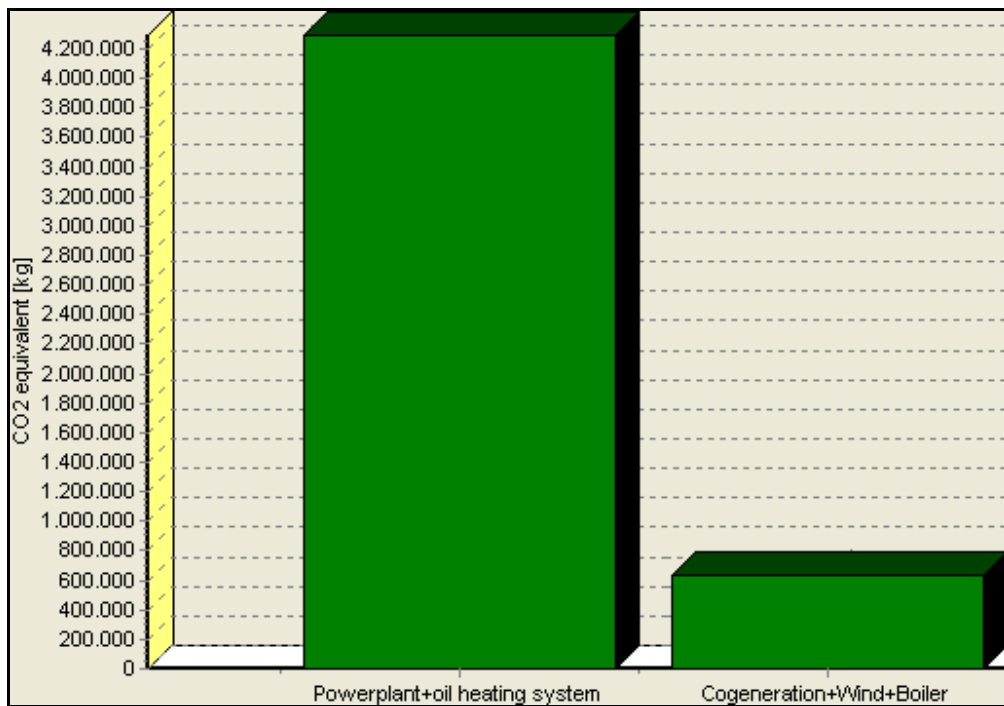
Στο Σχήμα 43, απεικονίζονται γραφικά οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τις δύο περιπτώσεις (σε κιλά ισοδύναμου CO<sub>2</sub>). Φαίνεται, ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου με την εφαρμογή της κατανεμημένης παραγωγής δεν ξεπερνούν το 20% σε σχέση με τις αντίστοιχες εκπομπές από τη συμβατική λύση. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και για τις εκπομπές αερίων ρύπων. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 45, η πρόταση της κατανεμημένης παραγωγής είναι λιγότερο επιβαρυντική σε σχέση με την εναλλακτική λύση.

Επίσης, όσο αφορά στη χρήση πόρων (εκφρασμένη σε μονάδες ενέργειας), η κατανεμημένη παραγωγή απαιτεί σχεδόν 70% λιγότερους πόρους σε σχέση με τη συμβατική λύση, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι το 20% αυτών προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Στο Σχήμα 44, παρουσιάζεται η συνολική χρήση πόρων για τη κάθε μια περίπτωση.

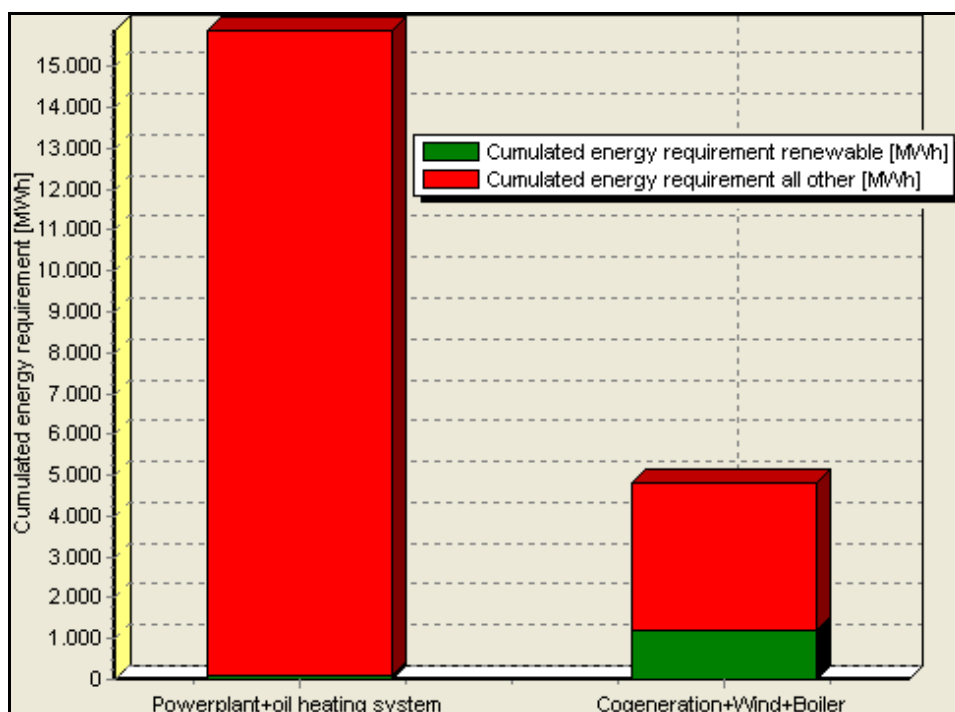
Ένα από τα προβλήματα που παρουσιάζει η λύση της κατανεμημένης παραγωγής, σχετίζεται με τη χρήση γης (Σχήμα 46). Είναι αξιοσημείωτο, ότι για το 1 στρέμμα γης που απαιτείται για την εγκατάσταση της συμβατικής μονάδας



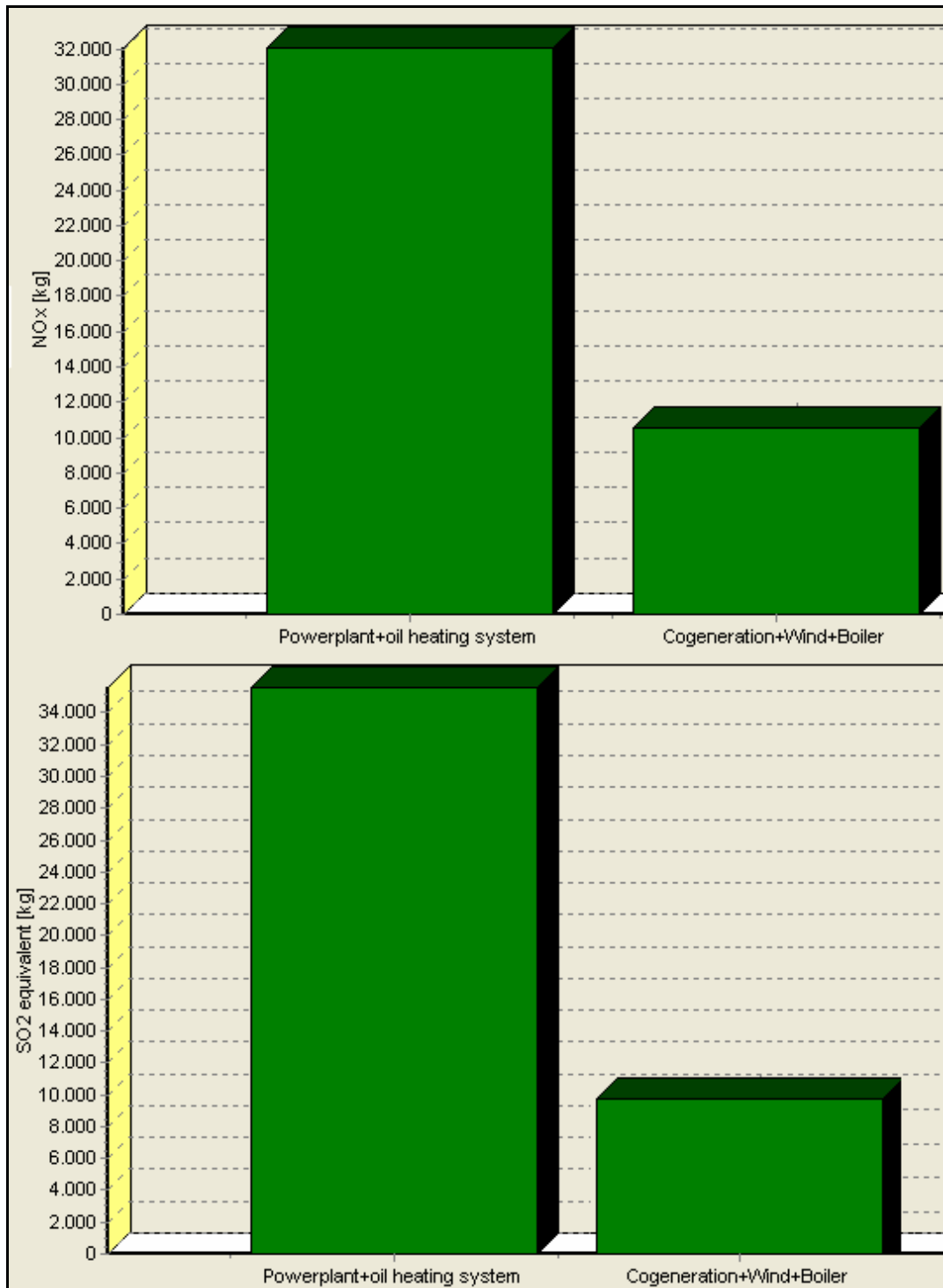
ηλεκτροπαραγωγής, απαιτούνται 24 στρέμματα για την συνολική εγκατάσταση της κατανεμημένης παραγωγής. Το συγκεκριμένο βέβαια πρόβλημα, δεν αποτελεί ιδιαίτερο εμπόδιο στην εφαρμογή της κατανεμημένης παραγωγής, διότι αφενός η αξία γης στον Άγιο Ευστράτιο είναι σχετικά χαμηλή, αφετέρου υπάρχει ικανή έκταση διαθέσιμης γης δίπλα στον οικισμό, όπου η Κοινότητα προτίθεται να διαθέσει για εγκαταστάσεις υποδομής.



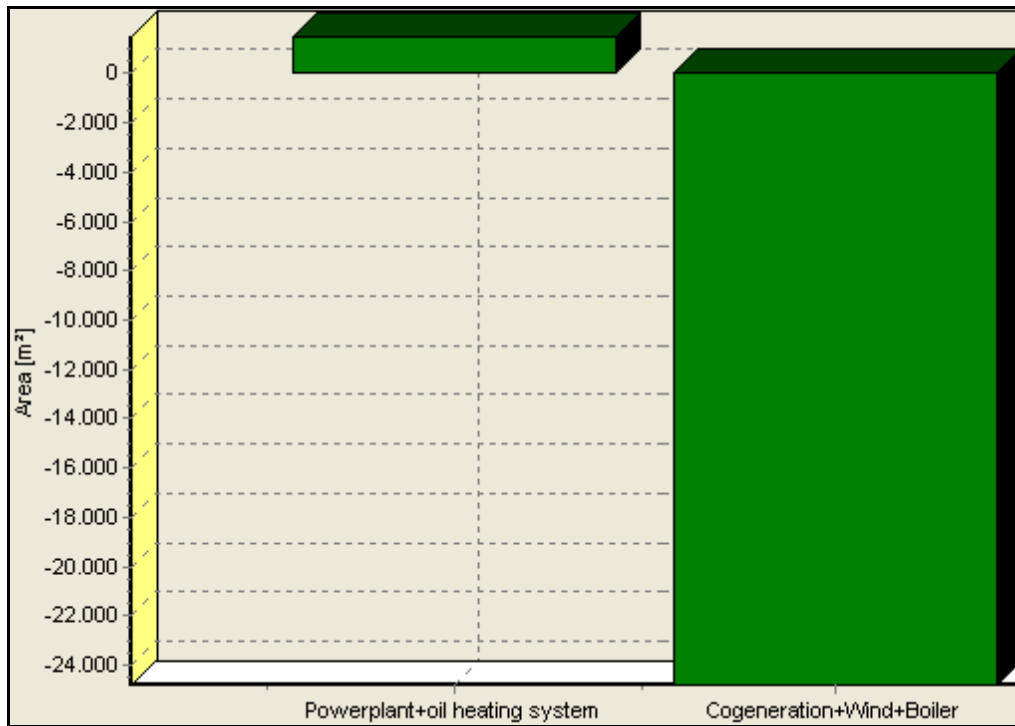
Σχήμα 43: Συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.



Σχήμα 44: Συνολική χρήση πόρων εκφρασμένη σε μονάδες ενέργειας.



Σχήμα 45: Εκπομπές NOx και συνολικών αερίων ρύπων (κιά ισοδύναμου SO<sub>2</sub>).



Σχήμα 46: Χρήση γης.

Η εφαρμογή της καταναμημένης παραγωγής στον οικισμό του Αγίου Ευστρατίου, αποτύπωσε κάποια στοιχεία που τη χαρακτηρίζουν και τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν από μια τέτοια λύση. Η συμπαραγωγή, συνδυάζοντας την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, κάνει αποδοτικότερη χρήση των καυσίμων, πετυχαίνοντας, αφενός μείωση στις συνολικές εκπομπές αερίων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου, αφετέρου απαίτηση λιγότερης ποσότητας ενεργειακών πόρων. Επιπλέον, με την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της περιοχής, ένα σημαντικό ποσοστό απαίτησης σε ενεργειακούς πόρους, καλύπτεται από τις ανανεώσιμες πηγές, μειώνοντας ακόμη περισσότερο τις άμεσες εκπομπές αερίων ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου. Επομένως, η καταναμημένη παραγωγή απαιτεί στο σύνολό της λιγότερους ενεργειακούς πόρους με ένα σημαντικό ποσοστό αυτών να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.

Εντούτοις, όπως ήταν αναμενόμενο, η καταναμημένη παραγωγή η οποία υλοποιείται από ένα μικτό σύστημα ΑΠΕ και ΣΗΘ, απαιτεί την δέσμευση σημαντικής έκτασης γης, στοιχείο που σε κάποιες περιπτώσεις καθιστά δύσκολη την εφαρμογή αυτής. Στο συγκεκριμένο όμως οικισμό, η δέσμευση σημαντικής έκτασης γης είναι εφικτή για τους λόγους που προαναφέραμε. Πέρα από τα προαναφερόμενα οφέλη, ο οικισμός του Αγίου Ευστρατίου, θα μπορούσε να αποτελέσει ένα επιδεικτικό πάρκο εφαρμογής της καταναμημένης παραγωγής, γεγονός που θα έδινε επιπλέον ώθηση στην ανάπτυξη του τόπου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο ηλεκτρικός τομέας αποτελεί σήμερα την πιο κρίσιμη υποδομή των σύγχρονων κοινωνιών, όπου η αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζει άμεσα τη λειτουργία σημαντικών άλλων τεχνολογικών υποδομών, με αυξανόμενο το ενδιαφέρον και εξάρτηση στο μέλλον. Παράλληλα, οι απαιτήσεις για αδιάλειπτη και υψηλής ποιότητας παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές καθίστανται επιτακτικές. Σημαντικές ρυθμιστικές και τεχνολογικές εξελίξεις θα αποτελέσουν τη βάση για τη δημιουργία των νέων ηλεκτρικών συστημάτων αξιόπιστης παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Η στρατηγική της ΕΕ, χαράσσει το δρόμο για βιώσιμα ηλεκτρικά συστήματα.

Το καθεστώς που επικρατεί τα τελευταία χρόνια παγκοσμίως στον τομέα της ενέργειας, προβλέπει αλματώδη αύξηση της ενεργειακής ζήτησης. Το πετρέλαιο και γενικότερα τα καύσιμα από απολιθώματα, αποτελούν την κυριότερη πηγή ενέργειας σχεδόν σε όλες τις περιοχές του πλανήτη. Αφενός όμως, τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων μειώνονται δραματικά, αφετέρου οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με τη παραγωγή, μεταφορά και χρήση των διάφορων πηγών ενέργειας, αποτελούν ένα μείζον θέμα που θέτει τη βάση για τον έλεγχο των διαφόρων ενεργειακών συστημάτων σε σχέση με τις εκπομπές, τα απόβλητα, τη διατάραξη των οικοσυστημάτων, υπό φυσιολογικές ή μη συνθήκες λειτουργίας. Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από ανθρωπογενείς ενέργειες, αποτελούν τη κύρια αιτία έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενώ ο τομέας της ενέργειας είναι ο κύριος συντελεστής των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του '70, η ευαισθητοποίηση της κοινής γνώμης για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη δεκαετία του '80, ο περιορισμός των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων, καθώς και η επιρροή των αρχών του νεοφιλελευθερισμού, άρχισαν σταδιακά να αλλάζουν τις στρατηγικές στον ηλεκτρικό τομέα. Αποκεντρωμένες μονάδες με αποδοτικές τεχνολογίες, όπως της συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (ΣΗΘ) και μονάδες παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές, άρχισαν να εντάσσονται στα ηλεκτρικά δίκτυα για παράλληλη λειτουργία με τους κεντρικούς σταθμούς. Η αλλαγή του ρυθμιστικού πλαισίου στον ηλεκτρικό τομέα και η σταδιακή απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας που άρχισε στη δεκαετία του '90, δημιουργούν μια νέα δυναμική με την είσοδο του 21<sup>ου</sup> αιώνα.

Σύμφωνα με μελέτη του ΙΕΑ, οι επενδύσεις στην ενέργεια μέχρι το τέλος του 2030 σε παγκόσμιο επίπεδο εκτιμώνται σε \$16 τρις. Η παραγωγή, μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας, θα απορροφήσει μέχρι και το 70% (πάνω από \$10 τρις) των παγκόσμιων ενεργειακών επενδύσεων. Η διείσδυση και συμμετοχή των καταναλωμένων μονάδων στην κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για το ίδιο διάστημα, εκτιμάται για το σύνολο της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο 35%- 40%. Αυτό θεωρείται μεγάλη συμβολή στην ασφάλεια και στην αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας καθώς επίσης και στη βιώσιμη ανάπτυξη.

Η καταναλωμένη παραγωγή, καλύπτει μεγάλο εύρος νέων τεχνολογιών με μικρές μονάδες εγκατεστημένες κοντά στην κατανάλωση και θα παίζει σημαντικό ρόλο στη νέα τάξη πραγμάτων. Η μεγάλη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών και άλλων νέων και αποδοτικών τεχνολογιών, αποτελεί τη νέα πρόκληση στον ηλεκτρικό τομέα και θα απαιτηθούν ανάλογες επεμβάσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η ανάπτυξη και εφαρμογή τεχνολογιών ηλιακής ενέργειας, αιολικής ενέργειας, βιομάζας, μικρών υδροηλεκτρικών, συμπαραγωγής θερμότητας/ ψύξης και ηλεκτρικής ενέργειας, κυψελών καυσίμου, συστημάτων αποθήκευσης, τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών (ICT), καθώς και άλλων τεχνολογιών (ηλεκτρονικά ισχύος, υπεραγωγιμότητα, υδρογόνο κλπ), συμπεριλαμβάνονται στους μεσοπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους στόχους.

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας επιβάλλει για λόγους διαφάνειας και καθαρού ανταγωνισμού τον διαχωρισμό του ηλεκτρικού τομέα, κυρίως των κάθετα δομημένων επιχειρήσεων ηλεκτρισμού, στις μονάδες παραγωγής, στο σύστημα μεταφοράς (υψηλή τάση) και στο σύστημα διανομής (μέση και χαμηλή τάση). Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και ο ελεύθερος ανταγωνισμός περιορίζονται στην παραγωγή και εμπορία. Μια κρατική ρυθμιστική αρχή παρακολουθεί, ελέγχει και ρυθμίζει τη λειτουργία της αγοράς για την εξυπηρέτηση των καταναλωτών και τις δράσεις όσων εμπλέκονται στον ηλεκτρικό τομέα. Οι διαχειριστές του συστήματος μεταφοράς και του δικτύου διανομής, θα πρέπει να διατηρούν ένα αποδεκτό επίπεδο ασφαλείας και αξιόπιστης παροχής.

Η ενεργειακά απελευθερωμένη κοινή αγορά, προχώρησε στις διαδικασίες φιλελευθεροποίησης του ενεργειακού τομέα με πολύ αργά βήματα, με διαφορετικά χαρακτηριστικά και σε διαφορετικούς χρόνους στις περισσότερες χώρες μέλη της ΕΕ. Όπως έγινε και σε άλλους τομείς, τα πρώτα βήματα και οι αρχικές ενέργειες για την κοινή αγορά της ενέργειας, όπως η Ντιρεκτίβες 96/92/EC και 98/30/EC, που καθορίζουν τα γενικά κριτήρια της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρισμού και φυσικού

αερίου, προσπαθούν να συμβιβάσουν τις ρυθμιστικές δομές των αγορών των κρατών μελών.

Παρά τις προσπάθειες τόσο σε κρατικό όσο και σε κοινοτικό επίπεδο, ενώ το ενεργειακό κόστος πέφτει, οι βελτιώσεις στην παρεχόμενη αξιοπιστία και στην αποδοτική ενεργειακή συντήρηση δεν είναι οι αναμενόμενες. Έλλειψη στην εγκατεστημένη ηλεκτρική ενέργεια σε τοπικό επίπεδο σε διάφορα μέρη στην Ευρώπη, προκαλούν τη δύσκολη αντιμετώπιση από τον ενεργειακό τομέα. Η κατάσταση δυσχεραίνεται ακόμη περισσότερο από την ολοένα αυξανόμενη ζήτηση. Επιπλέον, ο αριθμός των διαχειριστών αγοράς (market operators) παραμένει μικρός σε πολλές χώρες, με αποτέλεσμα η κατανεμημένη παραγωγή να μην έχει πάρει τις αναμενόμενες διαστάσεις. Είναι πολλά τα εμπόδια που τίθενται στη εξάπλωση της κατανεμημένης παραγωγής και ειδικότερα στα συστήματα ΣΗΘ. Επιγραμματικά, θα λέγαμε ότι έχουν να κάνουν με κανονιστικά και οικονομικά ζητήματα.

Η κατανεμημένη παραγωγή, είναι ουσιαστικά τόσο νέα προσέγγιση στο πεδίο της ηλεκτρικής βιομηχανίας, ώστε με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία να μην έχει δοθεί κάποιος γενικά αποδεκτός ορισμός αυτής. Έτσι, γίνεται προσπάθεια εξασφάλισης ενός κοινώς αποδεκτού ορισμού, εγχείρημα δύσκολο, καθώς αποτελεί ένα πολυπαραμετρικό ζήτημα. Ο ορισμός που χρησιμοποιείται στη παρούσα εργασία φαίνεται να ταυτίζεται με αυτόν των *Ackerman T. Et al. (2001)*. Σύμφωνα με αυτόν, η κατανεμημένη παραγωγή καθορίζεται με βάση τη φύση σύνδεσής της στο δίκτυο. Έτσι, ορίζεται πηγή κατανεμημένης παραγωγής, *η πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος που συνδέεται απ' ευθείας στο δίκτυο διανομής ή στην πλευρά του μετρητή του πελάτη.*

Λόγω του ότι σε ειδικές περιπτώσεις εφαρμογής μονάδων παραγωγής, ο παραπάνω ορισμός γεννάει αμφιβολίες για το αν αυτές οι μονάδες εντάσσονται στην οικογένεια της κατανεμημένης παραγωγής, γίνεται μια επιπλέον προσπάθεια εξασφάλισης κάποιων προτύπων και κανόνων, προκειμένου να ενσωματωθούν, δημιουργώντας ένα πιο αυστηρό πλαίσιο καθορισμού της κατανεμημένης παραγωγής.

Εν προκειμένω, το επίπεδο τάσης δεν παρέχει σαφή κοινό διαχωρισμό σε διεθνές επίπεδο μεταξύ μεταφοράς και διανομής, οπότε το δίκτυο διανομής (συνήθως ακτινωτό) και το δίκτυο μεταφοράς (συνήθως πλέγμα), θα ορίζονται με βάση την ισχύουσα νομοθεσία του εκάστοτε εξεταζόμενου κράτους. Επίσης, προτείνεται μια κατηγοριοποίηση της κατανεμημένης παραγωγής σε σχέση με τη δυναμικότητά της, η οποία φτάνει και τα 300 MW ισχύος. Ακόμη όμως και αυτός ο περιορισμός δεν μπορεί να είναι απόλυτος, καθώς υπάρχουν μονάδες παραγωγής που υπερβαίνουν το όριο των

300 MW αλλά παρόλα αυτά, θεωρούνται καταναεμημένες. Αντίστοιχα προβλήματα παρουσιάζονται και με την περιοχή που καλύπτει μια καταναεμημένη μονάδα παραγωγής, καθώς και με τις τεχνολογίες που ολοκληρώνουν αυτή. Συγκεκριμένα, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σχεδόν οποιαδήποτε τεχνολογία για την υλοποίηση της καταναεμημένης παραγωγής, αλλά συγχρόνως η ίδια τεχνολογία διαφορετικής δυναμικότητας ενδέχεται να μην υλοποιεί καταναεμημένη παραγωγή. Αυτό ισχύει ακόμη και για τις τεχνολογίες ΑΠΕ.

Επίσης, ενώ οι τεχνολογίες καταναεμημένης παραγωγής περιγράφονται ως περιβαλλοντικά φιλικές σε σχέση με τις αντίστοιχες τεχνολογίες ενός κεντρικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εντούτοις, φαίνεται ότι η ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία καθώς, για κάθε τεχνολογία παραγωγής υπάρχουν έμμεσες και άμεσες εκπομπές ρύπων και κατά συνέπεια ενδέχεται κάποια εφαρμογή καταναεμημένης παραγωγής να προκαλεί σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται κάποια είδη τεχνολογιών καταναεμημένης παραγωγής που έχουν ενταχθεί στη παγκόσμια αγορά και είναι:

- Οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας, γνωστές ως ΣΗΘ (Combined Heat and Power, CHP). Είναι μονάδες όπου η θερμότητα είναι το αρχικό προϊόν και ο ηλεκτρισμός παράγεται ως υποπροϊόν, ή αντίστροφα. Οι μονάδες αυτές μπορούν να πετύχουν απόδοση της τάξης του 80- 90%. Υλοποιούνται με μια μεγάλη ποικιλία τεχνολογιών μικρής, μικρομεσαίας και μεγάλης κλίμακας, όπως είναι τα συστήματα αμιοστροβίλου, αεριοστροβίλου, συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης, συνδυασμένου κύκλου, κύκλοι βάσης Rankine με οργανικά ρευστά, μικρές μονάδες συμπαραγωγής, μικροτουρμπίνες, κυψέλες καυσίμου, μηχανές Stirling κλπ.
- Οι κυψέλες καυσίμου, που αναλύονται σε έξι τεχνολογίες (PAFC, PEMFC, MCFC, SOFC, DMFC, AFC). Συχνά ολοκληρώνονται με συστήματα ΣΗΘ και παρουσιάζουν χαμηλή στάθμη θορύβου, χαμηλές εκπομπές ρύπων, υψηλές αποδόσεις και μικρές απαιτήσεις συντήρησης, ενώ μπορούν να χρησιμοποιήσουν διάφορα είδη καυσίμων. Το μειονέκτημά τους είναι το υψηλό κόστος και η περιορισμένη διάρκεια ζωής.



- Τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η κυριότερη τεχνολογία φωτοβολταϊκής κυψέλης είναι το κρυσταλλικό πυρίτιο (c- Si), με αποδόσεις έως και 16% (σε εργαστηριακό επίπεδο τα πολυκρυσταλλικά φτάνουν και το 24%). Επίσης, υπάρχουν φωτοβολταϊκές κυψέλες άμορφου πυριτίου (a- Si), τελλουριούχου καδμίου (CdTe), δισελινιούχου ινδικού (γάλλιο) χαλκού (CIS ή CIGS) και άλλων πολυκρυσταλλικών υλικών με αποδόσεις που φτάνουν το 20%. Σε εργαστηριακό όμως επίπεδο, έχουν κατασκευαστεί κυψέλες που η απόδοσή τους ξεπερνά το 32%. Παρόλο που παρουσιάζουν σχετικά χαμηλές αποδόσεις, έμμεσες και άμεσες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και σχετικά υψηλό κόστος, με τον κατάλληλο έλεγχο κατά τη παραγωγική διαδικασία, την ανάπτυξη νέων αποδοτικότερων τεχνολογιών και τη δυναμικότερη συμμετοχή τους στην αγορά, μπορούν να προσφέρουν πολλά οφέλη στον ενεργειακό τομέα.
- Τα συστήματα ανεμογεννητριών. Είναι ίσως η πιο διαδεδομένη τεχνολογία ΑΠΕ, η οποία έχει εξελιχθεί τεχνολογικά σε σημείο τέτοιο που κατασκευάζονται ανεμογεννήτριες ισχύος 5 MW. Όπως συμβαίνει με τις περισσότερες τεχνολογίες ΑΠΕ έτσι και με τις ανεμογεννήτριες, η επίδοσή τους εξαρτάται από τα κλιματολογικά στοιχεία ή αλλιώς από το διαθέσιμο δυναμικό της περιοχής. Μπορούν να λειτουργήσουν ως αυτόνομες μονάδες, ή ως διασυνδεδεμένες στο υφιστάμενο δίκτυο. Λόγω της πολύχρονης παρουσίας τους στην αγορά, το κόστος τους συνεχώς μειώνεται και σε πολλές περιπτώσεις αποτελούν ανταγωνιστική λύση έναντι των συμβατικών εφαρμογών ηλεκτροπαραγωγής.

Σήμερα, που οι δομές στον ενεργειακό τομέα υφίστανται αλλαγή εκ βάθρων, αφενός λόγω των περιβαλλοντικών πιέσεων, αφετέρου λόγω της οικονομικής ανασυγκρότησης στον τομέα της αγοράς και της αυξανόμενης ενεργειακής ζήτησης, με απαιτήσεις για ασφαλέστερη και πιο αξιόπιστη παροχή ενέργειας, δίνεται η ευκαιρία σε νέες αξιόπιστες, αποδοτικές και εξελιγμένες μορφές και συστήματα ενεργειακής παραγωγής να εισέλθουν δυναμικά στο χώρο, υπό την προϋπόθεση ότι αποδεδειγμένα αποτελούν ανταγωνιστικές επιλογές. Έτσι, γίνεται μια ανάπτυξη ενός μεθοδολογικού πλαισίου με μια ακολουθία βημάτων που περιλαμβάνουν υπολογισμούς και αξιολογήσεις και οδηγούν σε ένα αποτέλεσμα, βάση του οποίου κρίνεται η δυνατότητα εφαρμογής ενός συστήματος καταναμημένης παραγωγής σε μια περιοχή και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες.

Τα βασικά στάδια της μεθόδου είναι:

1. Η ενεργειακή ζήτηση.
2. Ο υπολογισμός των φορτίων.
3. Ο υπολογισμός του δυναμικού των ΑΠΕ.
4. Η συνολική αποτίμηση.

Η ενεργειακή ζήτηση μιας περιοχής, υπολογίζεται βάση των μακροοικονομικών μεγεθών, της ενεργειακής υποδομής και ενεργειακών πόρων και βάση της τεχνολογικής κατάστασης. Προκειμένου να υπολογιστεί με ακρίβεια η ζήτηση ηλεκτρικής και θερμικής/ ψυκτικής ενέργειας, απαιτείται να προσδιοριστούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια τα φορτία της κατανάλωσης, τα οποία είναι ηλεκτρικά, θερμικά και ψυκτικά. Το τρίτο βήμα, αφορά την εξέταση της δυνατότητας εκμετάλλευσης των ήπιων μορφών ενέργειας και ΣΗΘ, που θα εφαρμοστούν στη κατανεμημένη παραγωγή. Αυτό, προϋποθέτει τον υπολογισμό του δυναμικού αυτών. Ο υπολογισμός γίνεται με το μοντέλο RETScreen, το οποίο προσφέρει και τη δυνατότητα της οικονομικής αποτίμησης. Στο τελευταίο, στάδιο γίνεται η περιβαλλοντική αποτίμηση της μεθόδου, όπου προτείνεται η εφαρμογή του μοντέλου GEMIS 4.2.

Εφαρμόζοντας κάποια βήματα της παραπάνω μεθόδου στο ενεργειακό πρόβλημα που παρουσιάζει ο οικισμός του Αγίου Ευστρατίου του ομώνυμου νησιού, εξετάζονται δύο λύσεις:

1. Η εγκατάσταση ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μια νηξελογεννήτρια βάσης, ισχύος  $1,2 MW$ , και η εγκατάσταση (όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο) συστήματος κεντρικής θέρμανσης σε κάθε κτίριο, ισχύος  $10 KWh$  για την κάλυψη των θερμικών αναγκών.
2. Η εγκατάσταση ενός μικτού συστήματος κατανεμημένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και συμπαραγωγής, με σκοπό την πλήρη κάλυψη της ζήτησης σε θέρμανση και ηλεκτρισμό, που θα περιλαμβάνει:
  - δύο ανεμογεννήτριες ισχύος 100 και 600 kW αντίστοιχα,
  - 6 μονάδες ΣΗΘ με μηχανές εσωτερικής καύσης, θερμικής ισχύος  $150 kWth$  έκαστη, με λόγο *θέρμανση/ ηλεκτρισμό*  $1/ 0,65$  συνδεδεμένες στο τοπικό δίκτυο διανομής θερμού νερού και
  - δύο κεντρικούς λέβητες παραγωγής ζεστού νερού για τη λειτουργία αιχμής.

Με την εφαρμογή του μοντέλου GEMIS 4.2, τα αποτελέσματα της σύγκρισης μεταξύ των δυο λύσεων, έδειξαν ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και αερίων

τύπων που προκαλούνται από την κατανεμημένη παραγωγή, είναι σαφώς χαμηλότερες σε σχέση με την εναλλακτική λύση (συμβατική παραγωγή). Αντίστοιχα ήταν τα αποτελέσματα όσον αφορά στη χρήση πόρων. Αντίθετα, και όπως αναμενόταν, η κατανεμημένη παραγωγή απαιτεί μεγάλη έκταση γης σε σχέση με την εγκατάσταση μιας συμβατικής μονάδας παραγωγής ενέργειας.

Είναι σαφές, ότι με την επιλογή κατάλληλης κατανεμημένης μονάδας παραγωγής ενέργειας για τις ανάγκες κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης, επιτυγχάνονται υψηλές αποδόσεις, αξιόπιστη λειτουργία, ασφάλεια, λιγότερη και αποδοτικότερη χρήση των ορυκτών καυσίμων, εκμετάλλευση των εναλλακτικών μορφών ενέργειας και λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Προκειμένου όμως να επιτευχθεί μεγαλύτερη διείσδυση των τεχνολογιών κατανεμημένης παραγωγής, απαιτείται μια σειρά λήψης μέτρων που έχουν να κάνουν με τα εξής:

- Δημιουργία ενός ενιαίου ορισμού, κοινώς αποδεκτού για την κατανεμημένη παραγωγή.
- Συνεχής βελτίωση των τεχνολογιών κατανεμημένης παραγωγής.
- Ανάπτυξη και εφαρμογή νέων και αποτελεσματικών τεχνικών διασύνδεσης των κατανεμημένων μονάδων στο υφιστάμενο δίκτυο ισχύος (upgrade). Θα βασίζονται σε νέες τεχνολογίες ηλεκτρονικών ισχύος, στην ανάπτυξη νέων υλικών και στην εφαρμογή τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών, με σκοπό την ομαλή διείσδυση της κατανεμημένης παραγωγής στο δίκτυο, χωρίς την πρόκληση ανεπιθύμητων και απρόβλεπτων καταστάσεων που μπορεί να επιφέρουν αστάθεια στη ροή της ενέργειας με σοβαρές επιπτώσεις στην οικονομία, στη παραγωγή και εν τέλει στην κοινωνία.
- Απεξάρτηση από τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας, με κοινοτικές και κρατικές ρυθμίσεις στα πλαίσια της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας, που θα δίνουν κίνητρα στους ιδιώτες παραγωγούς και στους απλούς καταναλωτές για την εφαρμογή κατανεμημένης παραγωγής.
- Ανάπτυξη και εφαρμογή ολοκληρωμένων μοντέλων ανάλυσης και αξιολόγησης των υφιστάμενων οικονομικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών, τεχνολογικών δομών, που θα καθορίζουν την εξέλιξη της

ενεργειακής ζήτησης, τις δυνατότητες εφαρμογής ανταγωνιστικών τεχνολογιών κατανεμημένης παραγωγής, και τελικά θα οδηγούν σε ξεκάθαρες προτάσεις ενεργειακής πολιτικής.

Η κατανεμημένη παραγωγή αποτελεί το μέλλον στην εξέλιξη του ενεργειακού τομέα. Δίνει σημαντικές λύσεις στο ζήτημα της ανεξάρτησης από την παραδοσιακή παραγωγή ενέργειας, συμβάλλει στην αξιόπιστη και αδιάλειπτη παροχή ενέργειας, εκμεταλλεύεται εκτενώς τις ανανεώσιμες πηγές, προκαλεί ήπιες επιπτώσεις στο περιβάλλον, προσφέρει τη δυνατότητα εγκατάστασης και λειτουργίας σε σύντομο χρόνο σε περιοχές όπου έχουν άμεση ανάγκη παροχής ηλεκτρικής/ θερμικής ενέργειας, συμβάλλει στην άρση του μέχρι σήμερα άκαμπτου μονοπωλιακού καθεστώτος και τέλος, προσφέροντας τη δυνατότητα ακόμη και στον απλό καταναλωτή να εφαρμόσει το δικό του σύστημα παραγωγής, δημιουργεί συνείδηση σοφής χρήσης της ενέργειας.

## ΛΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdullah S., Yousif B. F., Sopian K., 2005. Design consideration of low temperature differential double- acting Stirling engine for Solar Application. *Renewable Energy* 30, 1923-1941.
- Ackerman T., Andersson G., Soder L., 2001. Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research* 57, 195-204.
- Albertazzi S., Basile F., Brandin J., Einvall J., Hulteberg C., Fornasari G., Rosetti V., Sanati M., Trifiro F., Vaccari A., 2005. The technical feasibility of biomass gasification for hydrogen production. *Catalysis Today*, Article in press.
- Alsema E. A., 2000. Energy pay- back time and CO<sub>2</sub> emissions of PV systems. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 8, 17- 25.
- Baptiste P. J, Ducroux R., 2003. Energy policy and climate change. *Energy Policy* 31, 155- 166.
- Berta G. L., Prato A. P., Garbarino L., 2005. Design criteria for distributed cogeneration plants. *Energy Article in Press*, 1- 14.
- Beyene A., 2005. Energy efficiency and industrial classification. *Energy Engineering* 102 (2), 59- 80.
- Boyle G, 1996. *Renewable Energy*. Oxford University Press in association with the Open University, Oxford.
- BP, 2005. BP Global Statistical Review of World Energy, <http://www.bp.com/>.
- Caneta Research Inc., 1992. *Cogeneration in Low Rise Buildings*. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corp.
- Cardona E., Piacentino A., 2005. Cogeneration: a regulatory framework toward growth. *Energy Policy* 33, 2100- 2111.
- CBO, 2003. *Prospects for distributed electricity generation: A CBO Paper*. Congress of the United States, Congressional Budget Office.
- CIGRE (International Council on Large Electric Systems), 2003. *Development of Dispersed Generation and Consequences for Power Systems, WG C6.01 (ex 37.33) final report*, July.
- CIRED (International Research Center on the Environment and Development), 1999. *Dispersed Generation; Preliminary Report for Discussion at CIRED Working Group No 4*, 2 June, Nice.
- Corria M. E., Cobas V. M., Lora E. S., 2005. Perspectives of Stirling engines use for Distributed Generation in Brazil. *Energy Policy* in Press.
- Directive 2004/8/EC, 2004, of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Union* L 52 (50-60)– 21/ 02.
- Doder V., Weber R., Weber A., 2005. Performance assessment of fuel cell micro-cogeneration systems for residential buildings. *Energy and Buildings* 37, 1132- 1146.
- Dondi P., Bayoumi D., Haederli C., Julian D., Suter M., 2002. Network integration of distributed power generation. *Journal of Power Sources* 106, 1- 9.
- DTE Energy Technologies, Inc. (Dtech) [www.dtetech.com](http://www.dtetech.com).
- EC, 1995. Externalities of Energy's Externe Project, DGXII, JOULE, Report No EUR 16520 EN.
- EC, 1997. *Energy for the future: Renewable Sources of Energy*. White Paper, European Commission, DG XVII.
- Educogen, 2001. *The European Educational Tool on Cogeneration*. European Commission, Second Edition.

- EERE (Energy Efficiency and Renewable Energy), [www.eere.gov/solar](http://www.eere.gov/solar).
- EIA (Energy Information Agency), 2005. World Net Nuclear Electric Power Generation. 1980-2003. USA, <http://www.eia.doe.gov/>.
- Elhadidy M. A., Shaahid S. M., 2005. Decentralized/ stand alone hybrid Wind- Diesel power systems to meet residential loads of hot coastal regions. Energy Conversion and Management 46, 2501- 2513.
- El-Khattam W., Salama M.M.A., 2004. Distributed generation technologies, definitions and benefits. Electric Power Systems Research 71, 119-128.
- Endecon Engineering, 2001. A guide to photovoltaic (PV) system design and installation. California Energy Commission.
- Energy Nexus Group, Apr. 2002. Technology Characterization: Fuel Cells. Prepared for: Environmental Protection Agency.
- Energy Nexus Group, Feb. 2002. Technology Characterization: Reciprocating Engines. Prepared for: Environmental Protection Agency.
- Energy Nexus Group, Mar. 2002. Technology Characterization: Microturbines. Prepared for: Environmental Protection Agency.
- EPA (Environmental Protection Agency), 2005. Catalogue of CHP Technologies. Combined Heat and Power Partnership. EPA.
- EPRI (Electric Power Research Institute), <http://my.epri.com/portal>.
- European Commission, 2005: Energy- New and renewable Energies. <http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/>.
- EWEA (European Wind energy Association), 2003. Wind energy- the facts. Wind Power Technology. European Commission's Directorate General for Transport and Energy (DG TREN).
- Fisk R. W. & VanHousen R. L., 1996. Cogeneration Application Considerations. GE Power Systems, Schenectady, NY.
- Gilijamse W., Boonstra M. E., 1995. Energy efficiency in new houses. Heat demand reduction versus cogeneration? Energy and Buildings 23, 49- 62.
- GWEC (Global Wind Energy Council), 2005. Global wind power continues expansion- pace of installation needs to accelerate to combat climate change, Brussels, March 4<sup>th</sup>.
- Havelsky V., 1999. Energetic efficiency of cogeneration systems for combined heat, cold and power production. International Journal of Refrigeration, 22, 479-485.
- Henning D., Shahnaz A., Holmgren K., 2005. Modeling and optimization of electricity, steam and district heating production for local Swedish utility. European Journal of Operational Research, Article in Press.
- Hesnes A. G., 1999. Building integration of solar energy systems. Solar Energy 67, 181- 187.
- Horlock J. H., 1992. Combined Power Plants, Pergamon Press, 1<sup>st</sup> Edition, Oxford.
- Hu N., Benping Z., Weiqiao W., Neumaier K., 2005. Energy and environmental conservation through district heating. Energy Engineering 102 (1), 10-20.
- IEA (International Energy Agency), 2001. The Energy Future: A Context for Energy Subsidy Reform.
- IEA (International Energy Agency), 2001. World Energy Prospects to 2020, <http://www.iea.org/>.
- IEA (International Energy Agency), 2003. World Energy Investment Outlook, <http://www.iea.org/>.
- IEE (Institution of Electrical Engineers), 2003. Embedded Generation Issues- Briefing Note, January.

- IPCC, 1996c, Climate change 1995: Economic and social dimensions of climate change. Contribution of working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.
- IPCC, 2001. Summary for Policymakers – A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, WMO, Geneva, Switzerland, [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- Katsigiannis P. A., Papadopoulos D. P., 2005. A General Techno economic 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.
- Koeppel G., 2003. Distributed Generation- Literature review and outline of the Swiss situation. EEH Power systems Laboratory. Internal Report Zurich.
- Kosugi T., Tokimatsu K., Yoshida H., 2005. Evaluating new CO<sub>2</sub> reduction technologies in Japan up to 2030. *Technological Forecasting & Social Change* 72, 779- 797.
- Krist K., Wright J. D., 1999. Solid oxide fuel cell residential cogeneration. Joint DOE/ EPRI/ GRI, Fuel Cell Technology Review Conference.
- Landberg L., Giebel G., Nielsen H. A., Nielsen T., Madsen H., 2003. Short term prediction- An overview. *Wind Energy* 6, 273- 280.
- Laughton M., 1996. Combined Heat and Power: Executive summary, *Applied Energy* 53, 227-233.
- McConnell, R.D., Surek T., Witt C. E., 1998. Progress in PV manufacturing technologies. *Renewable Energy* 15, 502- 505.
- McKenna J., 2003. Game changer: Stirling Engines at Landfields. Landfield Methane Outreach Programm. 6<sup>th</sup> Annual Conference and Project Expo.
- Meyer I. N., 2003. European schemes for promoting renewables in liberalized markets. *Energy Policy* 31, 665- 676.
- Miller A. I., Duffey R. B., 2005. Sustainable and economic cogeneration from nuclear energy in competitive markets. *Energy* 30, 2690- 2702.
- OECD/ IEA, 1998. Benign energy? The environmental implications of renewable, international energy agency. [www.iea.org](http://www.iea.org).
- Onowwiona H. I., Ugursal V. I., 2004. Residential cogeneration systems: review of the current technology. *Renewable and Sustainable energy Reviews* Article in Press, 1- 43.
- Peacock A. D., Newborough M., 2005. Impact of micro-CHP systems on domestic sector CO<sub>2</sub> emissions. *Applied Thermal Engineering* 25, 2653 -2676.
- Pepermans G., Driesen J., Haeseldonckx D., Belmans R., D' haeseleer W., 2005. Distributed generation: definition, benefits and issues. *Energy policy* 33, 787- 798.
- Petersen E. L., Mortensen N. G., Landberg L., Hojstrup J, Frank H. P., 1998. Wind power meteorology. Part II: siting and models. *Wind Energy* 1, 55- 72.
- Pilavachi P. A., 2002. Mini and micro- gas turbines for combined heat and power. *Applied Thermal Engineering* 22, 2003- 2014.
- POLES 2.2, 1996. Prospective outlook on long- term energy systems. Office for Official Publications of the European Communities, Report EUR 17358 EN.
- Popovic D. H., Greatbanks J. A., Begovic M., Pregelj A., 2005. Placement of distributed generators and reclosers for distribution network security and reliability. *Electrical Power and Energy Systems*. Article In Press.

- Pout C., Hitchin R., 2005. Apportioning carbon emissions from CHP systems. *Energy Conversion and Management* 46, 2980-2995.
- Serway R. A. (Μετάφραση Πεσβάνη Λ. Κ.), 1990. *Physics for Scientists and Engineers*. 3<sup>rd</sup> Volume. Saunders College Publishing. 3<sup>rd</sup> Edition.
- Sijm J. P. M., 2002. The performance of feed- in tariffs to promote renewable electricity in European Countries. *Renewable Electricity Trends in European Countries*. Energy research Centre of the Netherlands (ECN).
- Solar Buzz, 2005. [www.solarbuzz.com](http://www.solarbuzz.com).
- SOLO Stirling Engine, 2005. SOLO Stirling 161 micro CHP-Module. Technical Documentation.
- Sorensen P., Unnikrishnan A. K, Mathew S. A., 2001. Wind farms connected to weak grids in India. *Wind Energy* 4, 137- 149.
- Sun H. B., Zhang B. M., 2005. Global state estimation for whole transmission and distribution networks. *Electric Power Systems Research* 74, 187- 195.
- Taylor F. W., 2002. The greenhouse effect and climate change revisited. *Reports on Progress in Physics* 65, 1- 25.
- Thresher R. W., Dodge D. M., 1998. Trends in the evolution of wind turbine generator configurations and systems. *Wind Energy* 1, 70- 85.
- Tsoutsos T. D., 2002. Marketing solar thermal technologies: strategies in Europe, experience in Greece. *Renewable Energy* 26, 33- 46.
- Tsoutsos T., Frantzeskaki N., Gekas V., 2005. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy Policy* 33, 289- 296.
- Tsoutsos T., Mavrogiannis I., Tselepis N., 2004. An analysis of the Greek photovoltaic market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 8, 49- 72.
- Vate J. F., 1997. Comparison of energy sources in terms of their full energy chain emission factors of greenhouse gases. *Energy Policy*, 25 (1), 1- 6.
- Voorpoels K. R., D'haeseleer W. D., 2002. The evaluation of small scale cogeneration for residential heating. *International Journal of Energy Resources* 26, 1175–1190.
- Voorpoels K. R., D' haeseleer W. D., 2006. An analytical formula for the capacity credit of wind power. *Renewable Energy* 31, 45-054.
- Watson J., 2004. Co- provision in sustainable energy systems: the case of micro-generation. *Energy Policy* 32, 1981- 1990.
- Williams R. H., 2001. Nuclear and alternative energy supply options for an environmentally constraint world: A long term perspective. Nuclear Control Institute's 20<sup>th</sup> Anniversary Conference. Washington, DC.



## ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ευρωπαϊκή Ένωση, 2003. Σχέδιο για την Ενέργεια Άρθρο III– 157,18 Ιουλίου, <http://europa.eu.int>.
- Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γ.Δ Έρευνας και Μεταφορών, Οδηγός Συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, ΚΑΠΕ, ΖΡΕΥ.
- Ζαχαρίας Θ., 1986. Ήπιες μορφές ενέργειας II. Πανεπιστήμιο Πατρών. Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. ΟΕΔΒ.
- H<sub>2</sub>. Το υδρογόνο ως ενεργειακός φορέας. [http:// www. hy2.gr](http://www.hy2.gr).
- ΚΑΠΕ, 1995. Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στα συστήματα HVAC. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Δ/ση V, Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο.
- Μήλιας- Αργεΐτης Ι., 1993. Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας I. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
- Μήλιας- Αργεΐτης Ι., 1993. Εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας II. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
- Μπεργελές Γ. Ανεμοκινητήρες. ISBN 960-7346-19-x.
- Οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Σεπτεμβρίου 2001, για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τρουλλινάκης Ν., Τριβέλλας Σ., 2003. Θερμοϋδραυλικές εγκαταστάσεις. Εκδόσεις ΙΩΝ, 3<sup>η</sup> Έκδοση, Αθήνα.
- Τσιτάρης Γ., 2004. Το Υδρογόνο ως φορέας ενέργειας. Διπλωματική Εργασία. Εργαστήριο Νέων Πηγών Ενέργειας. Τμήμα Φυσικής Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
- Φραγκόπουλος Χ. Α., Καρυδογιάννης Η. Π., Καραλής Γ. Κ., 1994. Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας, Ελληνικό Κέντρο Παραγωγικότητας, ΕΛΚΕΠΑ.
- Χατζηβασιλειάδη Ι, 2004. Νέα εποχή στην ηλεκτρική ενέργεια. Δελτίο ΠΣΔΜΗ Τεύχος 369, Αθήνα.